

Audit Énergétique Obligatoire

Guide pratique sur
la méthodologie de l'Audit
Énergétique selon
la norme NM ISO 50002



amee
Agence Marocaine
pour l'Efficacité Énergétique


**coopération
allemande**
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Réalisée par :
giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



Audit Énergétique Obligatoire

Guide pratique sur la méthodologie de l'Audit
Énergétique selon la norme NM ISO 50002







Sommaire

1. Contexte et introduction	6
2. Déroulement de l'audit énergétique	10
2.1. Méthodologie proposée	11
2.2. Quelles sont les critères de choix des Auditeurs/organismes d'audit énergétique ?	12
2.3. Comment conduire la réunion d'ouverture ?	14
2.4. Quelles sont les informations qui doivent Être collectées par l'auditeur ?	17
2.5. Qu'est-ce qu'on entend par un plan de mesure ?	19
2.6. Comment gérer et conduire la visite du travail sur site ?	20
2.7. Comment effectuer l'analyse des données collectées ?	22
2.8. Rapport d'audit énergétique : quel contenu et quelle structure ?	25
2.9. Comment se déroule la réunion de clôture ?	27
3. Méthodes et outils pratiques	29
3.1. Exemples de données à collecter lors de l'enquête sur site	30
3.2. Exemples de mesures physiques à réaliser et postes à contrôler	31
4. Tableau récapitulatif ces mesures ainsi que les outils recommandés	37
3.1. Exemples de données à collecter lors de l'enquête sur site	38



Contexte et Introduction





1

CONTEXTE ET INTRODUCTION

“ Notre engagement dans la voie de développement d’un modèle énergétique efficient et décarbonisé au bénéfice du bien-être et de la prospérité de nos citoyens s’appuie prioritairement sur la montée en puissance des énergies renouvelables et le renforcement de l’efficacité énergétique.

L’efficacité énergétique constitue, aujourd’hui avec les énergies renouvelables, une nouvelle révolution dans le secteur énergétique de par l’évolution technologique qui assure une corrélation entre ces deux composantes. Elles devraient être intégrées et prises en considération dans les décisions d’investissement et de choix technologique dans l’ensemble des secteurs clés et gros consommateurs d’énergie, notamment l’industrie, le bâtiment, le transport, l’éclairage public et l’agriculture. ”

*Extrait du message Royal d’acceptation
du Prix du Visionnaire en Efficacité Énergétique*

Le Maroc a adopté une stratégie énergétique nationale à l’horizon 2030 qui a pour objectif de réduire considérablement la lourde dépendance du pays à l’importation des combustibles fossiles à travers le développement des énergies renouvelables et l’efficacité énergétique, et de contribuer significativement à la réduction des émissions de GES.

Dans ce cadre, le législateur marocain a institué des règles coercitives pour obliger les gros consommateurs à adopter des mesures de conservation de l’énergie en procédant à des audits énergétiques systématiques ayant pour but d’identifier toute piste d’optimisation de la performance énergétique. Un socle juridique, en application de la loi n°47-09 relative à l’efficacité énergétique, a été publié au Bulletin Officiel, il s’agit du décret n° 2-17-746 relatif à l’audit énergétique obligatoire et aux organismes d’audit énergétique, qui est entré en vigueur depuis fin 2019.

Ce décret a défini les seuils de consommation énergétique finale à partir desquels les consommateurs sont obligés de procéder à un audit énergétique :

- 500 tonnes équivalent pétrole (TEP) par an pour le secteur tertiaire (tourisme, santé, éducation, enseignement, services et commerce), les entreprises et les établissements de transport et de distribution d’énergie et pour les personnes physiques.
- 1 500 TEP par an pour les entreprises et les établissements relevant du secteur de l’industrie y compris les entreprises et les établissements de la production d’énergie.

Dans ce contexte, le Ministère de l'Énergie et l'AMEE avec l'appui de la GIZ (Agence de Coopération Allemande) ont élaboré ce guide qui pour objectif de :

- Suggérer une procédure générale et systématique d'audit énergétique obligatoire, applicable aux secteurs tertiaires et industriels (basée sur la NM ISO 50002).
- Présenter brièvement les méthodes et outils pratiques pour collecter les informations sur site et effectuer les mesures des systèmes les plus habituels.
- Lister l'ensembles des données et paramètres clefs qui doivent être analysés durant l'audit énergétique.
- Énumérer l'essentiel des livrables de l'audit (rapport, fiches de calcul ...) et leurs contenus.

Pour la suite de ce guide, les consommateurs assujettis à l'audit énergétique obligatoire seront appelés «donneur d'ordre».





Déroulement de l'Audit Energétique

2





2 DÉROULEMENT DE L'AUDIT ÉNERGÉTIQUE

Ce chapitre donne une vue générale du bon déroulement de l'audit énergétique des bâtiments et processus industriels, tel qu'il est recommandé et prescrit dans les standards et normes internationaux et marocains, notamment la NM ISO 50002 et la NM EN 16247-1, 2 et 3 et tel qu'il est réalisé par les bureaux d'études et de conseil en énergie reconnus au niveau national et international.

Il existe plusieurs types d'audit énergétique plus ou moins détaillés. Ce chapitre décrit brièvement les aspects clés d'un audit énergétique et propose une démarche complète et systématique pour identifier et préconiser les actions d'amélioration rentables de la performance et de l'efficacité énergétique.



2.1. Méthodologie proposée

Le processus d'audit énergétique proposé par le présent guide se base principalement sur la méthodologie de la norme NM ISO 50002 et comprend les étapes suivantes :





2.2. Quelles sont les critères de choix des auditeurs/organismes d'audit énergétique ?

Le choix de l'auditeur/organisme d'audit énergétique est un élément crucial pour assurer la réussite de la mission d'audit énergétique, d'où l'importance de bien préciser les compétences et les qualifications que ce dernier doit avoir et qui peuvent varier selon la limite et la portée de l'audit énergétique. Une équipe d'audit énergétique doit être présidée par un auditeur principal qui est le responsable de l'audit ainsi que l'interlocuteur principal du donneur d'ordre.

