



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère des Etudes Supérieures et de la Recherche Scientifique
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib -Ain Temouchent
Institut de Technologie
Département de Génie Mécanique



Audit Energétique

Présenté par :
Dr BAKI Touhami
Maitre de Conférences

Année universitaire :
2016/2017

Table des matières

Table des matières	2
Introduction	4
1. Généralités sur l'énergie	5
1.1. Définitions	5
1.2. Conversion d'énergie	6
1.3. Pouvoir calorifique et facteur d'émission	6
1.4. Les sources d'énergie	6
1.5. Les réserves mondiales d'énergie	7
1.6. La consommation mondiale d'énergie	7
1.7. Les réserves d'énergie nationale (Algérie)	8
1.8. La consommation énergétique en Algérie	9
1.9. Transport d'énergie	10
1.10. Système de tarification en Algérie	10
1.11. Législation Algérienne et obligation d'audit énergétique	12
2. Audit énergétique	14
2.1. Secteur industriel	15
2.1.1. Données sur le secteur industriel	15
2.1.2. Cimenterie	16
2.1.3. Briqueterie	17
2.1.4. Chaufferie	19
2.1.5. Audit des systèmes thermiques industriels	20
2.1.6. Audit des circuits d'air comprimé	22
2.1.7. La force motrice	23
2.1.8. Audit des systèmes électriques industriels	25
2.2. Secteur du transport	26
2.2.1. Données sur le secteur du transport	26
2.2.2. Audit sur le secteur du transport	27
2.3. Secteur tertiaire	28
2.3.1. Données sur le secteur tertiaire	29
2.3.2. Audit des bâtiments	30
2.3.3. Audit du chauffage et de la climatisation	30
2.3.4. Audit du matériel informatique	31
3. Méthodologie de l'audit énergétique	32
3.1. Audit préliminaire	33
3.1.1. Contact préliminaire	33
3.1.2. Réunion de démarrage	33
3.1.3. Recueil des données	34
3.1.4. Rapport d'analyse	34
3.1.5. Réunion de clôture	35
3.2. Audit préliminaire	35
3.2.1. Contact préliminaire	35
3.2.2. Réunion de démarrage	35
3.2.3. Recueil des données	36
3.2.4. Rapport d'analyse	37

3.2.5. Réunion de clôture	38
3.3. Préconisations des solutions d'économies d'énergie	39
3.3.1. L'électricité	39
3.3.2. L'eau	39
3.3.3. L'air	40
3.3.4. Les combustibles	40
3.4. Chiffrage des solutions et temps de retour	40
3.5. Rédaction du rapport final	41
4. Implantation d'un système de management de l'énergie, ISO 50001	44
5. Etude de cas	47
5.1. Les études de l'Aprue	47
5.1.1. Consommation Energétique Finale de l'Algérie	47
5.1.2. Cimenterie d'Ain Touta	47
5.1.3. Consommation énergétique du secteur des transports	48
5.2. Audit de l'unité liège de Jijel	49
5.3. Les audits énergétiques des briqueteries	50
5.4. Le diagnostic énergétique d'une cimenterie	51
Conclusion	52
Références	53

Introduction

La consommation d'énergie n'a cessé d'augmenter depuis des décennies, porté essentiellement par l'augmentation du niveau de vie et la croissance démographique, ces deux phénomènes ont amplifiés la demande énergétique, d'un autre coté les réserves mondiales en énergie fossiles s'amenuisent et les stocks mondiaux prouvés de toutes les énergies de ce type ont une durée moyenne d'un demi-siècle ; des conséquences néfastes sont apparues, dues particulièrement à la combustion des énergies fossiles, à savoir la fonte des glaciers, l'apparition du trou d'ozone et le réchauffement climatiques ; La raréfaction des ressources naturelles ont poussé les prix vers des niveaux records.

Des réflexions ont été faites dans le cadre des nations unis en vue de diminuer les rejets des gaz de combustion par la diminution de l'emploi de l'énergie fossile et d'opérer la transition énergétique vers les énergies renouvelable.

L'audit énergétique permet alors une utilisation rationnelle de l'énergie fossile, et une amélioration de l'efficacité énergétique des systèmes industriels et des tertiaires ; des gisements importants d'économies d'énergie peuvent être exploités, et des solutions techniques existent qui ne nécessitent parfois que des changements d'habitudes ou de faibles investissements.

Ce polycopié est scindé en cinq chapitres, le premier porte sur des généralités , le second traite l'audit en différents milieu, le troisième aborde les méthodes de l'audit énergétique, dans la quatrième chapitre on étudie le système de management de l'énergie à travers la norme ISO 50001, et le dernier chapitre porte sur des exemples et études de cas réalisés.

Ce document est destiné aux étudiants en Master de mécanique spécialité énergétique, il leur permet d'acquérir les outils nécessaire pour réaliser un audit en milieu industriel, il peut être aussi un document de référence pour les auditeurs des bureaux d'étude en énergétiques.

Chapitre 1. Généralité sur l'énergie

1.1. Définitions

L'énergie est définie comme étant la capacité d'agir, de déplacer un corps ou de produire de la chaleur.

Définition donnée par Wikipédia : L'énergie est définie en physique comme la capacité d'un système à produire un travail, entraînant un mouvement ou produisant par exemple de la lumière, de la chaleur ou de l'électricité. C'est une grandeur physique qui caractérise l'état d'un système et qui est d'une manière globale conservée au cours des transformations.

Définition du dictionnaire Larousse : Grandeur caractérisant un système physique, gardant la même valeur au cours de toutes les transformations internes du système (loi de conservation) et exprimant sa capacité à modifier l'état d'autres systèmes avec lesquels il entre en interaction. (Unité SI le joule.)

L'activité humaine et les processus industriels, ont besoin d'énergie ; celle-ci est puisée directement de la nature, comme le charbon ou le pétrole ou indirectement soit après une transformation, comme le cas de l'énergie solaire ; on distingue plusieurs formes d'énergies primaires existantes dans la nature, elles sont énumérées ci-dessous :

- L'énergie musculaire de l'homme et de l'animal est utilisée généralement pour la traction.
- L'énergie chimique contenu dans les combustibles par exemple et qui peut être transformée en chaleur après combustion.
- L'énergie hydraulique récupérée d'un cours d'eau ou d'un barrage ; le vent, les marées peuvent être transformés en énergie.
- L'énergie nucléaire, qui après fission donnera de la chaleur, et sera transformée en électricité.
- L'énergie solaire qui générera de la chaleur avec des installations solaires thermiques ou de l'électricité avec des panneaux photovoltaïques.
- L'énergie terrestre, comme la géothermie, la biomasse ou la température de la croûte terrestre.

Ces formes d'énergies primaires ne peuvent être utilisées directement, elles seront alors transformées pour les besoins des consommateurs, on identifie trois formes d'énergies finales, que sont :

- L'énergie mécanique : c'est en fait la somme de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle ; on la retrouve dans l'industrie, dans l'usage domestique et les transports.
- L'énergie thermique : c'est la manifestation de l'énergie sous forme de chaleur, on l'utilise dans l'industrie, dans l'usage domestique, le chauffage, la cuisson et les services.
- L'énergie électrique : est une énergie utilisée sous forme de courant électrique, dans le domaine industriel, l'usage domestique, les services, l'éclairage et la climatisation.

1.2. Conversion d'unités

L'unité utilisée en énergie est en général le joule, dans le système SI ; néanmoins d'autres unités existent comme la calorie ou le kilowattheure, le tableau 1 de conversion d'unités d'énergie est présenté ci-dessous permet de passer d'une unité à une autre.

Tableau 1 : Conversion d'unités d'énergie [1]

	kWh	GJ	MBTU	Tep	Tec	Gcal
1 kWh	1	0,0036	0,0034	0,00008	0,00012	0,00086
1 GJ	277,8	1	0,948	0,0239	0,0341	0,239
1 MBTU	293,1	1,055	1	0,0252	0,0359	0,252
1 Tep	11630	41,87	39,68	1	1,428	10
1 Tec	8141	29,31	27,78	0,7	1	7
1 Gcal	1163	4,187	3,968	0,1	0,1429	1

- kWh = kilowatt-heure
- GJ = Giga Joule
- MBTU = Mega British thermal unit
- Tep = Tonne équivalent pétrole
- Tec = Tonne équivalent charbon
- Gcal = Giga calorie

1.3. Pouvoir calorifique et facteur d'émission

Le calcul de chaleurs dégagées par la combustion des différents combustibles, sera fait à partir des pouvoirs calorifiques inférieurs tirés du tableau 2 ci-dessous, de même pour les facteurs d'émission pour déterminer l'impact sur l'environnement.

Tableau 2 : Pouvoir calorifique et facteur d'émissions [1]

	Facteur d'émission t de CO ₂ /t	Pouvoir calorifique TJ/t	FE T de CO ₂ /TJ	Densité t/m ³	FE T de CO ₂ /m ³
Essence	3,15	0,0426	73,8	0,737	2,32
Diesel	3,15	0,0430	73,3	0,830	2,62
Kérosène	3,14	0,0432	72,8	0,799	2,51
Gaz naturel	2,58	0,0457	56,4	0,000795	0,002
GPL	3,01	0,0460	65,5	0,540	1,63

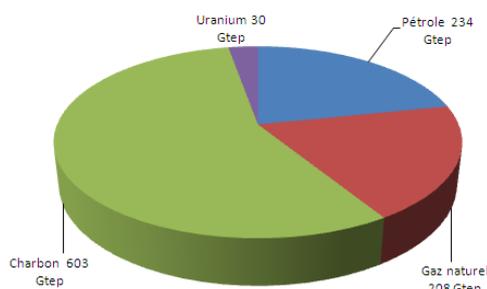
1.4. Les sources d'énergie

Les sources d'énergie se trouvant dans la nature avant toute transformation, sont des énergies primaires, on peut les regrouper en trois types :

- Les énergies fossiles : c'est l'énergie disponible dans la nature sous forme de ressources ou stock et qui est constituée des matières organiques fossilisés, comme le charbon, le pétrole et le gaz.
- Les énergies renouvelables : c'est une énergie issue directement des phénomènes naturels, et qui se reconstitue rapidement à l'échelle du temps humain, parmi elles, l'énergie solaire thermique et photovoltaïque, éolien, hydraulique, biomasse et énergie des mers.
- L'énergie nucléaire : est l'énergie contenue dans les noyaux d'atomes, qui après une fission donne une grande quantité de chaleur.

1.5. Les réserves mondiales d'énergie

Les réserves mondiales d'énergie sont regroupées dans la figure 1 d'après Wikipédia, ce qui est frappant c'est la limitation des énergies fossiles qui ne restent en stock qu'une durée inférieure à un siècle, pour la consommation actuelle, et même beaucoup moins pour le pétrole et le gaz



	Réserves mondiales (en unité physique)	Réserves mondiales (en Gtep)	Réserves mondiales (en %)	Production annuelle (en Gtep)	Nombre d'années de production à ce rythme
Pétrole ^{p 1, N 1}	1 698 Gbbl	239	25 %	4,4	51
Gaz naturel ^{p 2, N 2}	187 Tm ³	168	18 %	3,2	53
Charbon ^{p 3, N 3}	892 Gt ^{N 4}	431	46 %	3,83	114
Uranium ^{N 5, 4}	5,9 Mt	52	6 %	0,58 ^{p 4}	90
Thorium ^{N 6, 5}	6,4 Mt	56	6 %	ns	ns
Total conventionnel		946	100 %	11,8	80
Hydroélectrique ⁶	8,9 PWh	2,0		0,89 ^{p 5}	ns
Énergie éolienne ^{7, N 7}	39 PWh	8,8		0,15 ⁸	ns
Solaire ^{N 8}	1 070 000 PWh	92 000		0,03 ⁸	ns
Biomasse ⁹	3 10 ²¹ J	70		1,38 ⁸	ns

Figure 1. Reserve énergétique fossiles mondiales estimées en 2011 [2]

1.6. La consommation d'énergie mondiale

La consommation énergétique mondiale est présentée dans le tableau 3 suivant, selon l'agence internationale de l'énergie

Tableau 3 : Consommation d'énergie mondiale [2]

<u>MTep</u>	Production d'énergie primaire 1990	Consom. finale 1990	Part dans la consom.	Production d'énergie primaire 2014	Consom. finale 2014	Variation consom. 2014/1990	Part dans la consom.
Pétrole	3 242	2 595	41 %	4 308	3 761	+45 %	40 %
Gaz naturel	1 688	944	15 %	2 928	1 420	+50 %	15 %
Charbon	2 224	754	12 %	3 976	1 075	+43 %	11 %
Nucléaire	526	-	-	661	-	-	-
Hydroélectricité	184	-	-	335	-	-	-
Éolien, solaire, géoth.	37	3	-	181	37	ns	0,4 %
Biomasse et déchets	908	795	13 %	1 413	1 152	+45 %	12 %
Électricité	-	836	13 %	-	1 706	+104 %	18 %
Chaleur	-	335	5 %	2	274	-18 %	3 %
Total	8 810	6 262	100 %	13 805	9 425	+51 %	100 %

1.7. Les réserves d'énergie nationales (Algérie)

Les réserves fossiles en Algérie sont très importantes ; Il a été estimé à 12,2 milliards de barils de pétrole en 2015, et 4500 milliards de m³ de gaz, une réserve de 250 millions de tonnes de charbon et 26.000 tonnes d'uranium d'après le site énergie en Algérie de Wikipédia [3]. De même pour l'énergie solaire et l'éolien, l'Algérie dispose d'un potentiel importants d'après les sources du ministère de l'énergie, voir les figures 2 et 3 suivantes.

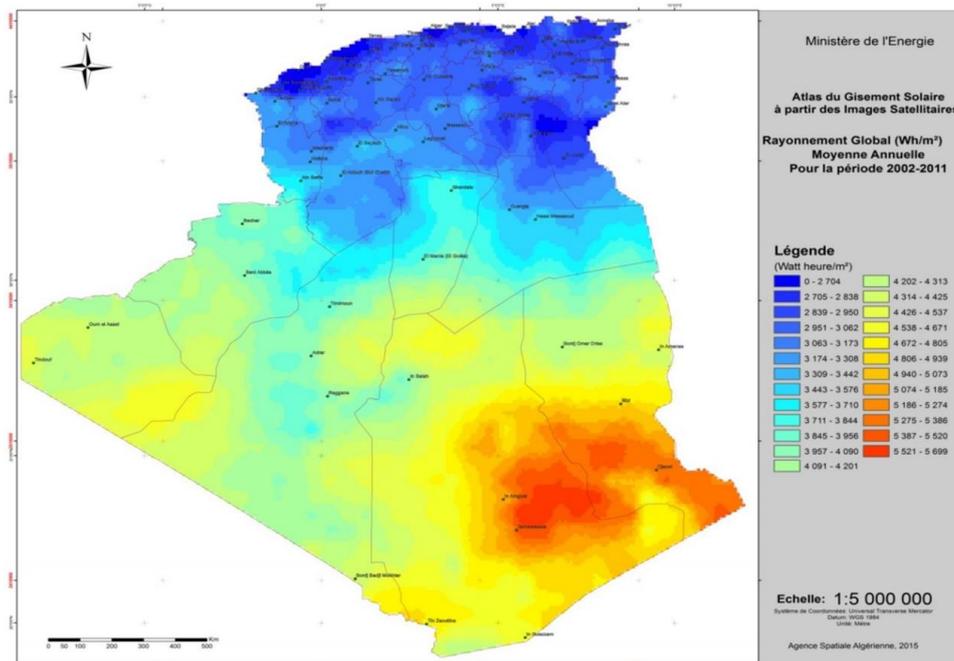


Figure 2. Potentiel solaire [4]

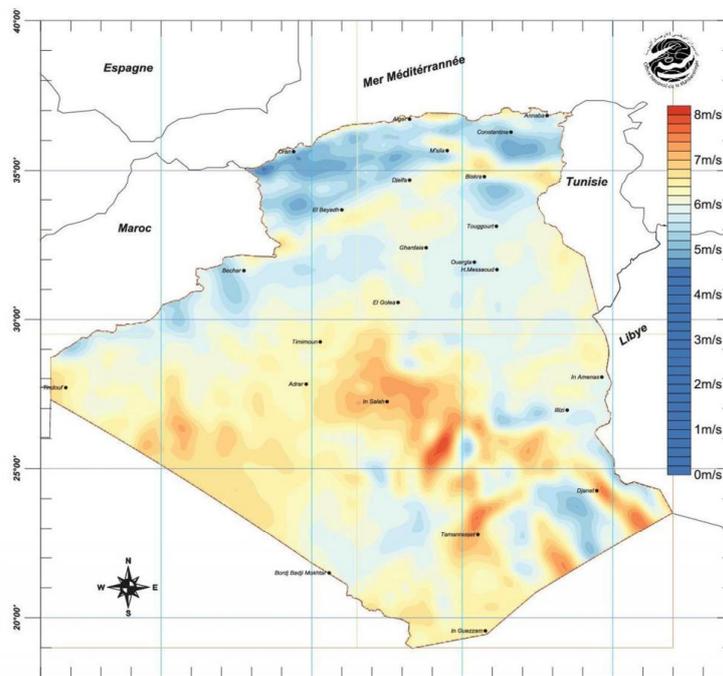


Figure 3. Potentiel éolien [4]

1.8. La consommation énergétique en Algérie

La consommation en Algérie est regroupée dans le tableau 4 suivant, l'étude a été faite par l'Aprue en 2012, et ventilé par secteur et par vecteur d'énergie.

