

N° Ordre /DGM/FSI/UMBB/2018

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté des Sciences de

l'Ingénieur

Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme master en :

FILIERE : électromécanique

OPTION : maintenance industrielle

THEME

**APPLICATION DE L'ANALYSE THERMOGRAPHIQUE A LA
MAINTENANCE PREDICTIVE**

Réalisé par :

Mr. TADJENANT Oussama

Promotrice :

Mme. BAHLOUL Hassiba

Encadreur :

Mr. Chafai Adel



ملخص

الهدف من هذه المذكرة هو تطبيق التصوير عن طريق الإشعاعات تحت الحمراء في الصيانة التنبؤية من أجل تقليص فرضية وقوع إعطاب في النظام و تسهيل عملية مراقبة التجهيزات. وتستند المنهجية المقترحة على استعمال قواعد معلوماتية خاصة بالمحركات الكهربائية، من أجل معرفة حالة العمل للمحرك المراقب سواء كانت جيدة أو غير ذلك مع تحديد نوع العطب ودرجة خطورته بآلة التصوير الحراري.

RESUME

Ce mémoire est consacré à l'application de la thermographie infrarouge dans la maintenance prédictive pour réduire la probabilité de défaillance d'un système, et faciliter la surveillance des équipements.

La méthodologie proposée est basée sur l'extraction des bases de données propre aux moteurs électriques, pour connaître l'état de fonctionnement du moteur contrôlé quel que soit bonne ou mauvaise et spécifier le type de l'anomalie et le degré de défauts par la caméra thermique.

SOMMAIRE

Introduction général	1
Chapitre I : présentation de la centrale thermique de Ras Djinet	
I Présentation de la centrale.....	2
I.1. Implantation de la centrale (situation géographique)	2
I.2. Superficie.....	2
I.3. Historique.....	2
I.4 Puissance installée de la centrale.....	2
I.5. Etape de réalisation.....	3
I.6. Description.....	5
I.6.a. Caractéristiques techniques.....	6
I.7. : Principe de fonctionnement de la centrale thermique de Ras-Djinet.....	16
I.7.a : Transformation indirecte.....	16
I.7.b : Transformation directe.....	16
Chapitre II : La Maintenance	
I La maintenance.....	21
II Importance de la maintenance.....	21
III But et objectifs de la maintenance.....	22
III -1 Objectifs financiers.....	22
III -2 Objectifs Opérationnels.....	22
IV Fonction de la maintenance.....	23
V Les opérations de la maintenance.....	24
VI Types de maintenance.....	25
VI -1 Maintenance préventive.....	26
VI -1.1 Maintenance systématique.....	26
VI -1.2 Maintenance conditionnelle.....	27
VI-1.2.1 Les outils de la maintenance conditionnelle.....	27
VI -1.3 Maintenance prévisionnelle (prédictive)	27
VI-1.3. a -Maintenance prédictive On Line.....	28
VI-1.3. b - Maintenance prédictive Off Line.....	28

VI- 2 Maintenance corrective.....	29
VI -2.1 Maintenance palliative.....	29
VI- 2.2 Maintenance curative.....	29
VII Techniques de maintenance utilisées au niveau de la centrale thermique.....	29
VII- 1 Suivi du paramètre vibratoire.....	29
VII-1.1 Définition d'une vibration.....	29
VII-1.2 Paramètres vibratoires.....	30
VII-1.2.1. Variable $x(t)$	30
VII-1.2.2. Amplitude (X)	30
VII-1.2.3. Période.....	30
VII-1.2.4. La fréquence.....	30
VII-1.2.5. Pulsation	31
VII-1.2.6. Résonance.....	31
VII-1.2.7. Phase φ	31
VII-1.3 Modes de détection.....	31
VII-1.3.1 Valeur efficace X_{eff}	32
VII-1.3.2 Valeur crête X_c	32
VII-1.3.3 Valeur crête a crête.....	32
VII-1.4 Grandeurs de mesure	33
VII-1.4.1 Déplacement vibratoire $x(t)$	33
VII-1.4.2 Vitesse vibratoire $v(t)$	33
VII-1.4.3 Accélération $a(t)$	33
VII-1.5 Méthodes de suivi des vibrations.....	34
VII--1.5.1 Méthodes du niveau global.....	34
VII-5.1.1 vibration des paliers.....	35
VII-1.5.1.2. a. Méthodes des tendances.....	36
VII-1.5.1.2. b. Méthode de comparaison.....	36
VII-1.5.2. Méthode de l'analyse en fréquences.....	36
VII-1.5.2. a. Surveillance permanente.....	37
VII-1.5.2. b. Surveillance périodique (utilisation du portable "vibroport").....	37
VII-2 Suivi du paramètre température.....	37