Selon le décret n° 2-17-746 relatif à l'audit énergétique obligatoire et aux organismes d'audit énergétique, un organisme d'audit énergétique devra disposer de deux auditeurs énergétiques ou d'un auditeur et deux agents sous sa supervision.

Auditeur énergétique

Personne habilitée à réaliser des audits énergétiques à condition de remplir les conditions suivantes:

- Avoir un **certificat** ou un **diplôme d'ingénieur d'État/Master/DESA/Doctorat** dans l'un des domaines suivants : Énergétique, thermique, électrique, mécanique, chimique, procédés industriels, électrotechnique et électromécanique ;
- Avoir au moins trois ans d'expérience dans le domaine de l'audit (industrie, tertiaire) ou avoir un diplôme en audit énergétique.

Agent

Personne habilitée à réaliser des audits énergétiques sous la supervision d'un auditeur énergétique, à condition d'avoir un **certificat** ou un **diplôme d'ingénieur d'État/Master/DESA/Doctorat** dans l'un des domaines suivants : Énergétique, thermique, électrique, mécanique, chimique, procédés industriels, électrotechnique et électromécanique ;

En plus, l'auditeur énergétique doit avoir :

- Des compétences techniques pertinentes spécifiques aux usages d'énergie, à la portée, aux limites et à l'objectif de l'audit ;
- De l'expérience et être familiarisé avec les usages de l'énergie faisant l'objet de l'audit (électricité, thermique, énergies renouvelables, autres équipements ou processus spécifiques) ;
- Des connaissances des exigences des normes internationales et nationales relatives à l'audit énergétique et à l'efficacité énergétique ;
- Une connaissance des exigences légales et autres appropriées au contexte de la mission ;
- Pour l'auditeur énergétique principal, en plus des compétences précitées, il doit justifier des compétences en matière de gestion de projet, de professionnalisme et de leadership pour gérer une équipe

Pour un auditeur qui ne remplit pas ces exigences : l'amélioration de ses compétences pourra se faire par plusieurs moyens tels que la participation à des séminaires, des conférences, des formations techniques, etc...

Le donneur d'ordre doit veiller à ce que l'offre technique du prestataire et la planification de la réalisation proposées répondent entièrement à ses besoins et aux spécificités de son contexte. Il doit aussi s'assurer que le prestataire respecte l'éthique professionnelle, notamment :

- **La confidentialité des données** : Les informations recueillies à l'issue du processus de l'audit énergétique ne doivent pas être utilisées de manière inappropriée par l'auditeur à des fins personnelles, ou d'une manière préjudiciable aux intérêts légitimes du donneur d'ordre. Ce concept inclut le traitement correct des informations sensibles ou confidentielles ;
- **l'objectivité** : L'auditeur énergétique doit agir de manière indépendante et impartiale. Les conflits d'intérêts (personnels, financiers ou autres) doivent être identifiés et communiqués au donneur d'ordre en temps utile.

Dans certains cas, l'organisme peut exiger au prestataire la signature d'un « **Engagement de confidentialité** » pour protéger des informations critiques et sensibles qui lui seront communiquées.

L'audit énergétique doit être effectué tout en respectant les conditions et principes suivants :

- L'audit est conforme à la portée, aux limites et aux objectifs préalablement convenus entre le donneur d'ordre et l'organisme d'audit.
- Les mesures et les observations sont appropriées aux usages et à la consommation d'énergie.
- Les données de la performance énergétique collectées sont représentatives des activités, processus, équipements et systèmes.
- Les données utilisées pour quantifier la performance énergétique et identifier les opportunités d'amélioration sont cohérentes et uniques.
- Le processus de collecte, de validation et d'analyse des données est traçable.
- Le rapport d'audit énergétique offre des possibilités d'amélioration de la performance énergétique basées sur une analyse technique et économique appropriée.



2.3. Comment conduire la réunion d'ouverture ?

La réunion d'ouverture est une étape décisive pour la réussite d'un projet d'audit énergétique. Elle a pour but de permettre à l'équipe auditrice, de valider et convenir avec le donneur d'ordre: les objectifs, la portée, les limites, le coordinateur principal de l'entreprise et les méthodes de l'audit énergétique définies. Elle permet aussi aux auditeurs de connaître les dispositions prises pour cette mission d'audit (par exemple : inductions de sécurité du site, accès, sûreté, etc...).

2.3.1. Préparation de la réunion d'ouverture

La réunion d'ouverture doit être bien préparée à l'avance, l'organisme d'audit est tenu de réaliser une planification préalable, généralement basée sur son offre technique relative à l'audit, revue et adaptée aux besoins et contexte du donneur d'ordre. Cette planification doit inclure au minimum les points suivants :

- Besoins et attentes pour atteindre les objectifs de l'audit exprimés par le donneur d'ordre.
- Niveau de détail requis pour l'audit énergétique (préliminaire, détaillé ou approfondi).
- Planning de réalisation : Le périmètre, les délais et périodes de chaque phase/tâche et sous tâche de la mission.
- Critères d'évaluation et de classement des opportunités d'amélioration de la performance

Exemple de critères classiques d'évaluation :

- 1- retour sur investissement
- 2- économies d'énergie estimées
- 3- coût du cycle de vie
- 4- analyse des coûts différentiels des alternatives (moins énergivores)
- 5- Risques et difficultés techniques ...

- Ressources du donneur d'ordre affectées à la mission : responsables, opérateurs, temps et autres moyens techniques.
- Données pertinentes à mettre à disposition avant le début de l'audit énergétique.

Exemple de données et informations à préparer :

- 1- plan de masse
- 2- schémas techniques
- 3- historique de consommation d'énergie (électrique et thermique)
- 4- factures énergétiques
- 5- fiches techniques d'équipement énergivores
- 6- plans unifilaires
- 7- plan de circuit de vapeur
- 8- plan circuit d'air comprimé...