Tableau 4 : Consommation d'énergie en Algérie [5]

Secteurs/Produits 2012	Electricité	Gaz Naturel	GPL	Carburants	Gasoil	Charbon/Coke	Total
AGRICULTURE	59865	36360	0	0	380412	0	476637
BTP	17742	2970	0	0	178121	0	198833
HYDRAULIQUE	468786	4230	0	0	628510	0	1101526
MINES ET CARRIERES	27365	27630	0	0	132317	0	187312
INDUSTRIE MANUFACTURIERE	661555	3454380	72891	0	0	50250	4239076
INDUSTRIE GAZ_PETROLE	273239	21249	0	0	0	0	294488
RESIDENTIEL	1413960	5350950	1704642	1349	0	0	8470901
TERTIAIRE	776735	712440	47833	0	312980	15400	1865388
TRANSPORT	11670	6300	336165	4679424	8217219	0	13250778
Total	3710917	9616509	2161531	4680773	9849560	65650	30084940

La consommation énergétique totale nationale dépasse les 30 millions de tonnes équivalent pétrole (Tep), le secteur des transports en absorbe la grosse part soit 44% suivie du résidentiel et le tertiaire avec 34%, l'industrie 14 % et l'agriculture 2%, voir la Figure 4 ; la répartition par type d'énergie montre une prédominance des produits pétroliers liquides, suivie du gaz et de l'électricité, comme le montre la Figure 5.

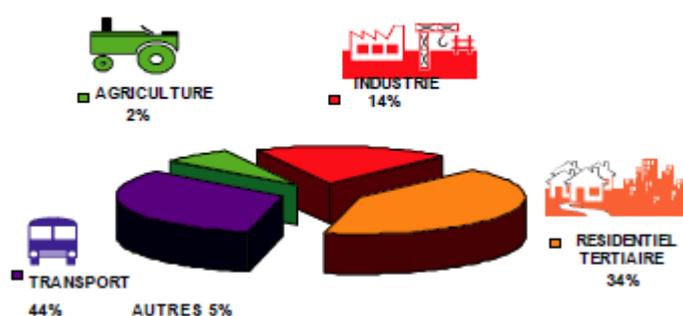


Figure 4. Répartition de la consommation finale par secteur d'activité [5]

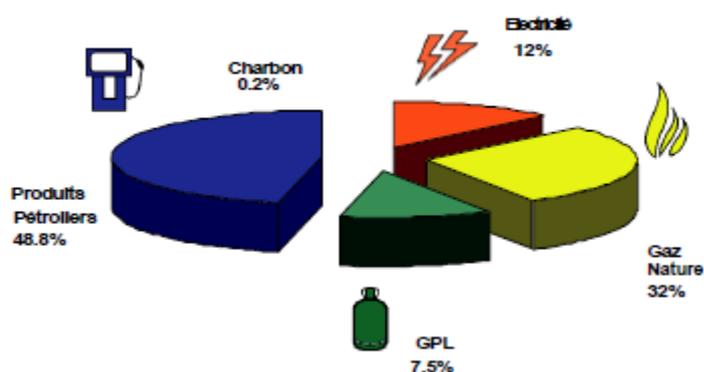


Figure 5. Répartition de la consommation finale par type d'énergie [5]

1.9. Transport de l'énergie

La consommation de l'énergie finale par l'utilisateur, nécessite la transformation, le stockage et le transport de l'énergie primaire. Le passage de l'énergie de la phase primaire à celle finale passe par une ou plusieurs transformations ; seules certaines formes d'énergie peuvent être stockées comme les combustibles liquides ; la consommation finale de l'énergie est souvent éloignée des lieux de collecte et de transformation, pour ceux il est utile de l'acheminer vers les points d'utilisation, on la véhicule alors avec les vecteurs d'énergie, comme les réseaux d'eau (chaude ou froide), d'air, de vapeurs et d'électricité.

1.10. Système de tarification en Algérie

La distribution de l'électricité et du gaz sont gérés par la Sonelgaz, la facturation et l'encaissement des factures sont du ressort des agences commerciales ; un modèle de facture est présenté avec les détails des différentes rubriques dans la Figure 6, il comprend les informations suivantes :

- La date et le numéro de série de la facture et la période facturée, ainsi que les informations de l'abonné à savoir ses références et son identité.
- Les différents index (anciens et nouveaux) du compteur de l'électricité et du gaz, la différence d'index est multipliée par un coefficient pour obtenir la consommation en kWh pour l'électricité et en thermie pour le gaz.
- Les primes, taxes, TVA et montants de la facture.

Un modèle de facture est détaillé ci-dessous.

1. Coordonnées de votre agence commerciale
2. Vos coordonnées à mentionner sur tout document adressé à votre agence
3. Durée de facturation, trimestrielle.
4. La consommation électrique calculée en kWh, sur la base de variation d'index.
5. Coefficient de conversion du volume m³ en thermies, pour le gaz naturel il varie de 8 à 12 et pour le GPL entre 23,7 et 32,7, selon l'altitude.
6. Type d'index, R relevé périodique, E estimé selon l'historique, M relevé spécial hors période.
7. La consommation de gaz calculée en thermie, sur la base de variation d'index.
8. Valeurs de prime fixes.
9. Facturation de la consommation électrique par tranche.
10. Facturation de la consommation de gaz par tranche.
11. Calcul des taxes.
12. Montants des consommations d'électricité et de gaz en hors taxes.
13. Impôt.
14. Taxe d'habitation.
15. Timbre pour le paiement par espèces.
16. Montant total de la facture.
17. Contribution au coût.
18. Date limite de paiement.
19. Montant de la facture en lettres.


شركة توزيع الكهرباء و الغاز للوسط
 Société de Distribution de l'Electricité et du Gaz du Centre

Fourniture d'énergie Electricité et gaz
 BASSE TENSION/BASSE PRESSION

Capital Social de : 15000000000 DA **FACTURE N° 41110810678** **établie le 07.09.10**
 Direction Distribution : Blida Fax: 999999999

N° E.C: 01805455B060 N° E: 090916010012742 Dépense électrique: 025 41 02 42
 N° REP: 00799999000035060755 N° REB: 00100442030030503071 Dépense gaz:

1 Agence Commerciale: BAB ESSBT 10 AVT AMARAY OUCHEF Tél: 021 40 15 42

CLIENT

2 Référence : 092010000900047190 N° R.C : N° IS :
 Nom et Prénom : Mohamed Ben Mohamed Tél : Fax :

Adresse lieu de consommation : 18, chemin des pins, Blida 09 000
 Nom & adresse du Destinataire de facture:

3

Nous vous prions de bien vouloir régler cette facture par l'un des moyens indiqués au verso Période : 3^e trimestre 2010

CONSOUMATIONS	TARIF	NUMERO COMPTEUR	RELEVÉ DE COMPTEUR			COEF.	CONSOUMATIONS (KWh/THERMIE)
			Index Nouveau	Index Ancien	Différence		
PMD= 2 Kwh DMD= 5 R : Releve E : Estime M : Releve Speciale	E01	182014	7702 R	6158 R	1544	1.00	4 1544
	G83	005819	11015 R	10815 R	200	9.49	5 1898

8

DETAIL DE FACTURATION (qq hors taxes)

	PREMIERE TRANCHE		DEUXIEME TRANCHE		TROISIEME TRANCHE		PRIMES FIXE (DA)
	CONSOUMATION	PRIX UNITAIRE (DA)	CONSOUMATION	PRIX UNITAIRE (DA)	CONSOUMATION	PRIX UNITAIRE (DA)	
ELEC. E01	9 125.0	1.779	1419.0	4.179			52.44
GAZ G83	10 125	0.168	773	0.324			85.50

11

12

13

14

15

16

17

18

19

Contribution aux coûts permanents du système : 11,94 D.A.
 La présente facture est arrêtée à la somme de : **25.09.10**

Sept mille quatre cents quarante neuf dinars algériens, 84 cts.

Figure 6. Modèle d'une facture de la Sonelgaz

1.11. Législation Algérienne et obligation d'audit énergétique

Un ensemble de textes et de lois ont été promulgués, dont une loi-cadre sur la maîtrise de l'énergie qui s'appuie sur des directives essentielles de la politique énergétique nationale, en plus un ensemble de règlements et de lois viennent encadrer l'ensemble des postes touchant à l'utilisation de l'énergie, comme le montre les différentes lois dans la Figure 7 ci-dessous.

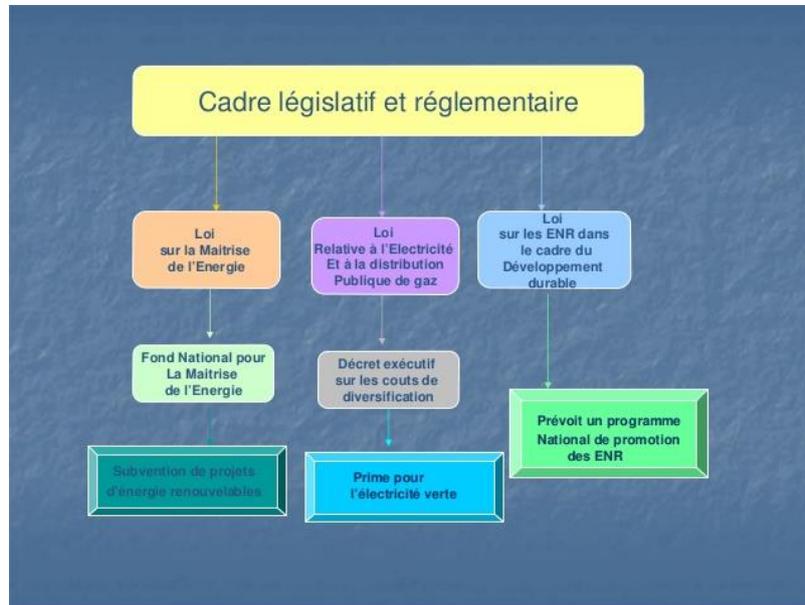


Figure 7. Législation Algérienne du PNME [7]

La mise en œuvre de la loi repose sur le programme national de maîtrise de l'énergie (PNME) ; qui sert de cadre à tous les projet de maîtrise de l'énergie au niveau sectoriel avec l'apport financier du fond national de maîtrise d'énergie (FNME), une institution est chargée de l'exécution , la coordination et l'animation du programme national s'appelle l'agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (APRUE) ; le schéma de la Figure 8 ci-dessous montre la relation entre les différents acteurs et les méthodes pour réaliser la cohérence du programme national de maîtrise de l'énergie.

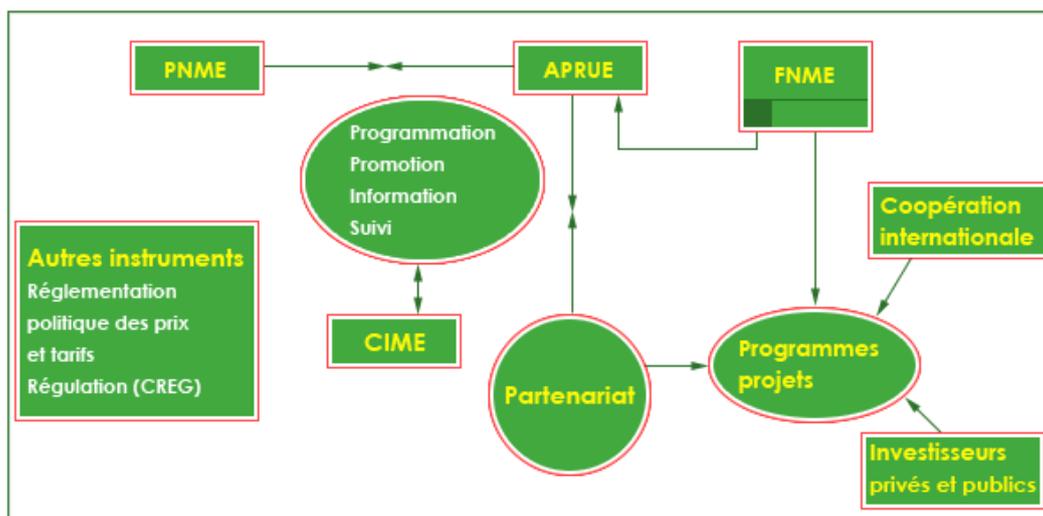


Figure 8. Schéma du dispositif de mise en œuvre du PNME [8]

Les modalités de la maîtrise de l'énergie reposent sur des conditions et moyens nécessaires pour la concrétisation, parmi elles :

- l'audit énergétique obligatoire et périodique

Ce système d'audit permet d'établir un contrôle et un suivi de la consommation énergétique des établissements énergivore, grands consommateurs d'énergie dans les domaines de l'industrie, du transport et du tertiaire, en vue d'assurer une efficacité énergétique et une optimisation de leurs consommations.

Alors, il y a eu promulgation du décret exécutif n° 05-495 du 24 Dhou El Kaada 1426 correspondant au 26 décembre 2005 relatif à l'audit énergétique des établissements grands consommateurs d'énergie.

Ce texte définit les seuils de consommation énergétique des établissements assujettis à l'audit, la périodicité de l'audit et les méthodes de mise en œuvre de l'audit énergétique et l'agrément des auditeurs.

L'article 10 du décret stipule expressément l'obligation de l'audit énergétique, qui dit :

Art. 10. - Sont soumis à l'obligation d'audit énergétique tous les établissements industriels, de transport et du tertiaire, quelles que soient leur nature juridique ou leur activité dès lors que leur consommation annuelle d'énergie atteigne les seuils fixés aux articles 11, 12 et 13 ci-dessous.

Les articles 11, 12 et 13 détaillent la catégorie des établissements et le seuil d'obligation de l'audit, et sont : 2 000 TEP pour l'industrie, 1 000 TEP pour le transport et 500 TEP pour le tertiaire.

$$CT = CE + CGN + CPP$$

Consommation Totale d'énergie en TEP = consommation d'électricité en TEP + consommation de gaz naturel en TEP + consommation de produits pétroliers en TEP.

Art. 11. - Les établissements industriels dont la consommation annuelle totale d'énergie est égale ou supérieure à 2000 tonnes équivalent pétrole (tep) sont assujettis à l'obligation d'audit énergétique.

Art. 12. - Les établissements de transport dont la consommation annuelle totale d'énergie est égale ou supérieure à 1000 tonnes équivalent pétrole (tep) sont assujettis à l'obligation d'audit énergétique.

Art. 13. - Les établissements du secteur tertiaire dont la consommation annuelle totale d'énergie est égale ou supérieure à 500 tonnes équivalent pétrole (tep) sont assujettis à l'obligation d'audit énergétique.

L'article 18 fixe la périodicité de l'audit énergétique à trois (3) ans pour les établissements industriels et de transports et à cinq (5) ans pour les établissements du tertiaire.

Chapitre 2 : Audit énergétique

L'audit énergétique est défini par le Décret exécutif n° 05-495 du 24 Dhou El Kaada 1426 correspondant au 26 décembre 2005 relatif à l'audit énergétique des établissements grands consommateurs d'énergie, dans son article 2 :

Art. 2. - On entend par audit énergétique l'examen et le contrôle des performances énergétiques des installations et des équipements des établissements industriels, de transport et du tertiaire, en vue de l'optimisation énergétique de leur fonctionnement.