VII-3 La thermographie.....	38
VII-4 L'analyse des huiles.....	38
VII-5 GMAO (Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur).....	38
VII-5.1 Le logiciel de GMAO.....	38
VIII. CONCLUSION.....	39

Chapitre III : Notion sur la thermographie infrarouge

I Introduction.....	40
II Brefs rappels historique.....	40
III Notions de base en thermodynamique.....	41
III-1 Notions de température, chaleur.....	41
III-1-1 Chaleur.....	41
III-1-2 Température.....	42
III-1-2.1 Unités de mesure de la température.....	42
III-1-2.2 Les échelles de température.....	43
III-1-2.2.a L'échelle de température absolue.....	43
III-1-2.2.b L'échelle de température relative.....	43
III-1-2.2.c Comparaison des échelles de température.....	43
III-1-3 Température et chaleur.....	44
III-2 Modes de transferts de chaleur.....	45
III-2-1 Conduction.....	45
III-2-1.1 Définition.....	45
III-2-1.2 Formule de transfert de chaleur par conduction.....	46
III-2-1.3 Conductivité thermique.....	46
III-2-2 Convection.....	47
III-2-3 Transfert de chaleur par rayonnement.....	48
III-2-3-1 Ondes.....	49
III-2-3-2 Spectre électromagnétique.....	50
III-3-1 Rayonnement incident.....	50
III-3-2 Propriétés du rayonnement incident.....	52

III-3-3 Rayonnement résultant.....	52
III-3-4 Propriété du rayonnement résultant.....	52
III-3-4-1 Pouvoir émissif.....	52
III-3-4-2 Rayonnement émis.....	53
III-4 Corps noir.....	53
III-4-1 Loi de Planck.....	54
III-4-2 Loi de déplacement de Wien.....	55
III-4-3 La loi de stefan-boltzmann.....	56
III-5 Corps cible (corps réel)	57
III-5 -1 Loi de Stefan-Boltzmann pour un corps réel.....	58

Chapitre IV : Utilisation de la caméra infrarouge

I. Utilisation de la caméra infrarouge.....	61
I-1 Introduction à l'utilisation de la caméra infrarouge.....	61
I-2 Contrôler une image.....	61
I-2.1 Plage de température.....	62
I-2.2 Niveau et gain.....	62
I-3 Capturer une image.....	64
II. Technique d'analyse d'images thermiques.....	65
II-1 Gradient thermique.....	65
II-2 Les fonctions d'amélioration les images.....	66
II-2.1 Cadrage thermique.....	66
II-2.2 Isotherme.....	68
II-2.3 Palettes.....	70
II-2.4 Profil.....	71
II-3 Les Analyse d'image – échantillons faussés.....	72
II-4 Différences de température apparente.....	74
II-4.1 L'objet cible.....	74

Chapitre V :

I introduction.....	76
II Matériel utilisé.....	76
III Mesures effectuées des paliers GTA 30 par la caméra infrarouge.....	78
III.1 Mesures de la salle de contrôle.....	78
III.2 Analyses des résultats.....	78
IV. Prédiction de défauts combiné par la thermographie.....	79
V. Conclusion.....	80
Conclusion Générale	

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I :