- Types de livrables attendus et format du rapport.
- Rapport initial ou livrables intermédiaires, s'ils doivent être présentés au donneur d'ordre pour remarques et/ou commentaires avant de remettre les versions finales.
- Le processus d'acceptation de tout changement dans la portée de l'audit énergétique.

Pour bien comprendre le contexte de l'organisme, l'auditeur est invité à analyser :

1. Exigences réglementaires ou autres variables ayant une incidence sur l'audit énergétique ou affectant la portée ou d'autres aspects de la mission
2. Plans stratégiques susceptibles d'affecter la performance énergétique de l'organisation (exemple : changements de gamme des produits, plans d'extension, projets prévus...)
3. Systèmes de management existant (l'environnement, la qualité, l'énergie ou autres)
4. Toute considération, même subjective, y compris les opinions existantes, les idées et les restrictions relatives aux mesures potentielles d'amélioration de la performance énergétique.

Tous ces éléments devront être discutés et validés pendant la réunion d'ouverture.





2.3.2. Rôles et responsabilités du donneur d'ordre

L'organisme d'audit demande au donneur d'ordre de :

- Affecter du personnel d'assistance à l'auditeur ou des personnes appropriées constituées en équipe à cet effet : ces personnes doivent disposer des compétences et de l'autorité nécessaires pour demander ou effectuer des opérations directes sur des processus et des équipements, soutenir la portée et les objectifs de l'audit énergétique défini.
- Informer le personnel concerné et les autres parties intéressées du démarrage de l'audit énergétique, de leurs rôles, de leurs responsabilités, de leur coopération et des exigences éventuelles qui leur sont imposées.
- Assurer la coopération des parties concernées.
- Confirmer toute condition inhabituelle pouvant affecter l'audit énergétique ou les performances énergétiques, tels que les travaux de maintenance, les visites spéciales (clients, autorités réglementaires, etc.), les modifications importantes des volumes de production et autres.

Si l'auditeur énergétique n'est pas une personne physique, un membre de l'équipe d'audit énergétique doit être nommé auditeur énergétique principal.

Préférentiellement, la réunion d'ouverture doit s'organiser en direct et sur site. Mais elle peut aussi se faire sous forme d'appels téléphoniques, de téléconférences et d'autres méthodes électroniques.

2.3.3. Ordre du jour et points à discuter lors de la réunion d'ouverture

L'organisme d'audit doit convenir avec le donneur d'ordre :

- Les modalités d'accès, conformément au domaine d'audit énergétique défini pour l'auditeur énergétique.
- Les exigences relatives aux règles et procédures en matière de santé, de sécurité, de sûreté et d'urgence.
- La disponibilité des ressources, y compris les données énergétiques et la nécessité de mesures supplémentaires.
- L'accord de non-divulgateion.
- Les exigences relatives à toute mesure spéciale, si nécessaire.
- Les procédures à suivre pour l'installation de l'équipement de mesure, si nécessaire.

L'organisme d'audit énergétique doit examiner les détails de la planification de l'audit énergétique avec le donneur d'ordre, y compris les calendriers, les processus, le besoin éventuel en équipement de mesure supplémentaire, les entretiens avec le personnel, les réunions, les visites sur site, etc.

2.4. Quelles sont les informations qui doivent être collectées par l'auditeur ?

L'organisme d'audit doit collecter, rassembler et enregistrer les données énergétiques appropriées à l'appui des objectifs de l'audit. Cela inclut les informations suivantes :

- Une liste des systèmes, processus et équipements consommateurs d'énergie.
- Les caractéristiques détaillées des usages d'énergie dans le périmètre d'audit énergétique défini, y compris les variables pertinentes et la manière dont le donneur d'ordre estime qu'elles influencent la performance énergétique.
- Données historiques et actuelles sur la performance énergétique, notamment :
 - La consommation d'énergie (électricité, fuel, gaz, , etc...),
 - Les variables qui influencent la consommation d'énergie (production, météo, TRS, ...),
 - Toutes mesures ou données en relation avec la consommation totale d'énergie ou des équipement énergivore.





Exemple 1

Mesures du facteur de puissance ; résultats d'un relevé thermographique ou d'air comprimé.

- L'historique opérationnel et les événements passés susceptibles d'avoir affecté la consommation d'énergie au cours de la période couverte par les données collectées.
- Surveillance des informations sur l'équipement, la configuration et l'analyse.

Exemple 2

Jauges locales, systèmes de contrôle répartis, types d'instrumentation.

- Les projets futurs pouvant affecter la consommation ou la performance énergétique.

Exemple 3

Expansions, contractions ou modifications prévues du volume de production.

Exemple 4

Modifications prévues ou remplacement d'équipements ou de systèmes ayant des implications énergétiques importantes.

Exemple 5

Enlèvement ou sous-traitance d'installations, d'équipements ou de systèmes.

- Documents de conception, d'exploitation et de maintenance.

Exemple 6

Plans d'exécution ; fiche technique d'équipement ; plan de la parcelle ; données du système de contrôle ; fiche et contrats de la maintenance.

- Audits énergétiques ou études antérieures liées à la performance énergétique.
- Le (s) tarif (s) actuel (s) de la tarification énergétique ou un tarif de référence à utiliser pour l'analyse financière.
- Autres données économiques pertinentes.
- Des connaissances sur la manière dont le consommateur gère sa consommation d'énergie.
- Le système de distribution d'énergie et son management.