La prestation d'audit énergétique constituera la démarche initiale pour avoir une bonne définition des actions de maîtrise de l'énergie dans les secteurs économiques, l'étude approfondie des postes énergivores mettra en évidence les économies d'énergie et déterminera l'impact aux meilleurs coûts sur les investissements envisageables.

Cette démarche vise à étudier et optimiser la consommation d'énergie, après une collecte d'informations ; cette opération permettra à l'organisme en charge

- d'identifier les gisements d'économie d'énergie
- de proposer des solutions d'améliorations des performances énergétiques
- d'augmenter l'efficacité énergétique
- de réduire l'impact carbone dans les rejets à l'atmosphère
- la réduction des factures d'énergie.
- de bénéficier de la vision d'un expert externe
- de mettre au point un plan d'action des solutions retenues

En cas d'augmentation des tarifs de l'énergie, l'audit aidera les consommateurs à maîtriser leurs coûts d'exploitation de limiter l'impact de cette hausse sur le bilan de l'énergie.

Les recommandations des prestations de l'audit aident à une maîtrise de l'énergie, et couvriront donc tous les aspects financiers, environnementaux et de gestion, indiqué sur la Figure 9.

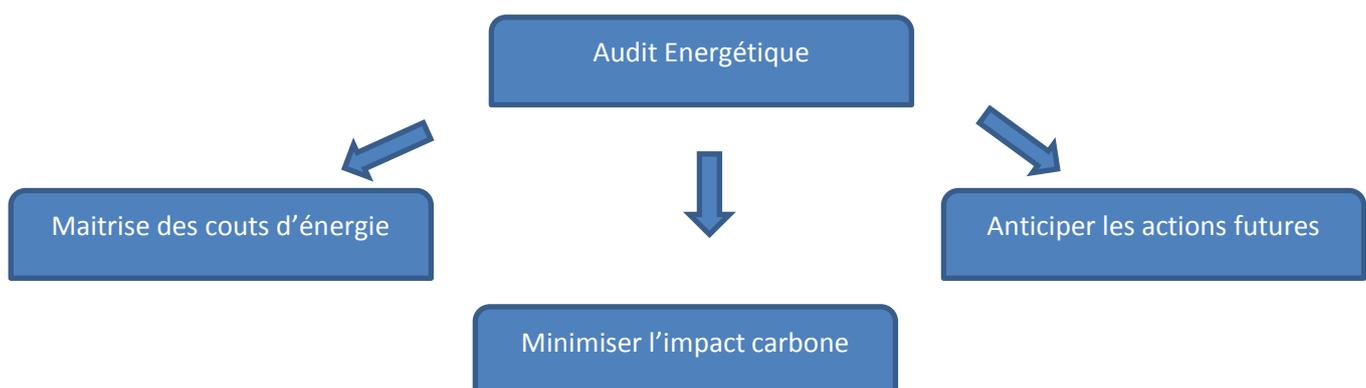


Figure 9. Schéma des aspects de l'audit énergétique

Des secteurs économiques sont concernés dans la mesure où leur consommation est significative. Trois secteurs sont ciblés par la réglementation à savoir :

- Secteur industriel
- Secteur tertiaire
- Secteur du transport

2.1. Secteur industriel

L'article 11 du Décret exécutif n° 05-495 spécifie les entreprises du secteur industriel assujetties à l'audit énergétique :

Art. 11. - Les établissements industriels dont la consommation annuelle totale d'énergie est égale ou supérieure à 2000 tonnes équivalent pétrole (tep) sont assujettis à l'obligation d'audit énergétique.

Tout établissement, entité ou entreprise du secteur industriel, ayant une consommation supérieure ou égale à 2000 tonnes équivalent pétrole, a l'obligation de procéder à l'audit énergétique par un bureau d'audit agréé.

2.1.1 Données sur le secteur industriel

La consommation énergétique nationale dans le secteur industriel a atteint 4,3 millions de tonnes soit 14% de la consommation totale en Algérie, la consommation par branche est présentée ci-dessous, la branche matériau de construction représente 61%, suivie de l'agroalimentaire et la chimie, comme l'indique la Figure 10.

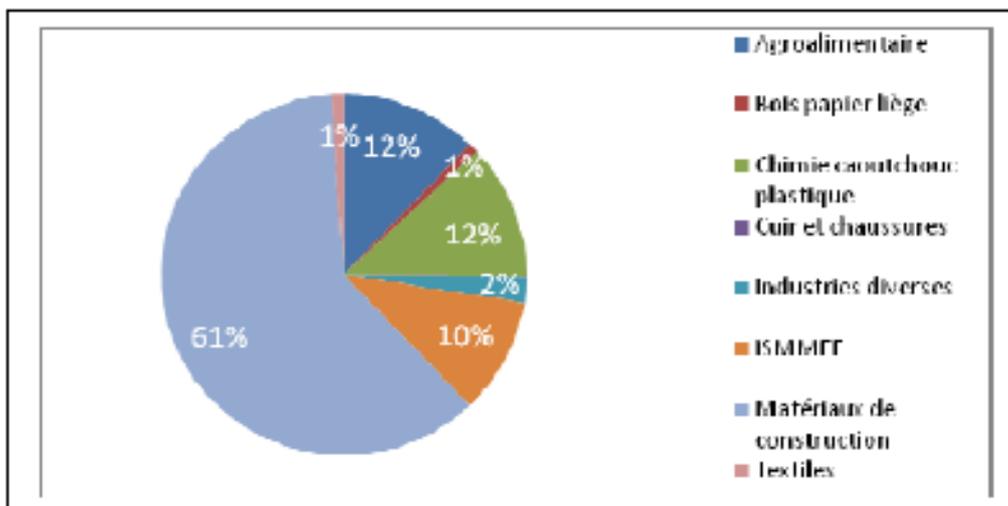


Figure 10. Répartition de la consommation du secteur de l'industrie par branche [5]

La consommation par type d'énergie nous montre la prédominance du gaz naturel qui avec le GPL totalise les 83%, l'électricité vient au deuxième rang et ne représente que 16%, voir la Figure 11.

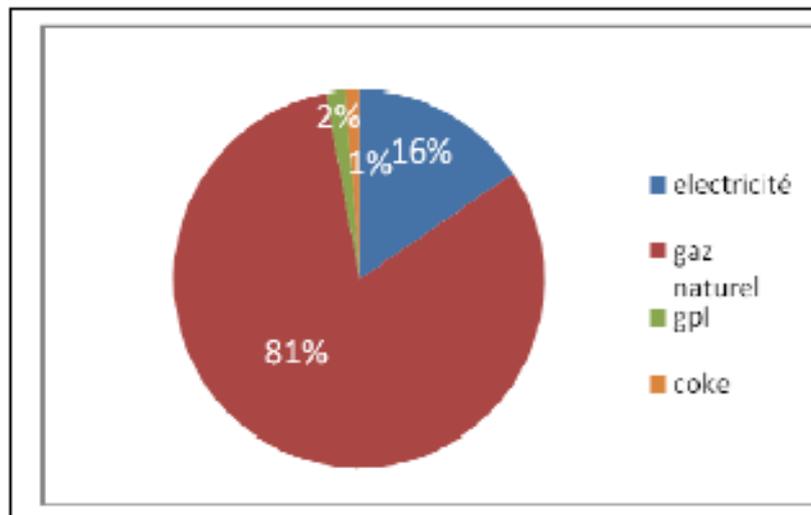


Figure 11. Répartition de la consommation du secteur de l'industrie par type d'énergie [5]

L'analyse de la consommation finale montre que l'utilisation des systèmes thermiques est basée sur le gaz dans l'industrie, les procédés de fabrication tels que les fours, séchoirs, chaudières et autres procédés thermiques sont adoptés à grande échelle, l'électricité qui est le deuxième vecteur d'énergie, est généralement utilisée pour la force motrice.

Les installations thermiques dans l'industrie consomment une grande quantité d'énergie, les procédés de fabrication dans le domaine des matériaux de construction sont basés sur les fours et les séchoirs, les chaudières eau chaude et à vapeur sont aussi utilisées dans les domaines de l'agroalimentaire le textile et l'industrie chimique, on retrouve aussi les réseaux de fluides chauds dans les utilités ; nous détaillons ci-dessous certains de ces équipements les plus utilisés.

2.1.2 Cimenterie

La fabrication du ciment passe par plusieurs étapes indiquées sur la Figure 12, la première est l'extraction et le broyage, la seconde le chauffage et la cuisson et enfin broyage et livraison du produit.

Étape 1 : Préparation

Ces matières premières telles que carbonate de calcium, silice, alumine et minerai de fer, entrent dans la préparation de la fabrication du ciment, elles sont extraites des gisements de calcaire, de craie, de schiste ou d'argile. Ces produits bruts seront broyés. On ajoute d'autres oligo-éléments pour maîtriser la composition chimique du ciment.

Étape 2 : Cuisson

Le four rotatif est l'équipement essentiel du procédé de fabrication du ciment ; où on procède à la cuisson avec une température voisine de 1500 °C, il est constitué d'un long cylindre tournant à quelques tours/minute et incliné d'une pente faible.

La matière circule à l'intérieur du cylindre en même temps elle est malaxée en contact de la source de chaleur, la flamme est alimentée avec un bruleur qui fonctionne au gaz naturel ; L'énergie thermique consommée est importante, elle avoisine les 4000 kJ par tonne de produit ; la chaleur des gaz chaud permet de préchauffer la matière entrante à l'aide d'un échangeur.

Avant le four, on place dans certains procédés un brûleur supplémentaire pour assurer la pré-calcination, pour favoriser les réactions et améliorer la cuisson ; On refroidit le produit à la sortie du four pour le ramener à une température de 100°C.

Étape 3 : Finition

Un pourcentage de plâtre ne dépassant pas les 5% est ajouté au produit pour diminuer le durcissement du ciment, vient ensuite l'opération de broyage très fin et l'ajout d'adjuvant, et on obtient le ciment qui sera expédié et stocké pour la vente.

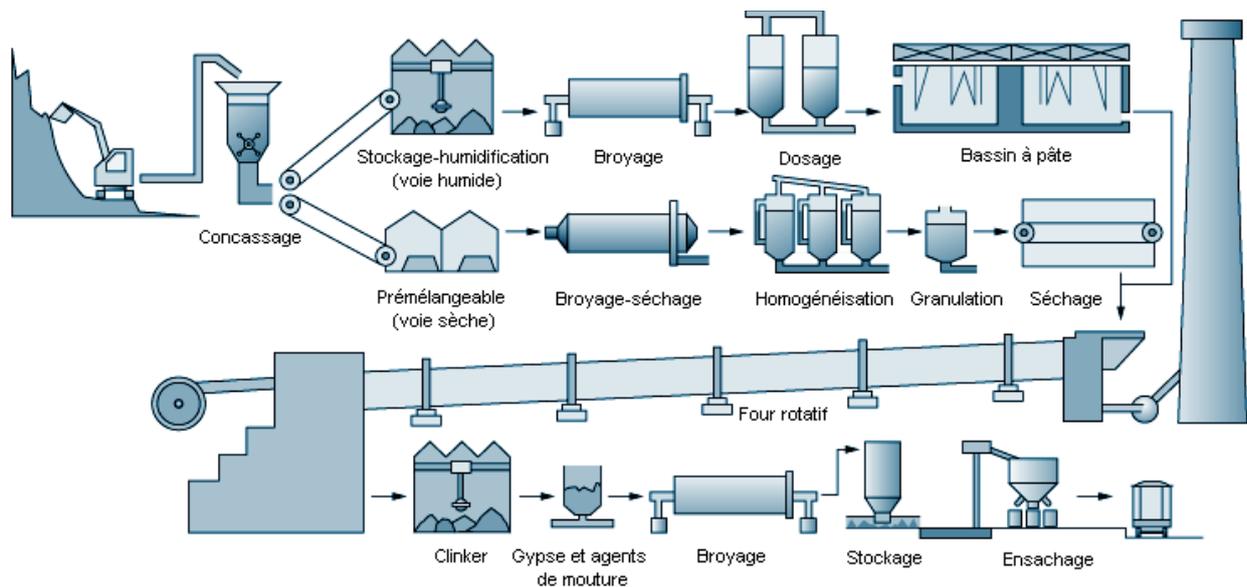


Figure 12. Schéma de fabrication du ciment [9]

2.1.3 Briqueterie

La préparation de la brique d'argile passe par plusieurs étapes, en premier lieu l'extraction de l'argile, ensuite la préparation et le façonnage de la pâte, enfin le séchage et la cuisson, la brique est alors prête pour être expédiée et vendue, le principe est détaillée dans la Figure 13.

La matière première est l'argile avec des ajouts de sable utilisée comme dégraissant, le mode de préparation et du process de la fabrication dépend du gisement d'argile à la disposition de la briqueterie.

La préparation de la pâte passe par deux phases essentielles, la première qui consiste au broyage et au malaxage permet d'avoir un produit humide homogène avec une plasticité adéquate pour le moulage, la deuxième phase permet de faire le mélange et le dosage pour avoir une qualité constante du produit fini.

Le façonnage de la pâte passe par les équipements de broyeurs à cylindres, de dés-agrégateurs et de malaxeurs ; la pâte mouillée, malaxée puis façonnée passe dans une mouleuse étireuse, cette machine propulse la pâte argileuse vers une filière qui permettra de donner la forme trouée aux produits ; la matière est ensuite coupée à l'aide d'un coupeur sous forme de fil d'acier et ensuite expédiée au séchage.

Le séchage consiste à extraire de l'eau des produits humides, pour faciliter cette opération l'argile doit être ductile et humide par conséquent ; le séchage s'opère dans un séchoir à chambres ou séchoir rapide, la température et le degré d'humidité sont réglés pendant une période définie, ensuite le produit est récupéré et placé à l'entrée du four ; l'opération de séchage est assurée par la combustion avec un brûleur qui propulse les gaz chaud de combustion à l'intérieur du séchoir, ces gaz sont ensuite recyclés jusqu'à leurs saturation en eau et éjectés vers l'atmosphère.

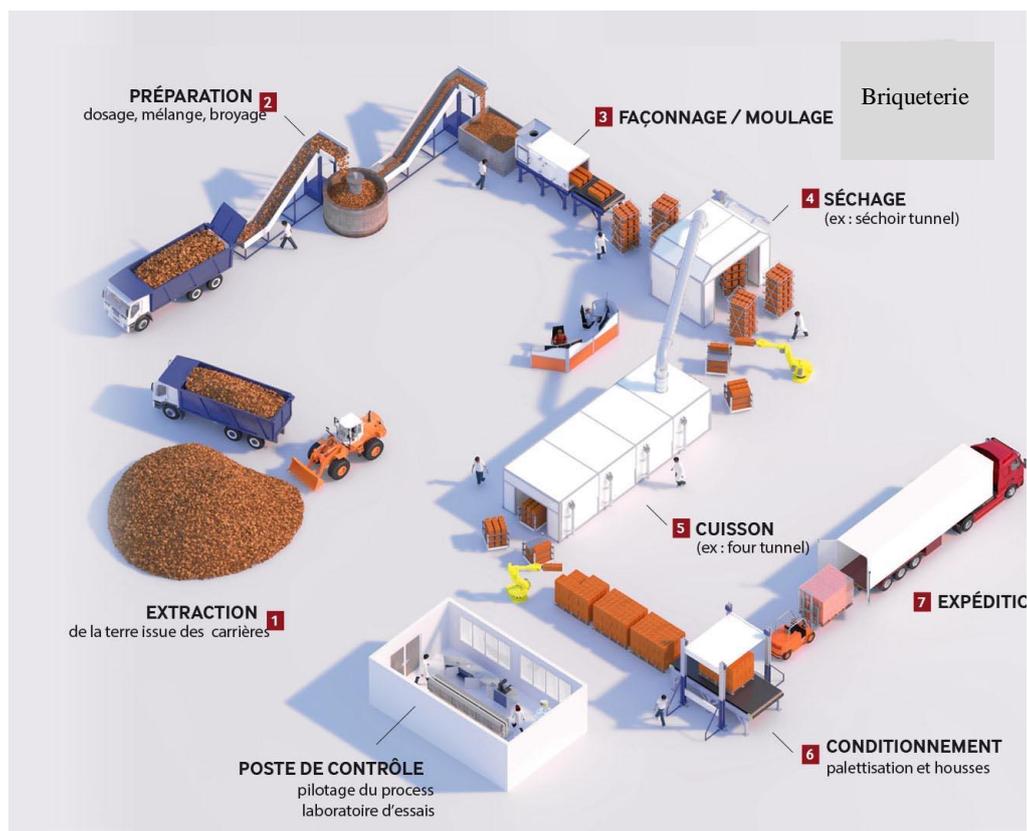


Figure 13. Schéma briqueterie [10]

Un four de type tunnel, fonctionne en continu, la température est maintenue constante en fonction du débit, le produit sec entre et le produit cuit sort par étapes ; Dont le chargement de briques parcourt la distance rectiligne le long du tunnel sur des wagonnets et passe successivement par les zones de différentes températures, préchauffage, cuisson et finalement refroidissement.