Figure I.1 : La Centrale thermique RAS-DJINAT	3
Figure I.2 : Plan de masse de la centrale de RAS-DJENET.....	5
Figure I.3 : Corps HP.....	7
Figure I.4 : Corps M.P.....	8
Figure I.5 : La procédure de soutirage.....	9
Figure I.6 : Constitution générale d'un condenseur.....	10
Figure I.7 : Ensemble dégazeur- Bâche Alimentaire.....	11
Figure I.8 : fonctionnement d'un dégazeur.....	12
Figure I.9 : Alternateur.....	12
Figure I.10 : Principe fonctionnement d'une centrale thermique.....	16
Figure I.11 : La bâche alimentaire.....	18
Figure I.12: Fonctionnement de cycle eau-vapeur.....	20

CHAPITRE II :

Figure II.1 : les différentes tâches contenues dans la fonction maintenance.....	21
Figure II.2 : Différents types de maintenance.....	23
Figure II.3 : Maintenance systématique réalisée à intervalles constants.....	24
Figure II.4.a : Maintenance prédictive on line.....	28
Figure II.4.b : Maintenance prédictive off line.....	28
Figure II.5 : Grandeurs vibratoires.....	29
Figure II.6 : Modes de détection usuels.....	32
Figure II.7 : Grandeurs de mesure.....	32
Figure II.8 : Présentation des grandeurs de mesure.....	33
Figure II.9 : détermination des seuils par la méthode du niveau global.....	34
Figure II.10 : Position de mesure.....	34
Figure II.11 : Détermination des seuils en analyse spectrale.....	36

CHAPITRE III :

Figure III.1: Plus la température des molécules est élevée, plus celles -ci se déplacent vite...41
Figure III.2: Conversion de températures en Celsius et Kelvin.....44
Figure III.3: La température est relative mais pas la chaleur.....44
Figure III.4: Modes de transferts de chaleur.....45
Figure III.5: Circulation d'un fluide. La couleur sombre indique un fluide froid.....48
Figure III.6: bande de longueur d'onde.....49
Figure III.7: Spectre électromagnétique.....50
Figure III.8: Répartition du rayonnement incident en différentes composantes.....51

Figure III.9: Le rayonnement émis et le rayonnement réfléchi par l'objet.....	53
Figure III.10: Emission du rayonnement thermique dans toutes les directions.....	53
Figure III.11: Emission spectrale radiante d'un corps noir selon la loi de Planck pour différentes températures absolues.....	54
Figure III.12: Courbe définie la loi de Wien.....	56
Figure III.13: Puissance rayonnée d'un corps noir à des températures définies.....	57
Figure III.14: Courbes montrant la longueur d'onde en fonction de l'émissivité spectral	58
Figure III.15: puissance rayonnée d'un corps réel à celui d'un corps noir.....	59
Figure III.16: Rayonnement résultant provenant d'un objet cible opaque, qui se compose des rayonnements émis et réfléchi.....	59

CHAPITRE IV :

Figure IV.1 : Contrôle en sélectionnant la plage de température, le niveau et le gain.....	61
Figure IV.2 : Niveau et gain	62
Figure IV.3 : L'isotherme remplace certaines couleurs par des tons contrastés.....	63
Figure IV.4 : Le point de mesure est une fonction simple et pratique.....	63
Figure IV.5 : La fonction de zone est paramétrée pour afficher la température maximale au sein de la boîte.....	64
Figure IV.6 : Gradient thermique.....	66
Figure IV.7 : L'intégralité de l'image est cadrée thermiquement.....	67
Figure IV.8 : Image cadrée thermiquement.....	68
Figure IV.9 : L'isotherme remplace certaines couleurs par des tons opposés.....	69
Figure IV.10 : Image thermique d'un contacteur avec des isothermes.....	70
Figure IV.11 : Différentes palettes.....	71
Figure IV.12 : gradient thermique vertical et horizontal de ce point chaud.....	71
Figure IV.13 : Réflexions de l'opérateur (présence des mains et du visage).....	72
Figure IV.14 : Réflexion d'un point source, disparaît lorsque l'angle change.....	73
Figure IV.15 : Influence de l'angle à la réflexion.....	73
Figure IV.16 : Températures apparentes différentes.....	74
Figure IV.17 : Différentes sources de réflexion et émissivités donnent des températures apparentes différentes.....	74