2.5. Qu'est-ce qu'on entend par un plan de mesure ?

2.5.1. Principaux éléments d'un plan de mesure

Les principaux éléments à inclure dans le plan de mesure sont les suivants :

1. Une liste des points de mesure pertinents à effectuer et l'ensemble des processus et des équipements de mesure associés.
2. L'identification de tout point de mesure supplémentaire, de l'équipement de mesure approprié, de ses processus associés et de la faisabilité de l'installation.
3. La précision et la répétabilité requises pour les mesures et leur incertitude de mesure associée.
4. Durée et fréquence de mesure pour chaque mesure, c'est-à-dire points de données individuels ou surveillance continue.
5. Fréquence d'acquisition pour chaque mesure.
6. Une période de temps appropriée où les activités sont représentatives.
7. Les variables pertinentes fournies par le consommateur, par ex. paramètres de fonctionnement et données de production.
8. Les responsabilités liées à la réalisation des mesures, y compris le personnel travaillant pour ou de la part du donneur d'ordre.
9. (Si possible ou réalisable), calibration et traçabilité des équipements de mesure.

L'organisme d'audit confirme si l'analyse est basée sur des données mesurées avec exactitude et précise comment les données ont été obtenues, c'est-à-dire lues à partir d'un compteur, estimées ou calculées d'une autre manière. L'analyse vérifie également que les ensembles de données sont comparables.

2.5.2. Dans quels cas est-il possible de procéder par échantillonnage ?

Dans ce cas, des procédures d'échantillonnage peuvent être nécessaires lorsqu'il n'est ni pratique ni rentable d'examiner toutes les informations disponibles lors d'un audit énergétique. L'échantillonnage est décrit dans ISO 19011 : 2011, clause B.3.

Les procédures et les méthodes doivent être sélectionnées en fonction de leur adéquation à la portée de l'audit énergétique.



2.6. Comment gérer et conduire la visite du travail sur site ?

2.6.1. gestion du travail sur site

Le ou les auditeurs doivent :

1. Observer les usages d'énergie au sein de l'organisme audité et les comparer aux informations fournies durant la phase de la collecte des données.
2. Évaluer l'usage et la consommation d'énergie en fonction de la portée, des limites, des objectifs de l'audit et des méthodes convenues de l'audit énergétique.
3. Comprendre l'impact des routines d'exploitation et du comportement des utilisateurs sur les performances énergétiques.
4. Générer des idées préliminaires, des opportunités, des changements opérationnels ou des technologies susceptibles d'améliorer la performance énergétique.
5. Enumérer les domaines et les processus pour lesquels des données supplémentaires sont nécessaires pour une analyse ultérieure.
6. Veiller à ce que les mesures, les observations et les données antérieures soient représentatives des pratiques opérationnelles.
7. S'assurer que les données historiques fournies sont représentatives du fonctionnement normal.
8. Informer rapidement le consommateur de toute difficulté imprévue rencontrée lors de l'audit énergétique, de l'accès aux données à la documentation.

Les installations peuvent avoir deux modes de fonctionnement ou plus, par ex. « Jour », « nuit », « soirée » ou « week-end ». Il peut également y avoir des différences opérationnelles saisonnières, par exemple pour une installation de traitement et conditionnement des agrumes récoltés.

Aussi, il peut être utile de faire des observations et des mesures en dehors des heures normales de travail par exemple : pendant les périodes d'arrêt de la production ou lorsqu'aucune charge climatique n'est pas prévue. Ces quantités mesurées représentent la consommation de base (consommation indépendante de la production ou l'occupation du bâtiment) et nécessitent une analyse détaillée afin d'être optimisées.



2.6.2. Préparatifs pour le bon déroulement de la visite sur site

L'organisme d'audit doit convenir avec le donneur d'ordre de :

1. Identifier une ou plusieurs personnes pour fournir un accès et faire fonction de guide et d'accompagnateur pour l'auditeur énergétique lors des visites de site, selon les besoins : ces personnes doivent avoir les compétences et l'autorité nécessaires pour demander ou effectuer des opérations directes sur les processus et les équipements, le cas échéant.
2. Si cela a été convenu lors de la planification de l'audit énergétique, identifier une ou plusieurs personnes pour installer des enregistreurs de données et un équipement de surveillance de l'énergie lors des visites sur site : ces personnes doivent avoir l'autorité nécessaire pour demander au personnel d'exploitation ou de maintenance autorisé d'effectuer des opérations directes sur les processus et l'équipement, si nécessaire.
3. Donner à l'auditeur énergétique accès aux documents pertinents (voir la collecte de données).
Exemple : Dessins, manuels et autres documents techniques.
4. Permettre l'installation d'équipements de surveillance de l'énergie et d'enregistreurs de données comme convenu lors de la planification de l'audit énergétique.

Si le donneur d'ordre n'est pas en mesure de répondre à ces demandes, il est nécessaire de réviser la portée de l'audit énergétique.





2.7. Comment effectuer l'analyse des données collectées ?

Au cours de cette phase, l'auditeur énergétique doit établir et évaluer la performance énergétique actuelle des usages de l'énergie dans le cadre de l'audit énergétique défini.

Afin de faciliter un audit énergétique efficace, le ou les auditeurs évaluent la validité et la disponibilité des données fournies et mettent en évidence tout problème susceptible d'empêcher la poursuite de l'audit. Si nécessaire, l'auditeur peut proposer une méthode différente pour collecter ou compléter les données. L'auditeur doit :

1. Utiliser des méthodes de calcul transparentes et techniquement appropriées.
2. Documenter les méthodes utilisées et les hypothèses ou estimations faites.
3. S'assurer que les variables qui influent sur l'incertitude de mesure et leur contribution aux résultats ont été prises en compte.
4. Examiner tout programme ou contrainte convenu, réglementaire ou autre, susceptible d'avoir une incidence sur les possibilités d'amélioration de la performance énergétique.



2.7.1. que doit inclure l'analyse de la performance énergétique actuelle ?

La performance énergétique actuelle constitue la base de l'évaluation des améliorations et doit inclure :

1. Une répartition de la consommation d'énergie par usage et par source.
2. Les usages d'énergie représentant une consommation d'énergie substantielle.
3. Si disponible et comparable, comparaison avec les valeurs de référence de procédés similaires.
4. Un modèle historique de la performance énergétique.
5. Les améliorations attendues en matière de performance énergétique.
6. Le cas échéant, relations entre la performance énergétique et les variables pertinentes.
7. Une évaluation des indicateurs de performance énergétique existants et, le cas échéant, des propositions concernant un ou plusieurs nouveaux indicateurs de performance énergétique.