Dans le four on doit suivre une courbe de température le long du tunnel, elle démarre de 450°C et 600°C dans la zone de préchauffage, cet échauffement se fait grâce aux fumées émanant de la zone de cuisson du four, l'humidité résiduelle des briques est ainsi éliminée., ensuite les briques sont portées progressivement à température allant de 1000°C à 1200°C à mi-parcours du four, vient ensuite la phase de descente de la température jusqu'à refroidissement à la sortie du four.

Après la cuisson les produits sont regroupés et rassemblés pour être prêt à l'expédition directement sur des moyens de transport.

2.1.4 Chaufferie

La chaufferie est un ensemble d'équipements , voir le schéma de la Figure 14 ; pour la production des fluides chauds, eau chaude, eau surchauffée ou vapeur, il comporte aussi un système de distribution : conduites de fluides, vannes de distribution, détendeurs de pression, débitmètres, ballons de stockage, équipements de consommation où le fluide transmet sa chaleur : marmites chauffantes, tambours tournants, échangeurs thermiques, réchauffeurs, procédés spécifiques ; un système de retour de la chaleur après sa consommation jusqu'à l'entrée dans la chaufferie : conduites de retour, vannes, pompes, purgeurs de vapeur, cuve de collecte du condensat.

L'équipement principal est un système de production : la chaudière. Elle permet de produire de l'eau chaude ou de la vapeur à partir d'un combustible, généralement du gaz. Elle est constituée d'une virole calorifugée, au sein de laquelle, il existe un foyer où des brûleurs brûlent le combustible. Un ventilateur injecte de l'air nécessaire pour que la combustion ait lieu. L'eau à réchauffer circule entre des tubes qui serpentent dans l'enceinte selon un schéma visant à maximiser les échanges thermiques. La combustion produit des gaz chauds qui devront être évacués à travers une cheminée vers l'extérieur.

Les modèles existant actuellement sont beaucoup plus performants et sont dotés de dispositifs qui leur permettent de consommer moins d'énergie. Dans une usine, la chaudière figure parmi les machines qui consomment beaucoup de sources d'énergie.

En plus les installations de production d'énergie et de distribution ; d'autres fluides sont utilisés dans l'industrie selon les besoins Eau glacée ; Air comprimé ; Gaz technique.

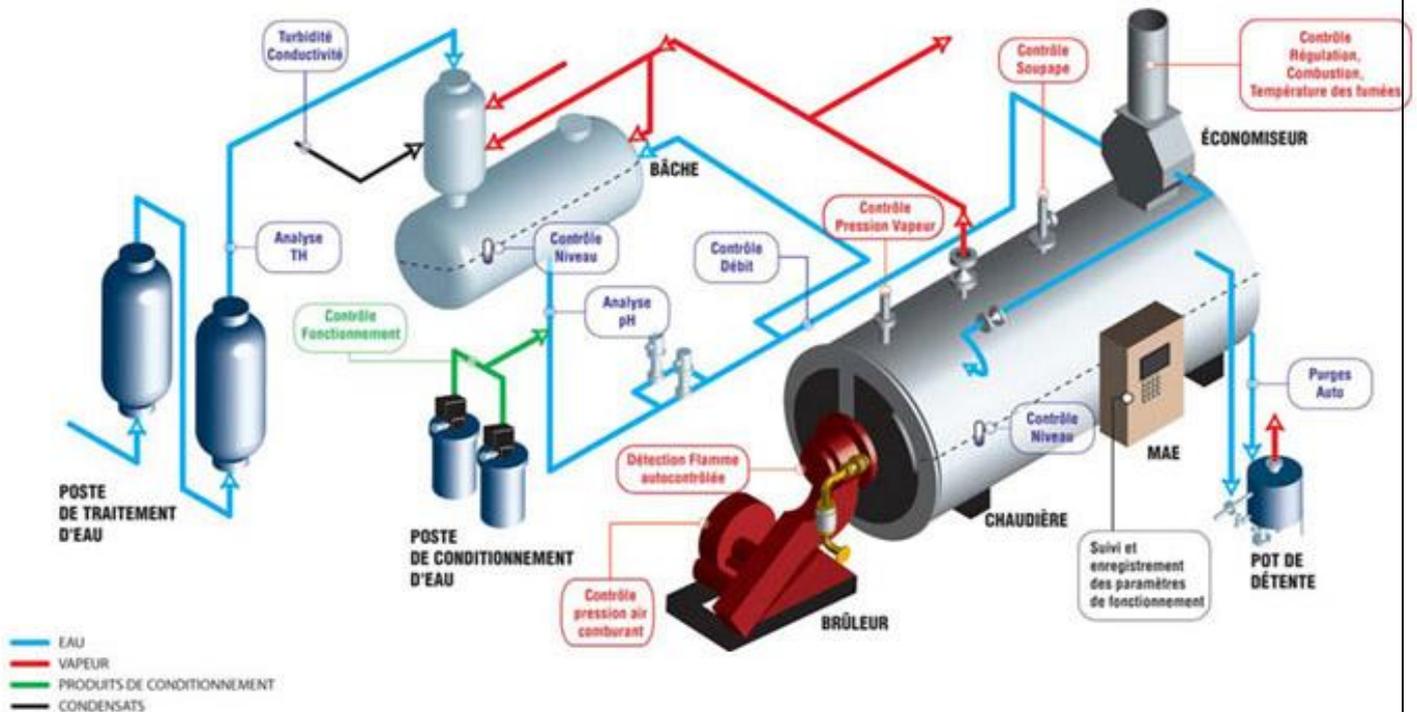


Figure 14. Chaufferie vapeur [11]

2.1.5 Audit des systèmes thermiques industriels

La plupart des systèmes énergétiques thermiques utilisés en industrie reposent sur la combustion pour produire de la chaleur, avant l'audit de la production de la chaleur un ensemble de règles doivent être traitées :

- La quantité d'énergie consommée dans l'installation, par type de combustible, par ligne de production.
- Les équipements énergivores, type, consommation.
- Le Contrôle ou la réduction de la durée de fonctionnement.
- La Vérification de l'isolation.
- Le captage des sources d'énergie d'autres procédés.

Après avoir vérifié les points énumérés ci-dessus une analyse de la combustion devra être faite, elle concerne les points suivants :

- La réduction de la température des gaz de combustion à leurs sortie de la cheminée, en récupérant le maximum pendant le process, en nettoyant les surfaces d'échange, ou en augmentant le coefficient de transfert de chaleur globale.
- En plaçant à la sortie des cheminées, des économiseurs d'eau, ou des réchauffeurs d'air du brûleur pour récupérer la chaleur fatale, ainsi on augmente le rendement de l'installation de combustion.
- Une régulation du débit d'air qui sera proportionnelle au débit du combustible permet de minimiser l'excès d'air, cette opération est facilitée par les systèmes automatisés actuelle.

- Une automatisation des brûleurs permet une fourniture en temps réel de la quantité de chaleur en fournissant le débit de combustible et d'air nécessaires pour les besoins du procédé.
- Le choix du combustible est primordiale, vu l'échelle des prix le choix se porte toujours sur le gaz naturel.
- Les déperditions de chaleur par les parois doivent être minimisées en choisissant une épaisseur optimale d'isolation.
- L'ouverture des portes de four, des trappes de visites, peuvent dégager une grande quantité de chaleur par rayonnement, particulièrement lorsque la température de l'enceinte est supérieure à 500 °C.
- La récupération de la chaleur d'un procédé de refroidissement peut être utilisée comme source de chaleur pour chauffer l'eau ou l'air, on utilise la chaleur d'un refroidisseur d'une centrale d'air comprimé pour chauffer l'eau sanitaire.

L'audit des installations thermiques englobe aussi la production et la distribution des fluides chauds (vapeur, eau chaude, eau surchauffée), et qui sont très utilisés en industrie, une attention particulière doit être donnée aux points suivants :

- Une gestion automatisée lorsqu'il s'agit d'un parc de chaudières, la production des fluides chauds sera en fonction de la demande, ainsi on optimise la mise en marche ou l'arrêt des chaudières.
- Le chauffage de l'eau d'alimentation de la chaudière, par des économiseurs placés à la sortie de la cheminée, ou par le chauffage d'une source d'énergie excédentaire d'un autre procédé.
- L'eau d'alimentation devra être traitée efficacement de manière à éliminer les dépôts de tartre sur les surfaces de chauffe côté eau.
- La concentration des solutés augmente au niveau de la chaudière, une purge périodique est alors nécessaire pour diminuer la concentration, une grande quantité de chaleur est évacuée, il est recommandé de minimiser les purges ou de récupérer la chaleur de purge.
- Les dégazeurs ont le rôle d'éliminer les gaz dissouts (O_2 , CO_2), une quantité de vapeur est évacuée avec les gaz au niveau de l'évent, il faudra minimiser la quantité de vapeur à qui va à l'atmosphère.
- Le cycle de fonctionnement de la chaudière devra être continu, il faudra minimiser les arrêts et mise en marche intempestives, pendant l'utilisation du process, puisque l'arrêt et mise en marche consomment une grande quantité d'énergie.
- Le réseau de distribution lie la production des fluides aux utilisateurs finaux, un réseau adéquat bien dimensionné aura des pertes de charges minimales, et des sifflements de vapeur acceptables.
- Le calorifugeage des réseaux d'alimentation et de retour, va diminuer les déperditions de la chaleur, lorsqu'une partie est non calorifugée la chaleur est en déperdition continuellement.
- Le calorifugeage des vannes et des raccords minimisera les déperditions de la chaleur, autrement une quantité de l'énergie est constamment perdue tant que le réseau est en fonctionnement.

- Un contrôle régulier devra être fait sur les purgeurs de réseau de vapeur, un purgeur qui perd de la vapeur, va être une source d'énergie perdue, en plus elle n'est détectable qu'après contrôle.
- La réutilisation de la vapeur après purge, peut donner une vapeur de re-vaporisation, ceci est possible lorsque la pression initiale est importante, on a alors plusieurs niveaux de pression pour des utilisations diverses.
- La récupération du condensat lorsqu'il est réutilisée permettra une économie, puisque le condensat est déjà à une température élevée, et ne nécessitera pas le réchauffage de l'eau d'alimentation.

2.1.6 Audit des circuits d'air comprimé

Certaines installations dans l'industrie comportent de grandes stations d'air comprimé, des économies peuvent être faites sur la production, la distribution et l'utilisation de l'air comprimé, nous énumérons les points à auditer :

- La conception des systèmes devra être repensée, généralement les stations sont opérationnelles et des extensions sont faites sur le réseau de distribution et de la production d'air comprimé.
- Les anciennes stations sont équipées avec des démarrages simples, en cas d'investissement supplémentaires l'ajout d'un variateur de vitesse permet des économies importantes.
- Les moteurs à haut rendement en cas d'investissement, peuvent économiser de l'énergie et diminuer les pertes.
- Une régulation centralisée en cas d'une centrale de plusieurs compresseurs garantira un bon fonctionnement et une économie d'énergie.
- La compression de l'air augmentera sa température à la sortie, un échangeur sera alors placé à la sortie pour récupérer la chaleur qui peut être utilisée pour le chauffage sanitaire.
- La réduction des fuites du réseau de distribution et des différents raccordements, va permettre l'économie d'énergie, et une réduction de la production au niveau de la station.
- L'entretien des filtres doit être fait périodiquement, pour ne pas obturer le passage de l'air et minimiser la consommation électrique.
- L'alimentation de la station en air sera faite à partir de l'air frais de l'extérieur, puisque généralement l'air de l'extérieur est plus frais ce qui permet une économie d'énergie.
- Le réglage de la pression sera fait en fonction des besoins et des pertes de charge du réseau, plus la pression est basse et plus le système est efficace.

2.1.7 La force motrice

La force motrice électrique est largement utilisée, particulièrement dans l'entraînement des moteurs électriques dans l'industrie, les types de moteurs sont variés et les puissances varient dans une plage de quelques kW à plusieurs milliers de kW.

Dans les procédés industriels on trouve différents équipements :

- Les ventilateurs centrifuges ou hélicoïdaux
- le broyeur à lames, à couteaux
- Les machines de levage
- les machines de manutention
- les équipements de déplacement de personnes

Les moteurs sont généralement intégrés dans une ligne de fabrication, que ce soit en cimenterie, en agroalimentaire, ou dans l'industrie chimique. Les process mettent en œuvre une ou plusieurs machines standard ou spécifiques effectuant des opérations identifiées et enchaînées suivant un scénario prédéfini.

Ils ont pour fonction de produire un produit défini généralement par des critères à partir d'un matériau brut ou matière première.

Les utilités consomment près de 70 % du parc moteur ; On entend par utilités toutes les fonctions utiles des procédés industriels et de process de fabrication. Dans d'autres cas, la fonction pompage, ventilation, ou compression est un procédé à part entière. Les puissances mise en jeu sont très importantes, et le poste énergie électrique peut représenter une part importante dans la consommation totale de l'entreprise.

Quelques exemples d'utilisation des utilités, qu'on trouve en industrie sont énumérées ci-dessous :

La ventilation

La ventilation trouve son utilisation dans divers domaines pour la circulation, l'extraction ou l'injection d'air :

- ventilation de grands espaces fermés
- échangeur et climatisation : séchoirs, salles blanches
- combustion : chaudières, fours, incinérateur
- bancs d'essais : soufflerie

Le pompage

Le pompage trouve ses applications pour assurer les fonctions distribution et circulation de liquides telles que :

- l'adduction, l'aspersion, l'irrigation, la surpression,
- la circulation : piscine, échangeur...
- le pompage immergé : eau, pétrole...

La compression

Il existe de nombreuses utilisations de ces équipements :

- les compresseurs centrifuges
- les compresseurs volumétriques : compresseurs à vis ou à pistons
- Les compresseurs d'air ou de gaz
- certaines applications manufacturières et métallurgiques.

Le tableau 5 ci-dessous présente l'application de la force motrice des moteurs par types de machines et par secteurs d'activité, avec une indication de la plage des puissances et des vitesses.