CHAPITRE V :

Figure V.1 : Caméra AGEMA 570.....	76
Figure V.2 : Logiciel de traitement des images infrarouges.....	77
Figure V.3: Image palier 1.....	78
Figure V.4: Image palier 2.....	78
Figure V.5 : Image palier 3.....	78
Figure V.6 : Image palier 4.....	78
Figure V.7 : Image de bruleur avant intervention.....	79
Figure V.8 : Image de bruleur après intervention.....	79
Figure V.9 : Image de ventilateur avant intervention.....	79

Figure V.10 : Image de ventilateur après intervention.....	79
Figure V.11 : Image de compresseur avant intervention.....	80
Figure V.12 : Image de compresseur après intervention.....	80

LISTE DES SYMBOLES

- (X) : Amplitude.
- f : fréquence.
- ω : pulsation.
- λ : Longueur d'onde.
- φ : Phase.
- X_{eff} : Valeur efficace d'une vibration.
- X_c : Valeur crête.
- X_{cc} : Valeur crête à crête.
- $x(t)$: Déplacement vibratoire.
- $v(t)$: Vitesse vibratoire.
- $a(t)$: Accélération.
- Φ : flux de chaleur transféré, [W].
- K : la conductivité thermique de la matière, [W/m.K].
- A : la surface d'échange concernée, [m²].
- $T_1 - T_2$: la différence de température, [K].
- L : la longueur du chemin de conduction, [m].
- W_{incid} : Rayonnement incident en provenance d'un autre élément.
- R_α : Rayonnement absorbé par l'objet.
- R_τ : Rayonnement émis par l'objet.
- R_ρ : Rayonnement réfléchi par l'objet.
- ε : Facteur d'émission (ou émissivité).
- W_λ : Flux de puissance émis par un corps noir à la longueur d'onde.
- $W_{\lambda b}$: l'émittance spectrale du corps radiante du corps noir à longueur d'onde λ .
- C : Vitesse de la lumière = 3.10¹⁰ cm/s.
- h : Constante de Planck = 6,6.10⁻³⁴ Watt.s².
- K : Constante de Boltzmann = 1,4.10⁻²³ Watt.s²/°K.
- T : Température absolue du corps noir en Kelvin.
- λ_{max} : Longueur d'onde à laquelle se produit l'émission maximale.
- σ : Constante de Stefan-Boltzmann = 5,7.10⁻⁸ (Watts/m²/°K).

INTRODUCTION

GENERALE

Aussi loin que l'on remonte dans l'histoire pour protéger sa vie et ses biens, l'homme tente toujours d'opposer un moyen de protection et de détection des anomalies qui peuvent intervenir dans une installation, ou dans un procédé de fabrication, dans la plupart des cas, ces moyens sont aménagés de façon à détecter et éliminer l'anomalie d'une façon qu'elle n'arrive pas à détériorer son système, ou son équipement.

Il est à noter que les méthodes appliquées pour faire face à une anomalie, à détériorer une installation ne sont pas les mêmes qu'aujourd'hui surtout quand il s'agit d'objet ou de site exposé aux dangers (par exemple centrale électrique).

Notre projet consiste à étudier une nouvelle méthode de détection des anomalies dite la Thermographie infrarouge, et les éviter avant qu'elles interviennent ce qui la place dans le domaine de maintenance prédictive, et cette nouvelle technique est mise en œuvre pour protéger une centrale thermique, ce dernier est exposé aux risques des défauts qui peuvent causer des dangers (incendie, détérioration des instruments par des défauts thermiques etc.).