Si le consommateur n'est pas en mesure de répondre à ces demandes, il est nécessaire de réviser la portée de l'audit énergétique.

Généralement, les indicateurs de performance énergétiques sont regroupés au sein d'un tableau de bord et servent au management de l'énergie et à la gestion énergétique de l'organisation. Voici quelques exemples répandus dans le secteur industriel :

- 1- Wh/DJU (conditions météo).
- 2- kWh/tonne ou kWh/pièce (production).
- 3- Wh/DJU. m² (efficacité de climatisation).
- 4- kWh/m² (superficie).
- 5- kWh/Pers (taux d'occupation).
- 6- kWh/Nm³ (air comprimé).
- 7- autres valeurs statiques (volume, qté traitée...)

2.7.2. Identification des opportunités d'amélioration

L'auditeur doit identifier les opportunités d'amélioration de la performance énergétique sur la base d'une analyse et des éléments suivants :

1. Ses propres compétences et expertises.
2. L'évaluation des options de conception et de configuration pour répondre aux besoins du système. C.à.d., la consommation minimale d'énergie pour qu'un système fournisse une sortie ou un service.
3. La durée de vie, l'état, le fonctionnement et le niveau de maintenance des objets audités.
4. Les technologies d'usage d'énergie existantes par rapport aux plus efficaces du marché.
5. Les meilleures pratiques, y compris les contrôles et comportements opérationnels.
6. La consommation d'énergie future et les changements de fonctionnement.
7. Les possibilités d'amélioration de la performance énergétique peuvent également être complétées par des suggestions pour des sources d'énergie alternatives, la commutation de combustible, la cogénération, les sources d'énergie renouvelables, etc.



L'auditeur doit évaluer l'impact de chaque opportunité sur la performance énergétique actuelle sur la base des éléments suivants :

1. Des économies d'énergie sur une période convenue ou sur la durée de vie prévue.

Exemple 1

Économie d'énergie, amélioration de la consommation d'énergie spécifique, etc.

2. Les économies financières attendues de chaque opportunité d'amélioration.
3. Les investissements nécessaires.
4. Les critères économiques identifiés dans la planification de l'audit énergétique.
5. Autres gains non énergétiques (tels que la productivité ou la maintenance).
6. Le classement des opportunités de performance énergétique.
7. Interactions potentielles entre différentes opportunités.

Le cas échéant, en fonction de la portée, du périmètre et des objectifs d'audit convenus de l'audit énergétique, l'auditeur énergétique doit compléter ces résultats par des exigences en matière de données supplémentaires et définir les analyses supplémentaires nécessaires.



2.8. Rapport d'audit énergétique : quel contenu et quelle structure ?

Conformément au plan d'audit, l'auditeur doit convenir d'un calendrier de reporting. Lorsqu'il communique les résultats de l'audit énergétique, l'auditeur doit :

1. S'assurer que les exigences d'audit énergétique convenues avec le donneur d'ordre ont été respectées, y compris les méthodes et les formats de rapport convenus.
2. Identifier les mesures pertinentes effectuées lors de l'audit énergétique.
3. Incertitude de mesure et d'échantillonnage et effets sur les données rapportées.
4. Indiquer si la base de l'analyse est constituée par des calculs, des simulations ou des estimations.
5. Résumer les analyses détaillant les estimations, hypothèses et incertitudes.
6. Le cas échéant, indiquer les limites de précision des économies et des coûts.
7. Fournir une liste priorisée d'opportunités d'amélioration de la performance énergétique.
8. Suggérer des recommandations pour la mise en oeuvre des opportunités.

L'identification des mesures pertinentes effectuées durant l'audit énergétique doit comprendre les détails suivants :

- Fréquence, cohérence, exactitude, répétabilité et représentativité des données ;
- Justification des mesures et leur contribution à l'analyse ;
- Difficultés rencontrées dans la collecte de données, la visite des sites et leur analyse.



2.8.1. Contenu du rapport d'audit énergétique

Le contenu du rapport doit être adapté à la portée, aux limites et aux objectifs de l'audit énergétique définis.

Le rapport d'audit énergétique doit inclure les points suivants :

1. Résumé
<ul style="list-style-type: none">• Résumé de l'usage et de la consommation d'énergie.• Classement des opportunités d'amélioration de la performance énergétique.• Programme de mise en oeuvre suggéré.
2. Contexte
<ul style="list-style-type: none">• Informations générales sur le consommateur, l'organisme d'audit énergétique et les méthodes d'audit énergétique.• Les exigences légales applicables à l'audit énergétique.• Déclaration de confidentialité.• Contexte de l'audit énergétique.• Description de l'audit énergétique, portée et limites définies, objectif (s) vérifié (s) et planning.
3. Détails de l'audit énergétique
<ul style="list-style-type: none">• Description du processus de production• Informations sur la collecte de données :<ul style="list-style-type: none">- Plan de mesure.- Type de données utilisées (fréquence d'acquisition, période de mesure, mesurée et estimée).- Copie ou référence des données clés utilisées, y compris les rapports d'essais, les certificats d'étalonnage et les enregistrements d'équipement conformément à la planification d'audit énergétique.- Analyse de la performance énergétique et de tout indicateur(s) de performance énergétique.- La base des calculs, estimations et hypothèses et la précision qui en résulte.- Les critères de classement des opportunités d'amélioration de la performance énergétique.
4. Possibilités d'amélioration de la performance énergétique
<ul style="list-style-type: none">• Les recommandations et le programme de mise en oeuvre suggéré.• Les hypothèses et méthodes utilisées dans le calcul des économies d'énergie et la précision des économies et des avantages énergétiques obtenus en résultant.• Les hypothèses utilisées dans le calcul des coûts de mise en oeuvre et la précision qui en résulte.• Une analyse technico-économique appropriée (temps de retour d'investissement, taux de rentabilité interne, coût de cycle de vie et les émissions CO2 évités...), y compris les soutiens financiers connus et tout gain non énergétique.• Éventuellement, justifier les estimations financières avec des devis de fournisseurs et installateurs de solutions.• L'interactions potentielles avec d'autres recommandations proposées.• Les méthodes de mesure et de vérification recommandées pour l'évaluation après mise en oeuvre des opportunités recommandées
5. Conclusions et recommandations