Tableau 5 : Guide de la force motrice [12]

Types de machines	Secteurs d'activité	Loi C/N	Plages de vitesses	Puissances en kW
Convoyeurs	Ciment - Carrières - Agroalimentaire	C	1 à 10	0,37 à 500
Rotatives	Imprimerie	C	1 à 10	10 à > 200
Pompes volumétriques et doseuses	Chimie - Pharmacie - Agroalimentaire	C	1 à 10	0,37 à 200
Pompes centrifuges	Eau - Chimie - Agroalimentaire	kN ²	1 à 5	0,37 à 5000
Pompes diphasiques	Pétrole - Gaz	kN ²	1 à 5	200 à 2000
Ventilateurs	HVAC - Fours - Infrastructures	kN ²	1 à 5	0,1 à 1500
Soufflantes	Bancs d'essais	kN ²	1 à 10	2,2 à 50 000
Compresseurs	Gaz - Pétrochimie	kN ²	1 à 10	2,2 à 50 000
Fours	Ciment	C	1 à 10	100 à 1500
Extrudeuses	Pétrochimie - Plastique - Agroalimentaire	C-P	1 à 10	10 à 2500
Presses mécaniques	Mécanique - Automobile	C	1 à 10	50 à 700
Enrouleuses - Dérouleuses	Métallurgie - Papier	C-P	1 à 20	3 à 300
Pulpeurs	Papier	C	1 à 10	500 à 2000
Machines sectionnelles	Métallurgie - Papier	C	1 à 10	10 à 700
Bancs d'essais	Automobile - Aéronautique	C-P	1 à 100	10 à 500
Broyeurs	Ciment - Carrières - Agroalimentaire	C	1 à 10	10 à 1000
Mélangeurs	Chimie - Pharmacie - Agroalimentaire	kN	1 à 5	30 à 300
Malaxeurs - Calandreuses	Chimie - Caoutchouc	C-P	1 à 10	< 1000
Centrifugeuses	Chimie - Pharmacie	kN ²	1 à 10	10 à 200
Machines de levage	Bâtiments - Infrastructures	C	1 à 100	10 à 500

2.1.8 Audit des systèmes électriques industriels

La force motrice appliquée en industrie est essentiellement des moteurs électriques couplés à des équipements de production ou des systèmes de process de fabrication, l'audit des installations électriques, doivent être traités selon les points énumérées ci-dessous :

- Une correction de la puissance réactive doit être faite, parce que le fournisseur du réseau pénalise les clients qui dépassent un certain seuil, la correction se fera avec des batteries de condensateur placé au niveau du transformateur ; la puissance réactive est dû à la présence des champs magnétiques des moteurs, des variateurs des transformateurs.
- La présence de filtre d'harmiques est souhaitable, elle permet une meilleure stabilité du réseau et atténue les surtensions et dysfonctionnement de certains équipements à base d'électronique.
- Le rendement des transformateurs doit être recalculé en fonction de la charge réelle de l'installation, dans certains cas le dimensionnement de départ ne correspond pas au fonctionnement réelle, soit redimensionner le transformateur, soit si plusieurs transformateurs sont placés de débrancher un ou deux, de façon à charger un au maximum.
- Le choix peut être porté sur des moteurs à haut rendement, s'il y a changement de moteur ou un investissement d'extension, le cout est relativement élevé mais peut compenser les pertes de rendement et augmenter la durée de vie.
- L'installation de variateur de vitesse permet l'ajustement du nombre de tours quand la charge varie, ceci permettra une réduction de la consommation une diminution de la fatigue, réduction du bruit.
- Une transmission non ajustée peut être une source non négligeable de pertes d'énergie, par conséquent un contrôle des transmissions doit être fait pour minimiser les pertes.
- La défaillance d'un moteur nécessite sa réparation ou son remplacement pour les faibles puissances, il est souhaitable, d'installer un nouveau moteur à haut rendement au lieu de sa réparation, pour les grandes puissances un calcul économique sera fait pour le remplacement.
- Le rebobinage des moteurs peut entraîner une diminution de son rendement, une attention particulière sera faite aux choix des réparateurs de moteurs, pour avoir un rendement efficace du moteur rebobiné.
- Les paliers de moteurs électriques, doit être régulièrement contrôlés et graissés pour maintenir une lubrification efficace et minimiser les pertes de frottement.
- Le câblage des installations électriques est souvent sources de pertes d'énergie par effet joule, un dimensionnement doit être contrôlé pour revoir les sections, et contrôler des installations.

2.2. Secteur du transport

L'article 12 du Décret exécutif n° 05-495 spécifie que le secteur du transport est assujéti à l'audit énergétique :

Art. 12. - Les établissements de transport dont la consommation annuelle totale d'énergie est égale ou supérieure à 1000 tonnes équivalent pétrole (tep) sont assujéti à l'obligation d'audit énergétique.

2.2.1. Détails sur le secteur du transport

Le secteur du transport recouvre les établissements ayant une flotte de véhicules, lourds légers ou autres dont la consommation en carburant est supérieure ou égale à 1000 tonnes équivalent pétrole.

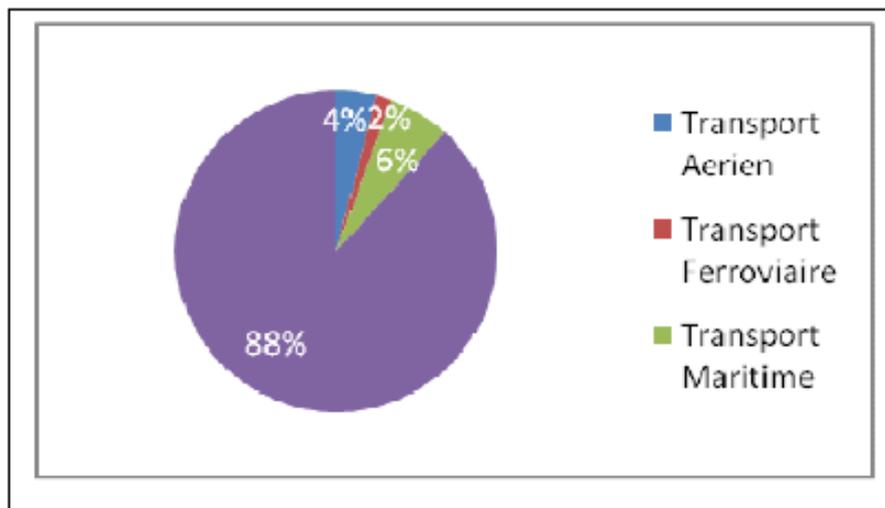


Figure 15. Répartition de la consommation du secteur de transports par mode [5]

Le secteur des transports a consommé 13,2 millions de TEP, comme l'indique la Figure 15 ci-dessus, soit 44% de la consommation énergétique nationale totale, le transport terrestre a absorbé 88% de la quantité totale du secteur des transports ; le parc véhicules avoisine les 5 millions dont 35 % sont des moteurs diesel.

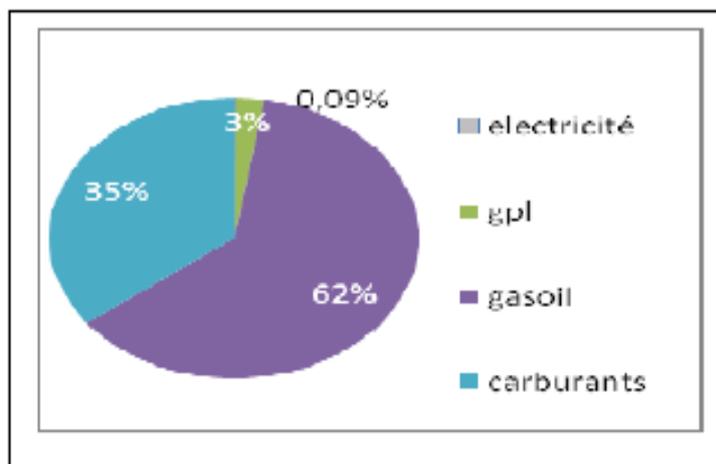


Figure 16. Répartition de la consommation du secteur des transports par type d'énergie [5]

Le graphique ci-dessus de la Figure 16 montre la prédominance de la consommation du gasoil qui a atteint les 62%, suivie des carburants essences avec 35%.

Une entreprise est concernée par l'audit transport lorsque le montant de la facture de carburant représente une part importante de sa consommation énergétique, que l'entreprise soit un transporteur routier de métier ou disposant d'un parc véhicules importants comme les commerciaux ou le service après-vente, elle a l'obligation de faire un audit du périmètre transport ; il existe différents modes de transport motorisés que sont :

- Transport routier : véhicule léger, véhicule utilitaire, véhicule lourd
- Transport aérien
- Transport maritime et fluvial
- Transport ferroviaire.

Certains critères seront utilisés par les transporteurs pour pouvoir établir un audit par le prestataire, ces données sont cruciales pour la suite de l'étude, elles sont énumérées ci-dessous :

- La planification des trajets
- Le lieu géographique, urbain ou hors urbain
- La distance parcourue
- Le chemin emprunté
- La composition du parc
- La formation des opérateurs
- Le ravitaillement en carburant
- Le comptage de la consommation
- La facture de chaque source de carburant
- La marchandise transportée
- Le nombre de personne transportée
- Le calcul du facteur de charge
- Le calcul des distances et des temps de production
- L'immobilisation
- La maintenance du parc
- Le remplacement des véhicules

2.2.2. Audit sur le secteur du transport

Les mesures d'efficacité énergétique dans le secteur des transports ont pour objectif de réduire la consommation de carburants des transports, en favorisant notamment la recherche de nouvelles approches.

L'estimation de l'efficacité doit tenir compte de l'utilisation de l'énergie par le mode de transport en conditions réelles d'exploitation.

Pour aboutir aux résultats escomptés, différentes mesures seront mises en œuvre :

- Favoriser le transport respectueux de l'environnement par rapport à celui gros émetteur de carbone.
- Favoriser l'utilisation de véhicules de nouvelles motorisations, afin de réduire la consommation de carburant.
- Entretenir efficacement les véhicules en respectant l'entretien préventif, comme le changement de filtres et pièces d'usure.
- Maximiser le remplissage des véhicules pendant le transport pour augmenter le taux de remplissage.
- Limiter les vitesses de déplacements parce que les pertes sont fonction de la vitesse au carré..
- Favoriser le transport de longues distances supérieures à 100 km par rapport aux distances courtes.
- Favoriser le transport modal pour les grandes distances, ceci permettra une économie globale sur le transport de marchandise.
- Projeter de mettre en place des parcs à la périphérie des zones urbaines, pour augmenter la mobilité des véhicules.
- Favoriser l'utilisation des carburants alternatifs comme le gaz de pétrole liquéfié (GPL) ou le gaz naturel carburant (GNC).
- Diminuer le transport à vide des véhicules lourds lors du retour du transporteur en transportant d'autres produits.
- Optimiser les tournées de transport de personnes et faire des circuits adaptables en liaison avec l'activité.
- Mettre au point des stages d'éco-conduites aux chauffeurs de véhicules ce qui permettra une économie de la consommation de carburants.
- Eviter les véhicules diesel puisqu'ils ont un impact négatif sur l'environnement en cas d'investissement ou de changement de véhicules.
- Contrôler les pneus parce qu'ils peuvent être à l'origine de la résistance au roulement, et donc des pertes d'énergie.
- Eviter les zones urbaines pendant les heures de pointes, la distance parcourue par unité de temps sera très faible et la consommation augmentera.

Le but recherché de ces mesures est la diminution de la facture globale de la consommation énergétique du secteur des transports, une augmentation de l'efficacité énergétique par véhicule, et par kilomètre de déplacement, une variation à la baisse de la tonne par kilomètre transportée, et si possible un report modal vers le transport par rail.

2.3. Secteur tertiaire

L'article 13 du Décret exécutif n° 05-495 spécifie que le secteur tertiaire est assujéti à l'audit énergétique :

Art. 13. - Les établissements du secteur tertiaire dont la consommation annuelle totale d'énergie est égale ou supérieure à 500 tonnes équivalent pétrole (tep) sont assujéti à l'obligation d'audit énergétique.

2.3.1. Données sur le secteur tertiaire

Le secteur économique du tertiaire recouvre en fait tout le secteur des services, à savoir le commerce, l'administration et les services aux entreprises et aux particuliers ; et oblige tout établissement, entité ou entreprise ayant une consommation supérieure ou égale à 500 tonnes équivalent pétrole à l'audit énergétique.

Le secteur tertiaire a consommé 2 millions de TEP soit plus de 6,50% de la consommation énergétique nationale, voir le détail dans la Figure 17, la grande part est consommée par l'administration 24%, suivie par le commerce 18% et la santé 12%, ensuite viennent les autres sous-groupes.

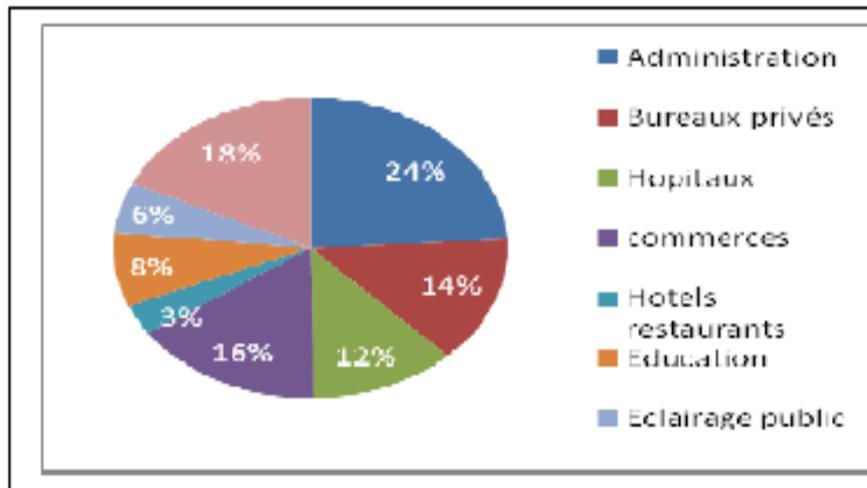


Figure 17. Répartition de la consommation du secteur tertiaire par branche [5]

La graphique ci-dessous de la Figure 18, montre une prédominance de l'électricité dans la répartition de la consommation du tertiaire par produit, ceci est dû aux systèmes de chauffage et climatisation, et l'utilisation massive des matériels informatiques et de bureautiques.

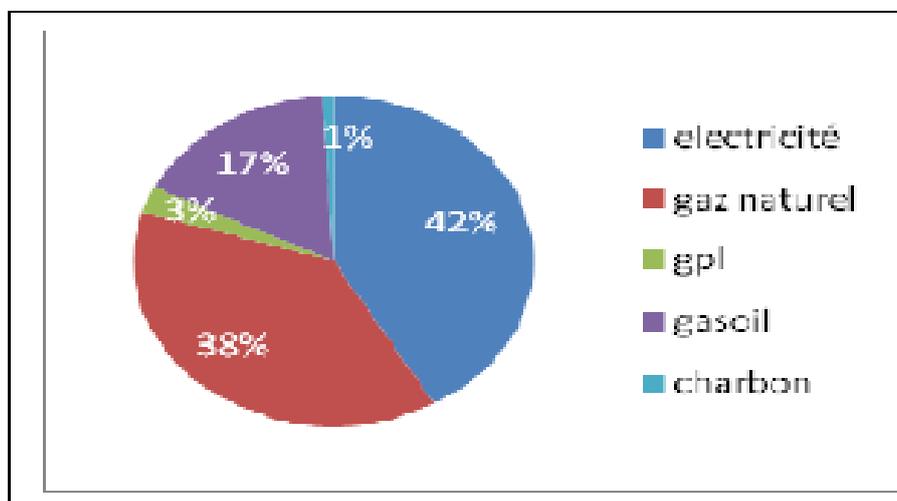


Figure 18. Répartition de la consommation du secteur tertiaire par types d'énergie [5]

Le secteur du tertiaire est constitué de trois postes importants, ils sont regroupés dans les points suivants :

- Le bâtiment qui est la structure ou se regroupe l'ensemble des équipements et les personnes, pour produire un service.
- Le chauffage et la climatisation qui sont les critères de base pour le confort du personnel et la qualité d'accueil du client.
- Le matériel informatique et de bureautique et qui regroupe tout le matériel des technologies de l'information et de communication.

2.3.2. Audit des bâtiments

L'audit d'un bâtiment permet d'effectuer un diagnostic de sa structure et ses caractéristiques, certains détails doivent être présentés en vue de procéder à l'analyse, parmi elles :

- Mentionner la date d'érection du bâtiment et les dates de rénovation ou d'extension.
- Faire la description et la présentation du bâtiment.
- Décrire les locaux, leurs surfaces, leurs volumes.
- Décrire les parois.
- Etudier l'isolation du bâtiment.
- Contrôler les circuits et ouvertures d'air.
- Mentionner les types de fenêtres.
- Décrire l'orientation du bâtiment.
- Présenter le mode d'occupation du bâtiment, heurs, jours.

2.3.3. Audit du chauffage et de la climatisation

Le chauffage et la climatisation dépendent du secteur d'activité et de la position géographique d'installation du bâtiment, un ensemble d'action peuvent déboucher sur une économie d'énergie si elles sont mises en œuvre, on peut citer :

- Amélioration de l'isolation des bâtiments.
- Changement du vitrage simple à celui du vitrage de bonne isolation thermique.
- Diminution des infiltrations d'air.
- Automatisation de la fermeture des portes.
- Diminution de la température de réglage.
- Arrêt des consignes pendant les arrêts de non occupation des bâtiments.
- Réduction des températures dans les locaux non occupés.
- Analyser la consommation du chauffage et de la climatisation.
- Etudier le circuit de distribution du chauffage et de l'air frais.
- Vérifier l'émission de la chaleur et l'emplacement des radiateurs.
- Améliorer la régulation de l'installation en automatique.
- Etudier le circuit de l'eau chaude sanitaire.