Après un bref exposé sur l'histoire de la centrale (chapitre 1), on a décrit la nécessité de la maintenance dans l'industrie (chapitre 2), nous avons jugé nécessaire de décrire la thermographie infrarouge en générale (chapitre 3) et dans le (chapitre 4), on a présenté la méthode et les moyens d'analyse d'une image thermique, la technique de mesure thermographique, les défauts thermiques, et une petite application qui présente les résultats de notre travail pratique sous forme d'un rapport conçu à l'aide de logiciel de traitement d'images thermiques (chapitre 5), enfin on a terminé notre modeste travail par une conclusion générale.

Chapitre I

*Présentation de la
centrale thermique*

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA CENTRALE THERMIQUE

I. Présentation de la centrale

I.1. Implantation de la centrale (situation géographique)

La centrale est située au bord de la mer à l'est d'Alger près de la ville de RASDJINET (1KM avant) dans la Wilaya de Boumerdès (30KM à l'est de Wilaya).

I.2. Superficie : 35 hectares

Le choix de site c'est fait sur la base des critères suivants :

- Proximité de la mer.
- Proximité des consommateurs importants situés notamment dans la zone industrielle Rouïba –Réghaia.
- Possibilité d'extension.
- Condition de sous-sol favorable ne nécessitant pas de fondation profonde.

I.3. Historique :

En1986 la centrale thermique de RAS-DJINET et venue renforce le parc de production d'énergie électronique de l'entreprise avec une puissance de 672MW. Elle se compose de quatre groupes mono-blocs du type thermique vapeur d'une puissance de 176MW chacun aux bornes alternateur.

Le choix du site s'est fait sur la base des critères suivant :

- A proximité de la mer, besoin important en eau de mer pour refroidissement.
- A proximité de consommateurs important situés dans la zone industrielle (RUI BA-REGHAI A).

I.4 Puissance installée de la centrale :

La centrale thermique de CAP-DJINET produit une puissance électrique d'une capacité de 740 MW, répartie en quatre (04) unité de production de 176 MW chacune. La consommation totale des auxiliaires est d'environ 32 MW, donc la puissance fournie au réseau national est de 672 MW, transporté aux postes d'interventions d'Alger/Est et de Si-Mustapha par l'intermédiaire de 04 lignes de transport de 220 KV (02 pour chaque sortie)

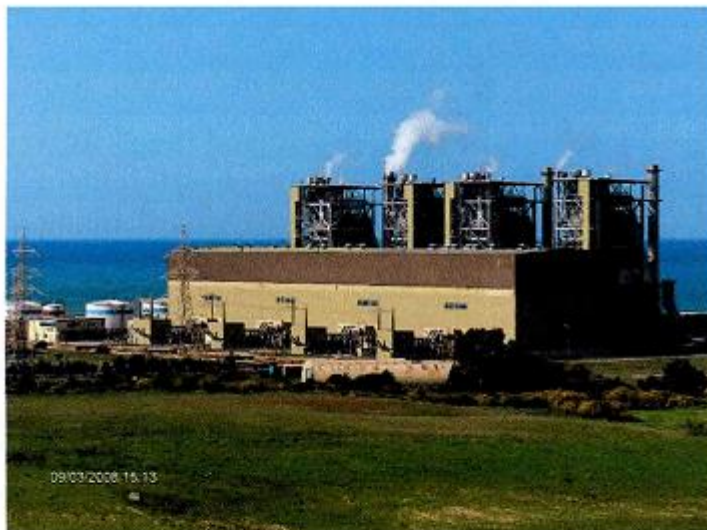


Figure. I.1. La centrale thermique RAS-DJINAT

I.5. Etape de réalisation :

Les principaux contrats ayant été signé en 1980, les travaux de terrassement ont démarré en 1981, et les travaux de montage ont commencé en Mars 1984.

La première fourniture d'énergie électrique au réseau s'est effectuée le 17 juin 1986.

Calendrier de réalisation des principales opérations se présente comme suit :

➤ Travaux de génie civil :

- Début : juin 1981.
- Fin : Mars 1985.