2.9. Comment se déroule la réunion de clôture ?

Avant la réunion de clôture, le rapport sur l'audit énergétique doit être remis au donneur d'ordre, pour donner son feedback et les éventuelles remarques sur les conclusions et résultats décrits dans le rapport. L'auditeur doit prendre en considération ces remarques et les intégrer, le cas échéant, dans le rapport et présentation finale.

Lors de la réunion de clôture, l'auditeur doit :

1. Présenter les résultats de l'audit énergétique de manière à faciliter la prise de décision de la part du donneur d'ordre.
2. Exposer les préconisations et les actions d'amélioration déterminées, les économies d'énergies estimées pour chaque action doivent être argumentées et leur rentabilité économique calculée.
3. Discuter avec la direction les actions qui les intéressent le plus.
4. Proposer un planning de priorisation de l'exécution des actions d'amélioration, qui respecte le contexte présent et futur du donneur d'ordre et qui réponde aux besoins indiqués par la direction.
5. Être capable d'expliquer les résultats et de répondre aux questions.
6. Le cas échéant, identifier et signaler les éléments nécessitant une analyse plus approfondie ou un suivi de la part de l'auditeur énergétique.





Méthodes et Outils Pratiques



3



3

DÉROULEMENT DE L'AUDIT ÉNERGÉTIQUE

3.1. Exemples de données à collecter lors de l'enquête sur site

Poste/équipement	Données à relever
Éclairage et outils informatiques	<ul style="list-style-type: none">- Type d'éclairage : incandescence, fluorescents, lampes basse consommation...- Nombre d'ampoules par pièce- Nombre de PC, imprimantes, copieurs, fax par pièce- Puissance électrique totale- Heures de fonctionnement (mensuelles et annuelles)- Type et référence
Chaudières, fours et sècheurs	<ul style="list-style-type: none">- Combustible utilisé- Puissance thermique- Type de brûleur- Type de gicleur- Marque et référence (récupérer la documentation constructeur)- Analyse des fumées
Groupes frigorifiques	<ul style="list-style-type: none">- Nombre- Type (air/eau)- Puissance frigorifique- Puissance électrique- Compresseurs- Marque et référence- Débit fluide frigorifique- Différence de température entrée/sortie pour les deux circuits- Pressions ...
Ventilation	<ul style="list-style-type: none">- Nombre des ventilateurs- Type (simple flux, double flux, débit variable, nombre de vitesse, ...)- Marque & référence- Puissance électrique- Débit volumique supposé par le dimensionnement et perte de charge- Débit requis le jour, la nuit, le week-end, ...
Pompes	<ul style="list-style-type: none">- Nombre- Marque & référence- Puissance électrique- HMT- Débit- Vitesse de rotation...
Eau chaude sanitaire	<ul style="list-style-type: none">- Énergie utilisée- Ballon de stockage- Marque & référence- Capacité de l'installation- Consigne d'utilisation (température, pression...)

Poste/équipement	Données à relever
Réseau de distribution	- Longueur - Calorifuge (présence, type, épaisseur) - Coudes/design...
Enveloppes des bâtiments	- Types de parois - Nombre des pièces - Qualité du bâtiment par rapport aux infiltrations - Caractéristiques : surfaces respectives des parois, volumes, surfaces au sol, orientations, inclinaisons, stores...
gestion technique des systèmes/gTC	- Marque & référence - Nombre de compteurs et capteurs - Liste de points mesures/alarmes/commande - Supervision - Protocoles et loi de départ...

3.2. Exemples de mesures physiques à réaliser et postes à contrôler

Les domaines de mesure principaux dans un audit énergétique :

- La mesure des consommations électriques, pour identifier les postes énergivores et comprendre les usages, ainsi que la mesure de la qualité du réseau électrique pour en optimiser son utilisation et sa facturation, au niveau des compresseurs d'air, centrales de froid, machines de production, moteurs, départs d'ateliers ... ;
- Le contrôle par thermographie infrarouge qui permet mieux que l'oeil d'inspecter les défauts d'isolation et les anomalies dans les armoires électriques et/ou le mauvais fonctionnement des équipements énergétiques ;
- La mesure de température, pour la recherche de défaut et l'optimisation des systèmes et procédés. Exemple : ambiance, réseaux de fluides, ... ;
- La mesure des débits d'airs, pour réduire leurs pertes, optimiser leur qualité et efficacité énergétique. Exemples : gaz, eau, air comprimé, vapeur... ;
- La mesure du rendement des chaudières et de combustion ;
- Thermographie des équipements.

3.2.1. Mesures de la consommation électrique

Il faut tout d'abord définir la finesse nécessaire et le niveau de détail requis dans l'analyse, pour savoir où placer les enregistreurs :

- Au compteur général,
- Sur les départs de tableaux électriques ou TGBT,
- Au niveau des équipements finaux.



Il faut définir quels paramètres doivent être suivis. Pour les enregistrements de consommations électriques, les mesures possibles sont généralement :

- Tension et courant phase-phase et phase neutre,
- Puissance et énergie active,
- Puissance et énergie réactive,
- Puissance et énergie apparente,
- Facteur de puissance ou $\cos \Phi$,
- Taux de distorsion du courant et de la tension.

La durée d'enregistrement et la période d'échantillonnage dépendront du système audité et du type d'activité notamment le profil hebdomadaire.