2.3.4. Audit du matériel informatique

Cette rubrique regroupe tous le matériel et les équipements informatiques et de télécommunications utilisés par le domaine du secteur tertiaire ; ce matériel est énuméré comme suit :

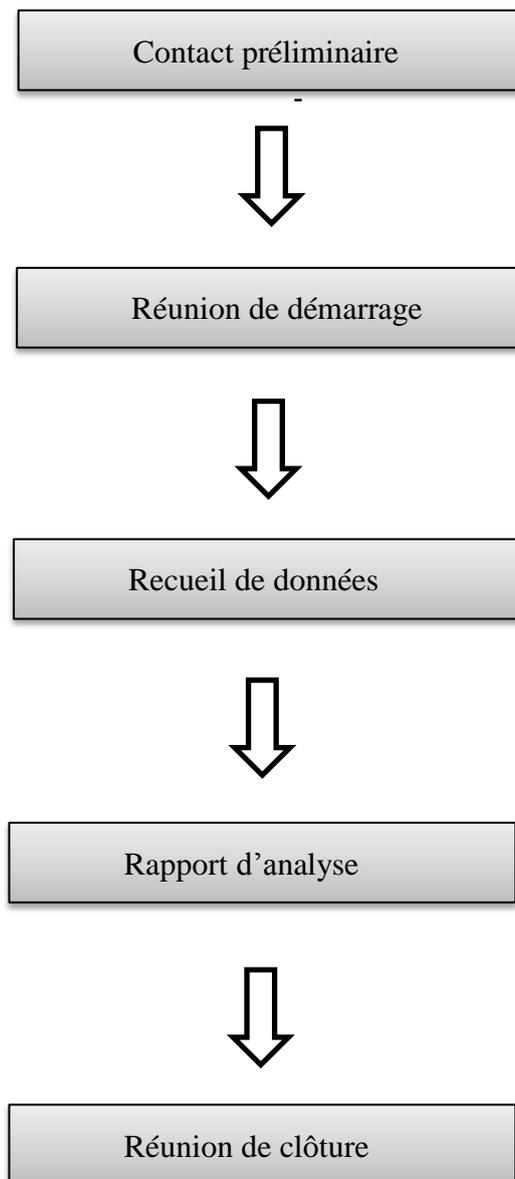
- Ordinateurs de bureau et PC portables.
- Serveurs informatiques.
- Imprimantes par poste ou partagées.
- Copieurs.
- Equipements de réseaux et télécoms.

L'analyse de la consommation va permettre une meilleur organisation de la gestion du parc, et de mettre en groupe les équipements communs, pour minimiser la consommation totale.

Chapitre 3 : Méthodologie de l'audit énergétique

Le lancement de l'opération de l'audit s'appuie sur deux étapes importantes, la première est un audit préliminaire permettant la connaissance de l'état des lieux, une seconde étape permettra une analyse approfondie de la consommation énergétique.

Dans tous les cas, la procédure de l'audit s'appuie sur les éléments suivants :



3.1. Audit préliminaire

Une étude et une analyse globale de la consommation énergétique sera faite en tenant compte des facturations des fournisseurs d'énergie, le résultat débouchera sur des recommandations et des solutions, tel que revoir les données de facturation, formation du personnel, changement d'usage, faible investissement, l'impact financier sera immédiat, soit à court termes.

3.1.1. Contact préliminaire

Cette approche débutera par un contact préliminaire entre l'auditeur et l'entreprise à auditer, particulièrement les premiers responsables de la société, parce que l'audit énergétique est devenu obligatoire pour les grands consommateurs, d'où les responsables doivent être informés de toutes les étapes. La direction délèguera une personne qui sera en contact avec les personnes qui ont la charge de l'audit, pour le suivi des opérations et la fourniture des informations et des documents nécessaires.

L'auditeur sera tenu de certaines obligations envers l'entreprise à auditer :

- de présenter son organisme, et tous les documents y afférents.
- est tenu par la confidentialité sur toutes les informations reçues de l'entreprise.
- s'engage à la transparence envers l'établissement à auditer.
- est tenu de respecter les règles et les consignes de sécurité à l'intérieur de l'établissement.

De même l'entreprise sera tenue de certaines obligations envers l'auditeur :

- déléguer une personne qui sera le lien entre l'auditeur et l'entreprise.
- fournir tous les documents nécessaires demandés par l'auditeur.
- avoir accès aux lieux et sites demandés par l'auditeur.

3.1.2. Réunion de démarrage

Une réunion de démarrage sera programmée, pour définir l'échéancier de travail, la méthodologie à suivre et les exigences des deux parties pour trouver un plan d'action et de démarrer l'opération d'audit.

Au préalable un périmètre devra être définie qui englobera 80 % de la facturation de l'entreprise, les consignes de sécurité et une mention de confidentialité doivent être approuvées par le personnel en charge de l'audit ; suivra ensuite une programmation des journées et des lieux de visites.

La personne déléguée par l'entreprise fournira au prestataire les documents nécessaires particulièrement :

- Un plan masse du site, un plan de situation.
- La consommation énergétique mensuelle sur une période de trois ans.
- Les détails du processus de production.
- Les quantités produites sur la même période.

- Les circuits des fluides : production, distribution et consommation.
- L'utilisation des vecteurs d'énergie par groupes d'équipements ou par bâtiments.
- Les contrats de fourniture d'énergie.
- Les modes de fonctionnement par jour, par semaine, voir par mois.
- Les projets d'investissement et de rénovation.

3.1.3. Recueil des données

Le prestataire regroupera les données disponibles, et demandera les informations nécessaires pour la consommation d'énergie, l'utilisation direct par type l'énergie pour les équipements de production, ou indirect pour la production des utilités.

Après la présentation du site et la description détaillée des processus de fabrication, des circuits des utilités par le délégué de l'entreprise, des visites seront planifiées et des entretiens avec des responsables de chaînes de production en vue de clarifier le fonctionnement des installations techniques.

Le recueil des données et des informations sur les fonctionnements des chaînes de production est généralement complété par les campagnes de mesures globales, en vue de consolider ou de compléter les lacunes constatées sur les données disponibles.

3.1.4. Rapport d'analyse

Lorsque toutes les informations ont été recueillies, le prestataire passe à l'analyse des données, et une approche de la consommation sera établie :

- Le diagnostic des contrats et les consommations de l'énergie.
- Un bilan d'énergie globale.
- La répartition du bilan par vecteur d'énergie.
- La répartition de l'énergie par chronologie.
- L'analyse des fluctuations hebdomadaire, mensuelle trimestrielle et annuelle.
- L'analyse de processus de production par groupes ou par bâtiments.
- Le calcul de la consommation spécifique par vecteur et par produit.
- La comparaison des ratios et des performances énergétiques à des références ou produits similaires..

Une fois l'analyse des consommations faites, des gisements économies d'énergie sont ciblés, qui aboutira sur les éléments suivants :

- La description des interventions à mettre en œuvre.
- La liste des travaux à engager.
- La hiérarchisation des solutions retenues.
- L'influence des propositions retenues sur la consommation.
- Le calcul du budget nécessaire.
- La détermination du temps de retour sur investissement.

3.1.5. Réunion de clôture

Un rapport détaillé sera présenté au client par le prestataire, indiquant les consommations d'énergie par vecteur, la consommation spécifique par produit et des ratios pour permettre d'apprécier la consommation de l'établissement par rapport à des établissements similaires. Le rapport débouchera aussi sur un ensemble de recommandations touchant le choix des paramètres des contrats de fournitures d'énergie, les tranches horaires, les types de facturations, des usages à modifier du personnel, des formations sur le tas du personnel.

Une réunion clôtura les travaux préliminaires avec présentations des conclusions, des solutions proposés en vue de réduire la consommation, la pertinence des données recueillies et les incohérences constatés ; une attention sera faite sur les économies d'énergie attendues, sans investissement, des données globales sont alors présentes sur la consommation par vecteur au niveau de l'établissement.

Ce rapport final sera alors une étape préliminaire et un outil pour entamer un audit approfondi de l'entreprise.

3.2. Audit détaillé

Un audit détaillé suivra et permettra de cibler les grandes consommations, de les analyser et de les compter, afin de connaître la consommation énergétique par unité de production, de pouvoir la comparer avec des systèmes similaires, et de proposer des solutions et recommandations en vue d'économiser l'énergie ; généralement l'impact financier est plus important, il nécessitera un investissement consistant.

3.2.1. Contact préliminaire

En s'appuyant sur les résultats de l'audit préliminaire, un programme sera alors tracé avec la direction de l'établissement pour approfondir l'étude et les calculs des consommations des équipements et des chaînes de production par vecteur d'énergie ; et de quantifier les émissions polluantes.

Le démarrage de cette phase commence par :

- La demande de la documentation complémentaire.
- Les besoins en sous comptage.
- La définition des périmètres à auditer.
- La présentation des grandes lignes de l'audit énergétique réglementaire.
- L'analyse des contraintes.

3.2.2. Réunion de démarrage

Des réunions de coordination seront programmés avec le représentant de l'entreprise pour préparer un plan de travail composé de :

- Un entretien avec les responsables de l'exploitation, de la maintenance, des travaux neufs.

- La préparation d'un échéancier des visites.
- La mise en œuvre des actions à pour la collecte d'informations ciblées.
- La collecte des détails sur les équipements.
- La vulgarisation de l'information au personnel.

3.2.3. Recueil des données

Après la préparation des programmes de visites et des cycles de collecte des mesures, des campagnes seront lancés sur une période de temps choisie, les campagnes peuvent être répétées en fonction des besoins des auditeurs en vue de vérifier la véracité des mesures si elles ont une influence des périodes spécifiques de l'année.

Un examen détaillé et une description complète seront relevés des installations techniques et des équipements énergivores, permettant la synthèse des composants et le fonctionnement de l'installation :

- Type d'équipement.
- Puissance.
- Année de mise en service.
- Vecteur d'énergie utilisé.
- Paramètres de réglage.

La campagne de mesures utilisera des outils simples, qui devront être en possession de l'auditeur :

- Analyseur d'oxygène.
- Analyseur de gaz de combustion (oxygène et gaz carbonique).
- Tube Pitot ou manomètre (pour mesurer débit des fumées).
- Pyromètre à infrarouge.
- Thermomètres avec différentes sondes de température.
- Débitmètre.
- Hygromètre ou thermo-hygromètre.
- Analyseur de réseau électrique (tension, courant, $\text{Cos}\varphi$, consommation d'énergie etc.).
- Ampèremètres.
- Appareils de mesure du $\text{Cos}\varphi$.
- Appareils de mesure de l'éclairement (luxmètre).
- Analyseur d'harmoniques.
- Multimètre.
- Pincés ampérométriques

Une liste est présentée ci-dessous dans le tableau 6 des variables à mesurer indiquant le procédé, et le type d'action requise pour faire la mesure, tirée du tableau Mesure de contrôle énergétique [13].

Tableau 6 : Mesure de contrôle énergétique

Procédé	Variable	Action requise
Utilisation de combustible liquide	Débit du combustible	Mesuré
	Température de combustible	Mesurée
Utilisation d'électricité	Consommation unitaire	Mesurée ou déduite
	Courant	Mesurée ou déduite
	Tension	Mesurée ou déduite
	Facteur de puissance	Mesurée
	Coefficient de charge	Mesurée
	Taux d'utilisation	Mesurée ou déduite
	Bilan de puissance	Mesurée ou déduite
Compensation de l'énergie réactive	Mesurée ou déduite	
Combustion	Température des fumées	Mesurée
	Débit des fumées	Mesurée
	Produits de combustion	Dérivés
	Air rejeté	Dérivé
	Coefficient de charge	Mesuré
	Taux d'utilisation	Mesuré ou déduit
Gaz	Débit du volume	Mesuré
	Température	Mesurée
	Teneur en humidité	Mesurée
Chaleur	Débit des flux	Mesuré
	Température	Mesurée
	Pression	Mesurée
Air comprimé	Analyse du réseau	
	Taux de fuite	Mesuré ou calculé
	Rendement	Mesuré ou calculé
Groupe de froid	Etude du système	
	Rendement	Mesuré ou calculé
Pertes de chaleur des surfaces	Température	Mesurée
	Superficie	Mesurée
	Vitesse de l'air	Mesurée ou calculée

3.2.4. Rapport d'analyse

Une analyse de données collectées sera faite et comparée avec les données mesurées, des calculs seront alors exécutés, l'objectif est d'arriver à cerner les points suivants :

- Analyse critique de l'état actuelle de consommation.
- Comparaison des données mesurées avec la concordance des installations.
- Comparaison des données mesurées avec les besoins de consommation.
- Vérification de l'adaptation de l'usage aux objectifs de production.
- Vérification du dimensionnement aux besoins d'énergie.

Lorsque l'analyse est terminée une présentation des données sera préparée sous formes d'indicateurs, de ratios, de tableaux de résultats, et de commentaires ; ceci pour faciliter la compréhension et la vulgarisation des résultats obtenues pour le personnel de l'entreprise audité ; les données les plus pertinentes à étudier sont :

- Le bilan global d'énergie.
- Les bilans globaux par vecteur d'énergie.
- Les bilans d'énergie par bâtiment, par chaîne de production et par équipement.
- Les bilans d'énergie par fluide.
- Les ratios de la consommation spécifique globale.

- Les ratios de la consommation spécifique par produit.
- Les ratios de consommation spécifique par vecteur d'énergie.
- Les ratios de consommation spécifique par vecteur d'énergie et par produit.
- Les pertes à différents niveaux.
- Les flux énergétiques dans le temps.
- La présentation du diagramme de Sankey.

Suivra alors une analyse de la qualité des installations, en tenant compte de l'état des équipements, de l'âge de l'installation, des défaillances et des arrêts de production ; une dernière analyse touchera les conditions d'exploitation des systèmes existants.

Sur la base des données recueillies et des analyses faites, l'auditeur aura cerné la problématique et pris connaissance des besoins réelles et des consommations ; et suite aux analyses faites il pourra déduire les gisements d'économies d'énergie, en tenant compte de la situation actuelle, des caractéristiques des installations et des contraintes liés au système.

En tenant compte des spécificités de chaque secteur étudié en chapitre 2, des actions et des recommandations d'amélioration de la performance énergétique seront recherchés à travers les axes cités ci-dessous :

- L'implantation d'un système de management de l'énergie.
- La comptabilisation des vecteurs énergétiques.
- La formation et la vulgarisation pour le personnel.
- L'optimisation de la maintenance et de l'exploitation.
- L'optimisation de la régulation.
- L'amélioration ou remplacement d'installations existantes.
- La veille technologique des systèmes efficaces en énergie.
- La substitution vers les ressources nouvelles et moins polluantes.
- L'accroissement des capacités de production.

3.2.5. Réunion de clôture

Une réunion de clôture sera programmée à la fin des travaux de l'auditeur, pour pouvoir présenter une synthèse aux responsables de structures et aux managers, ils auront ainsi une vision claire et bien précise des considérations économiques des gains à réalisés et des travaux à engager pour l'amélioration de l'efficacité énergétique ; le rapport final sera alors un outil et un moyen pour la prise de décision.

Des tableaux récapitulatifs seront présentés avec les différentes actions à engager avec les investissements nécessaires et les économies d'énergies.

3.3. Préconisation des solutions d'économie d'énergie

Après les différentes étapes de l'audit, des solutions seront proposés pour une économie d'énergie, un ensemble de solutions d'économies sont présentés au chapitre 2 ; Nous y avons ajoutés certaines pistes qui peuvent être exploitables, voir ci-dessous :

Les vecteurs énergétiques utilisés dans le tertiaire sont :
L'électricité, l'eau chaude, le chauffage, la climatisation.

Tableau 07 : Détail des niches d'économies dans le tertiaire

N°	Position	Niche	Action
01	Electricité	Réseau, éclairage	Consommation, charge
02	Eau chaude	Production, réseau	Etude, amélioration, fuites
03	Chauffage	Chaufferie, réseau	Etude, amélioration, fuites
04	Climatisation	Centrale, réseau	Etude, amélioration, fuites

Les vecteurs énergétiques utilisés dans l'industrie sont :

L'électricité, l'eau sous toutes ses formes (froide, chaude, surchauffée, vapeur), l'air (comprimé, ventilé, chaud), combustibles et autres fluides.