➤ Montage mécanique :

- Début : Mars 1984
- Fin : Septembre 1986

➤ Montage électrique :

- Début : Mars 1984
- Fin : Septembre 1986

La mise en service des groupes s'est effectuée comme suit :

- Groupe 1 : couplage sur le réseau le 17/06/1986
- Groupe 2 : couplage sur le réseau le 17/09/1986
- Groupe 3 : couplage sur le réseau le 29/11/1986
- Groupe 4 : couplage sur le réseau le 21/02/1987

➤ Légende du plan de masse :

Représenter sur la fig. I .2 :

1. salle des machines.
2. chaudière.
3. locaux des auxiliaires électriques.
4. locaux des auxiliaires mécaniques.
5. tour de prise d'eau de mer.
6. station de détente de gaz.
7. réservoir stockage fuel.
8. station pompage et dépotage fuel.
9. station de production H₂
10. poste d'incendie à mousse.
11. rack à tuyauterie.
12. air des transformateurs.
13. bâtiment administratif.
14. cantine.
15. atelier magazine.
16. station de pompage.
17. canal et rejet d'eau de mer.
18. potier (poste d'entrée).
19. parc véhicules.
20. station de chloration.
21. préparation d'eau potable.
22. déminéralisation.
23. fosse de neutralisation.
24. dessalement d'eau de mer.
25. station des pompes d'incendie.
26. Pompe d'eau déminéralisée.
27. Logement d'exploitation.