Exemples d'appareils utilisés pour ce type de mesures

Les enregistreurs à pince : Ce sont les plus utilisés car ils permettent à la fois de mesurer des consommations en triphasé ou plusieurs monophasés, ils peuvent être utilisés dans les tableaux électriques et parfois directement au niveau des équipements.

Les critères de choix d'une pince sont principalement :

- La gamme de courant des pinces disponibles car une pince à fort courant nominal risque de mal mesurer les faibles courants ;
- Le mode d'alimentation : certains s'alimentent directement sur le circuit mesuré, offrant ainsi une autonomie illimitée.

l'analyseur du réseau électrique : il permet de mesurer les paramètres de tension, de courant, de puissance et d'énergie. Très utiles pour les diagnostics complets des installations et réseau électrique. Cela permet d'identifier les causes de surconsommation des équipements, ou de surfacturation.

En plus des puissances et énergies, cet appareil permet de mesurer :

- Harmoniques, THD,
- Papillotement,
- Déséquilibre,
- Fréquence,
- Facteur de puissance (Cos Phi).

Les critères pour choisir un analyseur du réseau sont :

- Sa capacité de mesurer les éléments ci-dessus (plages de mesure),
- Son autonomie,
- La simplicité de configuration et d'utilisation,
- Ses fonctions supplémentaires.

3.2.2. Thermographie ou inspection infrarouge

La caméra thermique est un outil qui permet de mesurer la température de surface d'un objet, par exemple d'une paroi, et d'en déduire des anomalies ou défauts existants.

Grâce à une caméra thermique, on peut par exemple détecter les défauts d'isolation en voyant les parties plus froides d'un mur. Elle peut aussi être très utile pour la détection de dysfonctionnements des équipements, des échauffements de pièces en rotation ou des fils de courant.

le choix se fait, en fonction des activités auditées, par exemples

- La taille du capteur infrarouge (nombre de pixels),
- La possibilité de « mixer » les images thermiques et visibles, c'est une fonctionnalité indispensable pour pouvoir utiliser les images dans des rapports,
- La température maximum mesurable, surtout pour les audits des circuits de chauffage et procédés à vapeur,
- Sa capacité à détecter de faibles différences de température,
- La méthode de focalisation, puisque la focalisation est indispensable pour avoir une mesure exacte, ainsi qu'une bonne superposition des images thermiques et visibles.



3.2.3. Température

Plusieurs techniques sont existantes, les sondes infrarouges sont simples, rapides mais peu précises. Les thermocouples et les PT100 utilisant le platine, de technologie complexe, sont plus précises.

les critères importants pour choisir votre système de mesure de température

- La précision des sondes de température,
- La forme de la sonde dépendant de l'application et du milieu à mesurer,
- Le temps de réponse des sondes,
- La gamme de mesure,
- La possibilité d'enregistrer des données pour analyser les variations de température.

Exemples d'applications de la mesure de température

- Mesure météo (température extérieure),
- Suivi de la température intérieure des pièces,
- Optimisation des températures des fluides de chauffage et climatisation,
- Mesure extérieure de tuyauterie,
- Rendement des systèmes de chauffage et refroidissement,
- Mesure des températures des surfaces (paroi, vitrage).

3.2.4. Air comprimé

Il existe deux méthodes de détection des fuites :

- **la méthode de détection par l'ouïe** : La méthode de détection par l'ouïe est simple. En général, une fuite audible est suffisamment importante pour nécessiter un colmatage. Normalement, plus le sifflement produit par la fuite est élevé, plus le débit est important. Cette méthode est d'autant plus efficace que le bruit de fond de l'usine est considérablement réduit au moment de la détection. Dès qu'une fuite est détectée, il faut la localiser afin d'en déterminer la nature et de décider de la mesure à prendre.
- **la méthode de détection par ultrasons** : Cette méthode de détection est plus coûteuse à cause du prix d'achat ou des frais de location d'un détecteur à ultrasons, mais elle est cependant nettement plus précise que la méthode par l'ouïe. Elle permet de détecter les fuites malgré un bruit de fond élevé et d'examiner la tuyauterie ou les équipements éloignés pour lesquels une détection par l'ouïe est impossible. La méthode par ultrasons permet de détecter pratiquement toutes les fuites d'un système, même celles que l'on n'entend pas pendant un arrêt de production.

L'estimation de niveau ou de taux des fuites peut se faire par différentes formes de mesurages :

- **la méthode de mesurage direct** : Consiste à utiliser un débitmètre installé directement dans la tuyauterie, en amont du réseau de distribution d'air comprimé. Il suffit de faire le relevé du débitmètre lorsque les équipements desservis par ce réseau de distribution sont à l'arrêt. Tout l'air comprimé consommé par le réseau à l'arrêt est perdu en fuites.

- **Méthode de mesurage par compensation** : Cette méthode permet d'évaluer le débit de fuite, on mesure le temps de charge selon un cycle complet de fonctionnement d'un compresseur qui est égal au temps de charge auquel on ajoute le temps de décharge. On peut alors évaluer le débit en s'appuyant sur le débit nominal du compresseur utilisé pour l'essai. Les résultats seront d'autant plus précis que le débit nominal est fiable.
- **Méthode par mesurage de la chute de pression** : Cette méthode peut être utilisée uniquement lorsqu'il est possible d'évaluer le volume total du système d'air comprimé avec une précision au moins égale à celle à laquelle on désire évaluer les fuites. On obtient cette mesure en calculant le temps nécessaire pour que la pression du réseau de distribution passe d'une pression initiale (P1) à une pression finale (P2), alors que les équipements raccordés et les compresseurs sont à l'arrêt.

3.2.5. Froid industriel

Les tests à effectuer au niveau des groupes de production du froid sont principalement :

- Mention des conditions climatiques (température et humidité),
- Calcul des conditions de refoulement (température et pression de condensation théoriques),
- Relevé de la température recherchée du procédé,
- Calcul de la consommation annuelle du poste froid,
- Mesure du courant absorbé en fonctionnement continu et comparaison avec le courant nominal,
- Comptage des heures de fonctionnement,
- Mesure des débits de fluides frigorigères,
- Vérification de l'efficacité énergétique de l'installation frigorifique, c'est-à-dire le rapport entre la puissance électrique absorbée et la puissance frigorifique fournie.