3.3.1. L'électricité

Ce vecteur est le plus utilisé, et dans tous les processus, il est acheminé du réseau du fournisseur d'énergie vers les récepteurs finaux, en passant par plusieurs étapes, la livraison et la transformation du MT au BT, câbles électriques, armoires électriques et enfin récepteur final.

Des gisements d'économies d'énergie peuvent être récupérer le long du réseau électrique, depuis la livraison jusqu'au récepteur final, un tableau récapitulatif nous indique les types de niches d'énergies en fonction de la position sur le parcours.

Tableau 08 : Détail des niches d'économies du réseau d'électricité

N°	Position	Niche	Action
01	Livraison	Puissance	Type de Facturation, PMD
02	Transformateur	Puissance	Nombre, rendement
03	Câblage	Longueur	Section, chute, nombre
04	Armoire	Processus	Etude, amélioration
05	Récepteurs	Moteur, éclairage	Rendements, charge, type

3.3.2. L'eau

L'eau est un élément essentiel des utilités, une gestion efficace peut faire des économies en eau qui est une ressource sensible, et en énergies ; il est présent dans le processus de fabrication, et comme fluide caloporteur, des rendements peuvent être améliorés, au niveau de tous les postes et usages ; ci-dessous une présentation possible des positions d'économies.

Tableau 09 : Détail des niches d'économies du réseau d'eau

N°	Position	Niche	Action
01	Alimentation	Reserve	Consommation
02	Utilités	Processus	Etude, amélioration
03	Réseau	Longueur	Section, fuites, nombre
04	Chauffage	Chaufferie, réseau	Etude, amélioration
05	Vapeur	Processus	Rendements, charge, fuites

3.3.3. L'air

Les réseaux d'air sont multiples, il peut être utilisé comme fluide caloporteur pour le chauffage et le refroidissement, il peut être utilisé comme énergie par exemple l'air comprimé, il peut être utilisé aussi comme comburant pour la combustion.

Tableau 10 : Détail des niches d'économies des réseaux d'air

N°	Position	Niche	Action
01	Air comprimé	Réseau	Consommation, fuites, charge
02	Chauffage	Chaufferie, réseau	Etude, amélioration
03	Ventilation	Réseau	Consommation, fuites, charge
04	Comburant	Combustion	Rendements, charge
05	Climatisation	Centrale, réseau	Etude, amélioration

3.3.4. Les combustibles

La consommation des combustibles est très présente dans les processus thermiques, le gaz naturel est fourni par le fournisseur national de l'électricité et du gaz, les autres combustibles liquides et gazeux sont disponibles, chez les fournisseurs par des quantités limitées ; ci-dessous une présentation des positions d'économies dans le tableau suivant.

Tableau 11 : Détail des niches d'économies des combustibles

N°	Position	Niche	Action
01	Alimentation	Reserve	Type de facturation, Consommation
02	Utilités	Processus	Etude, amélioration
03	Réseau	Longueur	Section, fuites, nombre
04	Chauffage	Chaufferie, réseau	Etude, amélioration
05	Vapeur	Processus	Rendements, charge, fuites

Les vecteurs énergétiques utilisés dans le transport sont : Les carburants.

Tableau 12 : Détail des niches d'économies dans le transport

N°	Position	Niche	Action
01	Flotte	mobilité	Consommation, charge

3.4. Chiffrage des solutions et temps de retour

Toutes solutions proposées seront valorisés et un amortissement sera estimé pour évaluer un temps de retour sur la préconisation des approches mises en œuvre, avec un calcul financier pour chaque solution à retenir.

Les recommandations seront classées selon une hiérarchisation de priorité, en premier lieu les actions ne nécessitant aucun investissement, les actions à court terme avec un faible investissement parce qu'ayant une rentabilité élevée, et les actions à long terme ayant une rentabilité certaine.

3.5. Rédaction du rapport d'audit

Un rapport détaillé sera élaboré englobant toutes les solutions, les analyses ainsi que les investissements nécessaires, pour la mise en œuvre des préconisations, le temps de retour sur investissement ; pour uniformiser les travaux le rapport sera présenté selon le modèle du guide méthodologique du ministère de l'Energie et des Mines.

Contenu du rapport d'audit est précisé dans le guide méthodologique [13]

Le rapport d'audit devra être rédigé suivant le plan ci-après.

- Sommaire du rapport
- Avant-propos ou préface
- Identification de l'entreprise et de l'auditeur

Il s'agit de présenter ci-dessous l'établissement visité et l'Auditeur qui a conduit l'audit énergétique.

a. Entreprise :

- Siège Social :
- Adresse complète :
- Numéro de Téléphone :
- Numéro de Fax :
- Chiffre d'affaires :

b. Etablissement audité

- Nom :
- Adresse complète :
- Numéro de Téléphone :
- Numéro de Fax :
- Directeur de l'Etablissement :
- Responsable Energie :

c. Auditeur

- Date de l'intervention :
- Nom de l'Auditeur :
- Personne ayant directement participé à l'audit: Préciser la qualification :
- Date d'envoi du rapport à l'établissement :

Analyse qualitative de la situation énergétique de l'établissement

- Analyse quantitative et description de toutes les recommandations d'économie d'énergie
- Résumé des principales recommandations

Le rapport d'audit énergétique devra contenir après l'identification de l'établissement audité, un résumé des différentes consommations énergétiques ainsi que leurs coûts.

Bilan énergétique global

Poste de consommation	Unités	Consommation	Consommations en Tep	Cout en DA

Dans ce chapitre, l'Auditeur présentera une synthèse des principales recommandations.

L'Auditeur présentera, dans un tableau, toutes les recommandations proposées en mentionnant l'investissement nécessaire, les économies attendues et le temps de retour brut pour chacune d'elles.

Tableau résumé des recommandations

Recommandations	Economies en Tep	Economies en DA	Investissements en DA	Temps de retour

Proposition d'un plan d'action

A partir des recommandations établies, l'Auditeur devra proposer un plan d'action chronologique qui contiendra les actions les plus rentables.

L'Auditeur devra présenter le plan d'actions sous forme de tableau.

PROJET N°

1. Désignation

2. Description

3. Investissement

4. Date de réalisation

5. Durée de réalisation

6. Incidence du projet

Gains en Energie : (TEP et DA)

Gains d'exploitation : (en DA)

Impact sur l'environnement.....(TCO2 évité)

7. Amortissement

Annexe du rapport

Les annexes contiendront toutes les informations nécessaires à la bonne compréhension du rapport.

1. Plan et schéma descriptif

2. Références utilisées

3. Copies des documents remis par l'établissement ou autres.

4. les détails de calcul

Chapitre 4 : Implantation d'un système de management de l'énergie

La norme ISO 50001

La norme ISO 50001 de l'Organisation internationale de normalisation, est une norme qui définit les exigences et des recommandations de mise en œuvre d'un système de management de l'énergie ; elle est le fruit et l'apport d'un ensemble d'experts issues de plus de 60 pays, elle a été publiée le 15 juin 2011.

Elle offre pour les entreprises ou tout autre organisme la possibilité d'amélioration de la performance énergétique ; elle permet de mettre au point des stratégies d'économie d'énergie et ainsi pouvoir réduire les coûts liés à l'énergie. Cette procédure pourrait, selon l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) avoir un impact sur 60 % de la demande d'énergie mondiale, ce qui est énorme.

A partir d'un historique de la consommation d'énergie, l'entreprise définit un plan d'amélioration continue de l'efficacité énergétique, en ciblant les gisements d'économies d'énergie, un modèle de système de management est mise au point, il peut être intégré aux autres systèmes de management s'ils sont opérationnelles tels que le management qualité 9001, et le management environnemental 14001.

Cette norme est d'application volontaire, pas une obligation ; certains l'utilisent pour les avantages tirés de son application d'autres par contre pour montrer aux organismes tiers qu'ils mettent un système de management de l'énergie, et c'est un atout important pour l'image de marque pour l'entreprise qui l'a mettra en œuvre.

L'ISO 50001 est outil de planification et une méthodologie de la gestion de l'énergie pour promouvoir l'efficacité énergétique et de faire face à la rareté de l'énergie fossile et à l'augmentation durable de son prix, et en même temps contribuer à l'impact environnementale par la diminution des émissions de gaz à effet de serre.

Cette norme aidera l'entreprise et les grandes installations énergivores à mettre en place des pratiques de management de l'énergie avec des lignes directrices pour l'évaluation continue et comparative, des méthodes de mesure et l'enregistrement des améliorations des vecteurs énergétiques, permettant ainsi aux entreprises de gagner en compétitivité.

Sa finalité est qu'elle permet à l'entreprise d'avoir une certification, et la reconnaissance d'une entreprise citoyenne, qui met en garde son engagement environnementale, et une utilisation rationnelle de l'énergie.

Les bénéfices de la norme ISO 50001, sont énumérés ci-dessous :

- Augmenter l'efficacité et réduire les coûts.
- Montrer à vos partenaires votre engagement pour l'environnement.
- Diminuer les risques et sécuriser l'accès à l'énergie.

La norme ISO 50001 définit un cadre d'exigences pour que les organismes puissent :

- Élaborer une politique pour une utilisation plus efficace de l'énergie.
- Fixer des cibles et des objectifs pour mettre en œuvre la politique.
- S'appuyer sur des données pour mieux cerner l'usage et la consommation énergétiques et prendre des décisions relatives.
- Mesurer les résultats.
- Examiner l'efficacité de la politique.
- Améliorer en continu le management de l'énergie.

La Figure 19, indique le schéma de principe de l'implantation d'un **système de management de l'énergie (ISO 50001: 2011)**

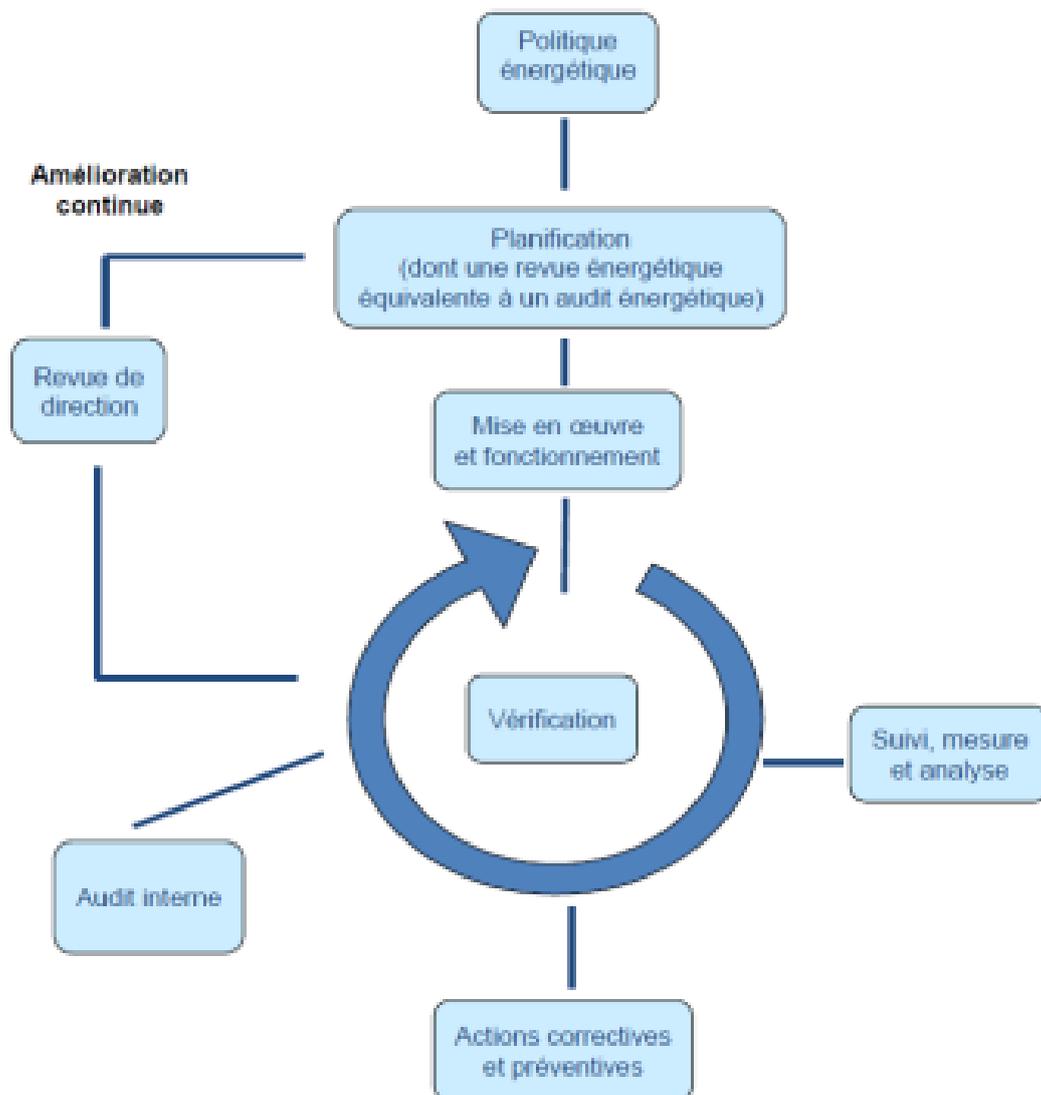


Figure 19. Schéma de principe d'implantation d'un système de management de l'ISO 50001 de 2011

Le management de l'énergie peut être décrit selon le schéma ci-dessous, qui est basée sur quatre étapes, planifier, faire, vérifier et agir, le détail de ces actions est détaillé comme suit, dans la norme ISO 50001 :

- Planifier : procéder à la revue énergétique et définir la consommation de référence, les indicateurs de performance énergétique (IPÉ), les objectifs, les cibles et les plans d'actions nécessaires pour obtenir des résultats qui permettront d'améliorer la performance énergétique en cohérence avec la politique énergétique de l'organisme.
- Faire : appliquer les plans d'actions de management de l'énergie.
- Vérifier : surveiller et mesurer les processus et les caractéristiques essentielles des opérations qui déterminent la performance énergétique au regard de la politique et des objectifs énergétiques, et rendre compte des résultats.
- Agir : mener à bien des actions pour améliorer en permanence la performance énergétique et le SMÉ.

L'installation d'un système de management de l'énergie permet d'évaluer la consommation sous l'angle technique, c'est à dire processus, la mise en place d'action nécessite donc une parfaite connaissance des techniques de processus et de fabrication, en incluant en général la maintenance des équipements ; la mise en marche de la procédure aura besoin d'une équipe de management de l'énergie.

L'élaboration d'une revue énergétique périodique dans l'étape d'évaluation, est un outil clé ; et a deux objectifs :

- Identification des consommateurs énergétiques importants (indication des paramètres : mesure, étude, données, ratios)
- Identification et classement par priorités des gisements d'économie à travers la réalisation d'un diagnostic énergétique

Chapitre 5 : Etude de cas

5.1. Les études de l'Aprue

L'agence APRUE est l'organisme étatique pour la promotion de la maîtrise énergétique du gouvernement, a réalisé plusieurs études, parmi elle :

5.1.1 Consommation Energétique Finale de l'Algérie : Chiffres clés Année 2012 [5]

Nous avons présentés en chapitre 2, quelques données de cette étude.

5.1.2 Cimenterie de Ain Touta : L'APRUE a réalisée l'audit énergétique de la cimenterie d'Aïn Touta [14]

L'Aprue a réalisée juillet 2009 un audit à la cimenterie, en vue de chiffrer le potentiel d'économie d'énergie consommée en électricité et en gaz, les résultats de l'étude ont montrées une progression (près de 7,7% par rapport à 2007) de la consommation énergétique (gaz et électricité), de 125,75 GWH elle est passée à 2007 à 135,45 GWH en 2008.

La consommation spécifique a augmentée passant de 107,4 KWH par tonne de ciment en 2007 à 112,1 KWH en 2008, soit une régression de l'efficacité énergétique ; En 2008, la cimenterie a produit environ 1,2 million de tonnes de ciment.

La consommation du gaz à diminuée ce qui implique une nette amélioration de l'efficacité coté gaz, la consommation spécifique thermique a été de de 1 095 thermies en 2007, et seulement 1052 par tonne en 2008.