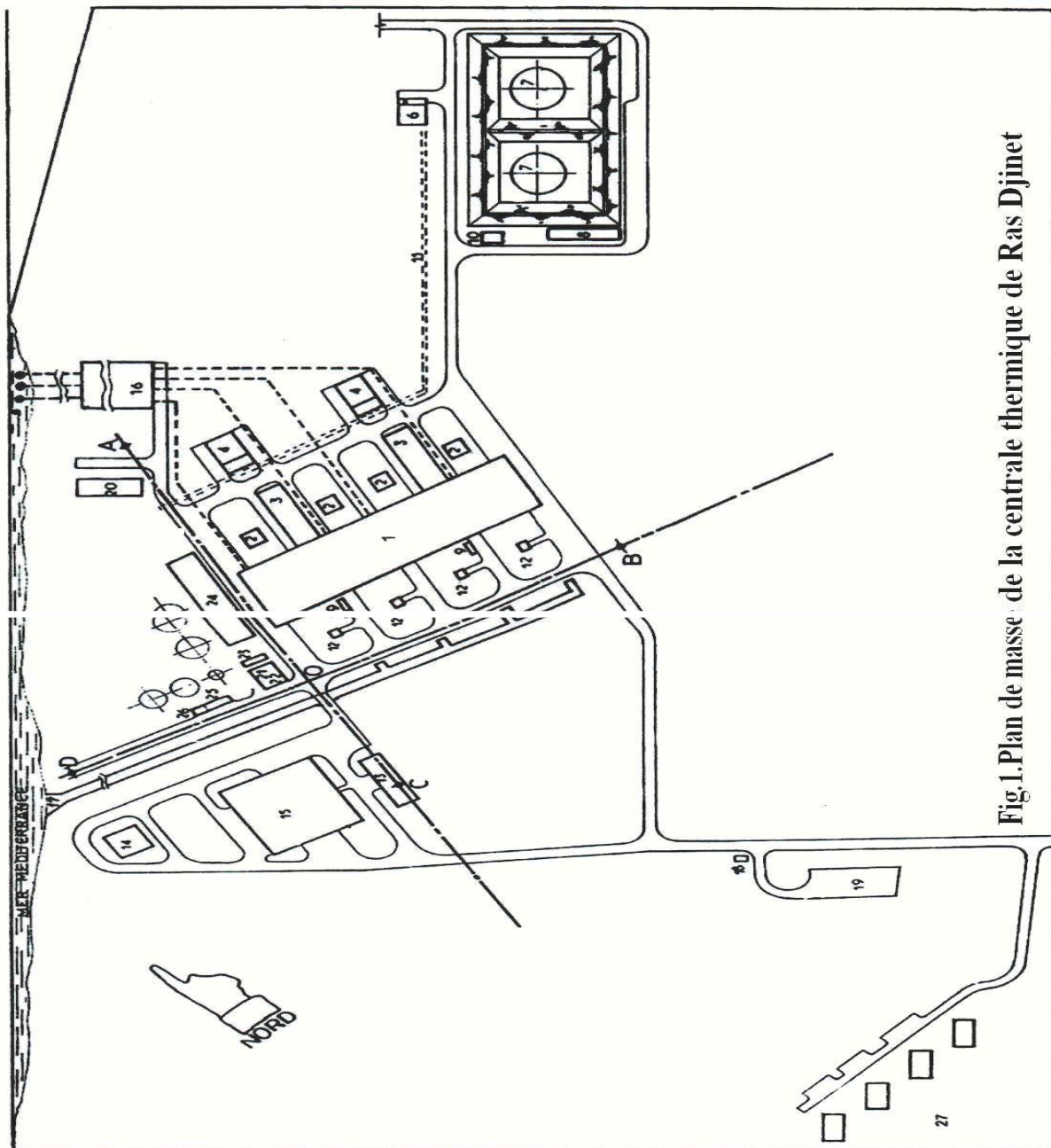


Figure I.2 : Plan de masse de la centrale de RAS-DJENET

I.6. Description :

La centrale de production d'électricité de RAS- DJINET est une centrale composée de quatre groupes d'une puissance unitaire de 176MW comprenant des installations communes :

- Station de pompage d'eau de mer.
- Poste de détente gaz naturel.
- Poste fuel.
- Station de dessalement et de déminéralisation d'eau de mer.
- Station d'électro-chloration.
- Salle de compresseurs d'air comprimé de travail et de régulation.

Et pour chaque groupe :

- Générateur de vapeur.
- Turbine à vapeur.
- Condenseur.
- Alternateur.
- Auxiliaire électrique.
- Salle de commande centralisée.
- Transformateur principal d'évacuation de l'énergie.
- Dessalement de l'eau de mer.
- Les pompes.

I.6.a. Caractéristiques techniques

❖ Générateur à vapeur :

Le générateur de vapeur est l'un des éléments essentiels du circuit thermique car il assure le changement de phase de l'eau d'alimentation de l'état liquide à l'état vapeur surchauffée à haute pression en vue d'alimenter la turbine.

- Consommation gaz naturel.....40m³ /h.
- Consommation gas-oil (fuel)..... 42 m³ /h.
- Capacité de vaporisation..... 530t /h.
- Pression de service.....160bars.
- Température eau d'alimentation.....24 6°C.

❖ Turbine à vapeur :

La turbine est une machine à une ligne d'arbre composé de corps HP, MP, BP qui servent à convertir l'énergie calorifique d'un courant de vapeur en énergie mécanique, ces corps sont by-passés et permettent un conditionnement de la vapeur.

Elle se caractérise par :

- Longueur..... 16, 125 m.
- Largeur.....13m.
- Poids.....500t.
- Puissance.....176MW.
- Vitesse de rotation.....3000tr /min.

❖ Le corps HP :

Constitution et fonctionnement :

Le corps HP de la turbine est une construction en tonneau il est équipé d'un étage de réglage pour régularisation par groupe de tuyères. Quatre ensembles combinés vissent d'arrêt/soupape régulatrice dont associées à autant de groupe de tuyères, Ils sont disposés de chaque côté du corps. La vapeur conduite à la turbine par l'intermédiaire de tuyauteries parvient aux soupapes

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA CENTRALE THERMIQUE

régulatrices après avoir traversé les vannes d'arrêt. A partir de ces soupapes la vapeur s'écoule dans l'enveloppe.