3.2.6. Production de vapeur

L'auditeur doit réaliser les tâches suivantes :

- Analyse de la combustion,
- Calcul des déperditions surfaciques,
- Taux de purge,
- Taux de recyclage des condensats,
- Consommation appoint d'eau,
- Calcul du rendement thermique,
- Suivi de la consommation en combustible et la production de la vapeur sur la période de la campagne,
- Calcul de la consommation spécifique de la chaufferie.



**Tableau récapitulant ces
mesures ainsi que les
outils recommandés**

4



4

TABLEAU RÉCAPITULANT CES MESURES AINSI QUE LES OUTILS RECOMMANDÉS

3.1. Exemples de données à collecter lors de l'enquête sur site

Poste/ équipement	Points à vérifier	Matériel et outils recommandé	Attentes minimales
Installation électrique	<ul style="list-style-type: none"> - Tension et courant - Consommation - Puissances - Harmoniques - THD en courant et tension - Papillotement - Déséquilibre - Fréquence - Facteur de puissance (Cos Phi) - Facteur k - Taux de chargement réel des transfos... 	<ul style="list-style-type: none"> a. Analyseur de réseaux électriques b. Cosphimètre et pince ampèremétrique 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Évaluation de la qualité du réseau 2. Bilan de puissance et d'énergie 3. Répartition des consommations par départ et par usages 4. Identification des consommations significatifs
Installation et circuit thermique	<ul style="list-style-type: none"> - Isolation thermique des joints, portes et canalisations (partie froid) - Fuites eau, gaz, vapeur... - Surcharge des phase (partie électrique) - Isolation thermique des locaux et zones conditionnés - Défauts ou l'absence d'isolation - Ruptures de canalisation d'eau chaude... 	<ul style="list-style-type: none"> a. Caméra infrarouge 	<ol style="list-style-type: none"> 1. État d'étanchéité thermique 2. Rapport d'inspection thermographie : <ul style="list-style-type: none"> - Photos thermiques et numériques - Emplacements de la prise de photos - Commentaires des anomalies en précisant l'état normal (référence) - Analyse des causes d'anomalies soulevées
Éclairage	<ul style="list-style-type: none"> - Niveau d'éclaircement - Lumens par m² pour les locaux - État de propreté des luminaires et réflecteurs - Situation actuelle de l'utilisation de l'éclairage naturel - Vérification de l'extinction et/ou de l'adaptation de la puissance de l'éclairage artificiel dans les locaux inoccupés 	<ul style="list-style-type: none"> a. Mesure par luxmètre b. Mesure par wattmètre 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Plan d'éclaircement 2. Zones critiques nécessitant une amélioration/ modification 3. Possibilité d'augmenter le ratio d'éclairage naturel et minimiser l'artificiel
Équipements de production	<ul style="list-style-type: none"> - Vérification des consignes de fonctionnement - Contrôle de la performance énergétique (utilisée/ consommée) - Inspection des moteurs, ventilateurs, pompes, broyeurs etc. 	<ul style="list-style-type: none"> a. Examen visuel b. Caméra infrarouge c. Analyseurs de réseaux électriques 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Etat de la maintenance 2. Niveau de maîtrise opérationnel 3. Recommandations pour améliorer le contrôle et la maintenance

Poste/ équipement	Points à vérifier	Matériel et outils recommandé	Attentes minimales
Production et distribution d'air comprimé	<ul style="list-style-type: none"> - Inspection des compresseurs, ballons, sècheurs et réseau de distribution - Évaluation des rendements des compresseurs - Examen des purgeurs 	<ul style="list-style-type: none"> a. Examen visuel b. Compteurs horaires 	<ol style="list-style-type: none"> 1. État des fuites dans le réseau (taux de fuites, temps de charge/décharge) 2. Emplacements des fuites détectées
Chambres et groupes de froid	<ul style="list-style-type: none"> - Analyse des groupes de froid - Inspection des auxiliaires - Calcul des COP 	<ul style="list-style-type: none"> a. Enregistreur de température et humidité b. Anémomètre à fil chaud 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rendement global de l'installation 2. Contrôle de la maintenance (états des filtres / prises d'air, des courroies, des batteries, adéquation des débits)
Équipements thermiques : chaudière, four et sécheur	<ul style="list-style-type: none"> - Nettoyage du brûleur - Nettoyage du préfiltre et filtre de la pompe fioul - Mesure de la pression de pulvérisation du gicleur - Vérification fonctionnelle des dispositifs de sécurité du brûleur et de la chaudière - Vérification du flexible d'alimentation du combustible - Vérification fonctionnelle du circulateur de chauffage - Vérification de l'état, de la nature et de la géométrie du conduit de raccordement. - Vérifier la qualité du calorifugeage des différents « points chauds » de l'installation 	<ul style="list-style-type: none"> a. Analyseur de combustion 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fiches de mesures de : <ul style="list-style-type: none"> - La température de fumées - La teneur en CO2 dans les fumées - La teneur en O2 dans les fumées - Le taux de CO ambiant 2. Rapport d'inspection de la chaudière : <ul style="list-style-type: none"> - Évaluation du rendement et comparaison à une valeur de référence - Évaluation des émissions de NOx et comparaison à une valeur de référence 3. Analyse des causes d'anomalies soulevées



Publié par :

Agence Marocaine pour l'Effcacité Energétique en partenariat avec Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Conception graphique et impression :

Caméléon Studio

Crédits photos / Sources :

Shutterstock, Freepik

Date de publication :

2020



Audit Énergétique Obligatoire

Guide pratique sur la méthodologie de l'Audit
Énergétique selon la norme NM ISO 50002

amee
Agence Marocaine
pour l'Efficacité Énergétique