Un rapport a été rédigé formulant ainsi un certain nombre de remarques, conseils, avis, conclusions et recommandations ; un plan d'actions a été mis au point en vue de réajuster et améliorer l'exploitation de l'énergie disponible.



Figure 20. Four et Séchoir de la cimenterie d'Aïn Touta [14]

5.1.3. Consommation énergétique du secteur des transports « Bilan et Perspectives »

L'analyse du parc véhicules montre :

- Le parc national a atteint plus de 5 millions de véhicules avec un taux de croissance annuel de 4.5% entre 2000 et 2013.
- Les véhicules de touristes ont la part la plus importante soit 65% du parc automobile.
- Le parc national représente 0.5 % du parc mondial, et deuxième en Afrique après celui de l'Afrique du sud.
- Le ratio véhicule par habitant représente 80 véhicules pour 1000 habitants, 500 en Europe Occidentale, 800 aux USA ; 26 en chine, dans le monde la moyenne est de 150.
- Le parc national est vieux, 70% des véhicules sont âgés de plus de 10 ans.

Répartition du parc national automobile par catégorie de véhicules

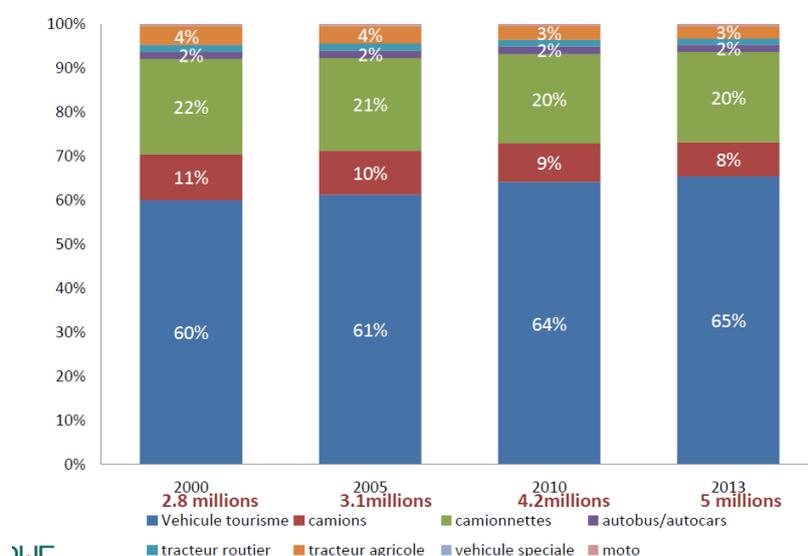


Figure 21. Parc véhicules [15]

Le gasoil avec 65% et l'essence 26% sont les énergies les plus utilisés dans le secteur des transports.

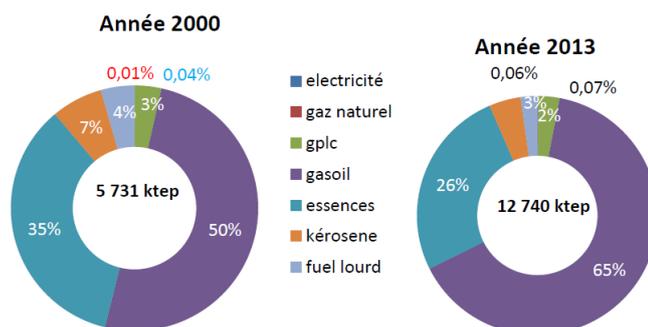


Figure 22. Les énergies dans le transport [15]

Après analyse, certains paramètres ont été calculés montrant la consommation moyenne et les indicateurs énergétiques et environnementaux

Tableau 13 : Evolution de la Consommation et de l'émission moyennes [15]

	Consommation moyenne du carburant par litre par 100 Km			Emission moyenne de CO2 par gramme par 100 km		
	2005	2008	2013	2005	2008	2013
essence	7.2	7.1	6.9	159.1	157.9	156.1
diesel	8	8	7.2	197.7	197.4	181.6
total	7.5	7.4	7	173	172	165

5.2. Audit de l'unité liège de Jijel : Audit énergétique dans le secteur des matériaux de construction : unité liège de Jijel

Un audit énergétique a été élaborée par une équipe de recherche de l'université de Batna [16], l'analyse porte sur la consommation des produits énergétiques de la chaîne de liège de l'unité de liège située à Jijel, l'étude portait sur la chaîne de production de liège comparée à la consommation totale de la société, et indiquée dans le graphique ci-dessous :

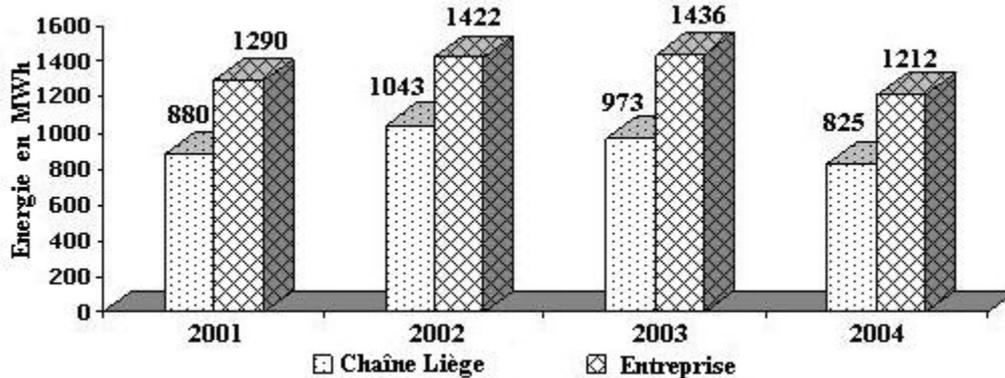


Figure 23. Consommation de l'énergie électrique de la chaîne liège et de l'entreprise [16]

La puissance mise à disposition est de 750kW, la puissance appelée ne dépasse pas le niveau de 412kW, il y a une surfacturation de la PMD par rapport à celle consommée, comme indiqué sur le graphique suivant :

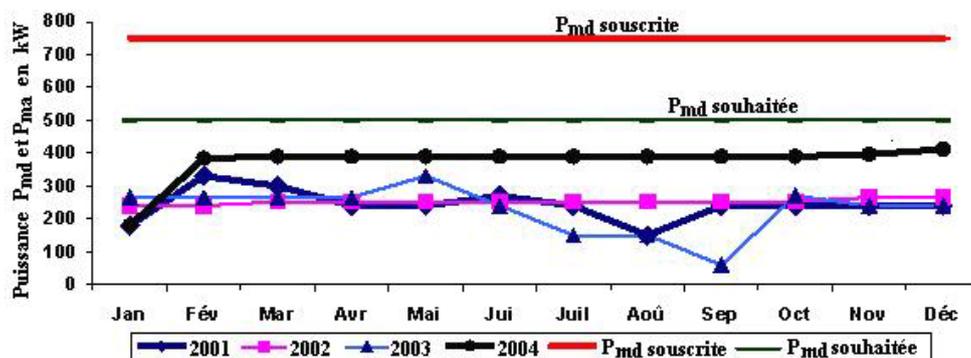


Figure 24. Puissance mise à disposition à l'entreprise [16]

L'énergie réactive de la chaîne de liège représente 80% de la facture réactive totale, celle-ci est due au nombre importants de machines tournantes: broyeurs à marteaux, broyeurs à couteaux, ventilateurs.

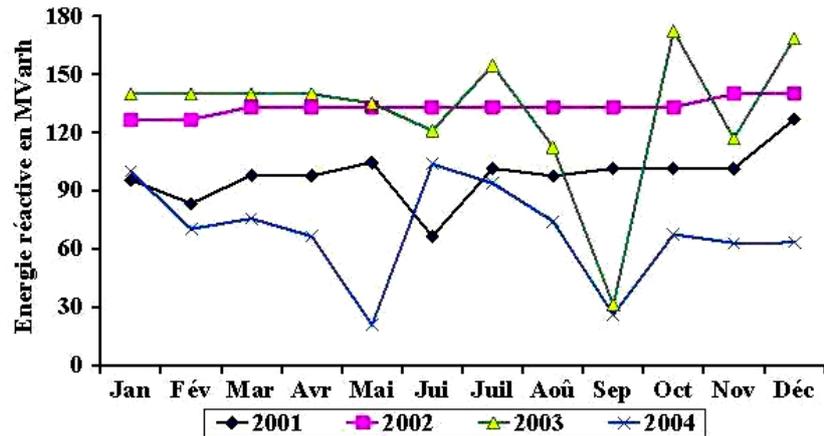


Figure 25. L'énergie réactive [16]

La consommation de gaz est comparée à la consommation électrique sur une période de trois ans 2001-2004, le gaz représente une part importante de la consommation de la facture énergétique totale.

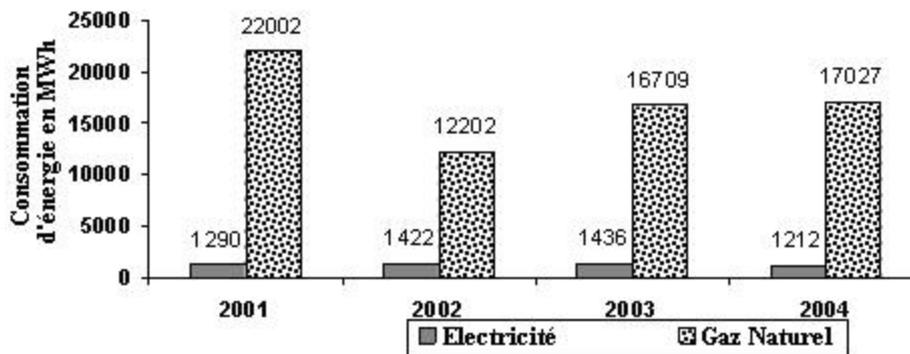


Figure 26. Consommation par type d'énergie [16]

L'équipe de recherche a émis un certain nombre de recommandations en vue d'améliorer l'efficacité énergétique de l'entreprise, particulièrement la chaîne de production de liège :

- La révision du contrat de fourniture d'énergie par la Sonelgaz
- L'installation d'une batterie de condensateur en vue d'améliorer le $\cos \phi$
- La récupération de la chaleur du circuit vapeur pour les besoins sanitaires.

5.3. Les audits énergétiques des briqueteries : bilan et synthèse [17]

Le Maroc dispose de 82 briqueterie, l'ensemble produit 5 millions de tonnes, et emploie 4300 personnes, la consommation annuelle d'énergie est répartie comme suit :

- Fioul 54.000 Tonnes.
- électricité: 36 290.683 kWh.
- total 41.659 tep.

L'analyse a montré que la consommation spécifique moyenne s'établit comme suit :

- ratio électricité 40 kWh/t.
- ratio thermique: 417 th/t.

Un ensemble de projet d'économie ont été réalisés, vu le potentiel important trouvé, et ont abouti aux résultats suivants :

Tableau 14 : Résultats de l'audit [17]

Briqueterie	Nombre de Projet	Montant des gains (Dhs)	Montant de l'investissement (Dhs)	Temps de retour moyen (mois)	Facture énergétique (Dhs)
1	4	1 084 430,00	2 070 000,00	23	8 591 631,00
2	5	2 741 276,00	2 675 000,00	12	22 054 575,00
3	6	2 725 625,00	3 150 000,00	14	15 480 839,00
4	4	610 015,00	480 000,00	10	2 729 588,00
5	4	2 402 633,00	3 500 000,00	18	7 609 337,00
6	5	1 306 292,05	2 250 000,00	21	19 148 839,00
7	6	3 645 874,00	3 565 000,00	12	22 054 575,00
8	4	721 974,80	2 070 000,00	35	10 525 361
9	4	120 432,00	420 000,00	42	1 222 669,00
Total	46	15 358 551,85	20 180 000,00	16	109 417 414,00

5.4. Le diagnostic énergétique d'une cimenterie [18]

L'usine est constituée de 10 fours, et produit 3 millions de tonnes de ciments ; il a été décidé de moderniser en vue de réduire les coûts de production.

L'étude a retenu deux variantes :

- le montage d'une nouvelle ligne de cuisson.
- la rénovation de 4 lignes.

Et c'est la rénovation qui a été retenu, avec un ensemble de recommandations en vue de réduire la consommation énergétique :

- amélioration du broyage.
- installation de préchauffeurs.
- mise en place de refroidisseurs.
- remplacement des filtres.

Ces travaux en permis au bout de quelques années, des économies d'énergie, l'améliorer de la protection de l'environnement et la qualité des produits, la fiabilité des installations et la productivité.

Tableau de résultats

	Unités	Avant	Après
Production clinker	t/j	1550	2200
Consommation calorifique	MJ/t clinker	3956	3366
Consommation électrique	kWh/t ciment	162	108.9

Conclusion

L'audit énergétique une fois réalisé va permettre de diminuer la consommation énergétique et de réduire les émissions de gaz à effet de serre, il aura aussi un effet sur la facture énergétique et un gain substantielle pour l'entreprise consommatrice d'énergie et un accroissement de l'efficacité énergétique,

L'audit est devenu obligatoire pour les entreprises consommatrices atteignant un certain seuil, donc il est nécessaire de faire un audit énergétique par un bureau spécialisé tous les trois ou cinq années.

L'audit aboutira sur un rapport qui sera la feuille de route pour l'entreprise, il ciblera les gisements possibles d'économies d'énergie, les investissements nécessaires et les temps de retour sur investissement ; des solutions techniques peuvent être énumérés ; généralement un rapport sera la synthèse des travaux d'auditeurs et contenant des suggestions réparties en trois volets, des recommandations ne nécessitant pas d'investissements, des instructions avec faible financement et un temps de retour rapide, des financements importants avec des délais de réalisation étalés sur plusieurs années.

Les résultats de l'audit vont apparaitre dès les premiers mois après l'exécution du rapport d'audit et répartis dans le temps. Une comparaison au standard de consommation spécifique international sera l'objectif de l'entreprise pour augmenter son efficacité énergétique.

Références

- [1] Annexe I, Les cahiers des charges définissant la méthodologie, le rapport d'audit et sa synthèse, Ministère de l'Énergie et des Mines
- [2] site internet Wikipédia, Ressources et consommation énergétiques mondiales
- [3] site internet Wikipédia, Énergie en Algérie
- [4] site internet Ministère de l'énergie et des mines, <http://www.mem-algeria.org/>
- [5] Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie, Consommation Énergétique Finale de l'Algérie, Chiffres clés Année 2012
- [6] Modèle de facture Sonelgaz, site de société de distribution du centre, <http://www.sdc.dz/spip.php?article18>
- [7] Les énergies renouvelables en Algérie réalités et perspectives, Ministère de l'énergie et des mines
- [8] site internet APRUE, <http://www.aprue.org.dz/>
- [9] site internet encyclopédie de sécurité et santé du travail, <http://www.ilocis.org/fr/documents/ilo093.htm>
- [10] site internet briqueterie Monomur, <http://www.monomur.com/>
- [11] site internet chaufferie vapeur de Babcock-Wanson, <http://www.babcock-wanson.fr/>
- [12] Schneider Electric - Guide de solutions Force Motrice électrique.
- [13] Annexe II, Le guide méthodologique, Ministère de l'Énergie et des Mines
- [14] L'APRUE réalise l'audit énergétique de la cimenterie de Aïn Touta, La lettre n°18, Septembre 2010, Bulletin trimestriel de l'Agence Nationale pour la Promotion et Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie.
- [15] Mr Ouazene Mourad, Consommation énergétique du secteur des transports « Bilan et Perspectives l'Agence Nationale pour la Promotion et Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie, Séminaire sur l'efficacité énergétique dans le transport « Promotion des Carburants Propres » Hôtel Hilton, les 03 et 04 juin 2015- Alger
- [16] C. Hamouda, A. Benamira, A. Malek, 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, Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N° 2 (2007) 157-172
- [17] Les audits énergétiques des briqueteries : bilan et synthèse, Séminaire sur la maîtrise de l'énergie dans le secteur briquetier marocain, Chambre de Commerce et d'Industrie de Meknès, le 30 mai 2008.
- [18] Le diagnostic énergétique d'une cimenterie, Thématique: Les diagnostics énergétiques, Fiche Technique PRISME n° 1, Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie IEEF.