Des clapets anti-retours sont montés sur la tuyauterie de resurchauffe entre le corps HP et resurchauffeur pour empêcher le reflux chaud du resurchauffeur vers le corps HP.

- Simple flux à double enveloppe.
- La pression d'admission = 138 bar.
- Le débit de vapeur = 532t/h.
- La température de vapeur = 535°C.
- Nombre d'étage à réaction : 23 étages.
- Nombre d'étage action : 1 étage.



Figure I.3 : Corps HP

❖ Corps MP

Description et fonctionnement :

Le corps MP est équipé de deux vannes d'interception et de deux soupapes modératrices disposées symétriquement de part et d'autre du corps.

La vapeur resurchauffée véhiculée par les tuyauteries parvient aux soupapes modératrices après avoir traversée les vannes d'interceptions.

A partir des soupapes modératrices la vapeur s'écroule dans le corps de la turbine vers les demi-corps supérieurs et inférieurs. Elle pénètre dans l'enveloppe interne par les pipes d'admission

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA CENTRALE THERMIQUE

bridées au centre de l'enveloppe externe. Cette disposition qui se traduit par des directions d'écoulement opposées dans les deux flux. Permet d'équilibrer

L'admission de vapeur au milieu du corps soustrait les pattes d'appui et les paliers à l'influence de la température d'admission de la vapeur

- Double flux à double enveloppe
- La pression d'admission = 36 bar.
- Le débit de vapeur = 408t/h.
- La température de vapeur = 535°C.
- Nombre d'étage à réaction = 2x20 étages.



Figure I.4 : Corps M.P

❖ Les soutirages

Le principe des soutirages dans une machine à vapeur est d'utiliser de la vapeur qui a déjà travaillé dans la turbine pour réchauffer l'eau d'alimentation (figure I.4). Une partie seulement de la vapeur circulant dans la turbine est prélevée, et de plus, cette vapeur prélevée a déjà cédé à la turbine la majeure partie de sa force vive. L'échange de chaleur s'effectue dans un échangeur de chaleur (par surface). La vapeur refroidie est ensuite redirigée vers le condenseur.

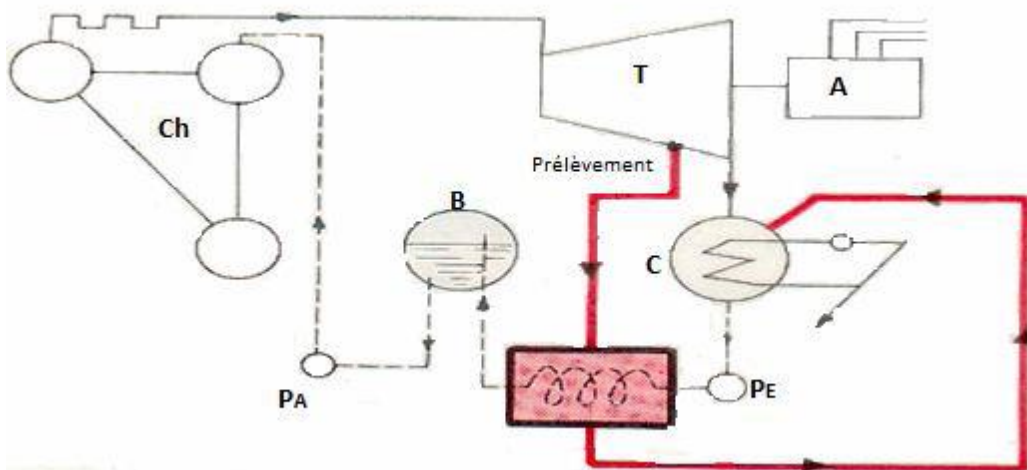


Figure I.5 : La procédure de soutirage

- ✓ T : turbine.
- ✓ C : condenseur.
- ✓ CH: chaudière.
- ✓ A : alternateur.
- ✓ PA : pompe d'alimentation.
- ✓ PE : pompe d'extraction.
- ✓ B : bâche alimentaire.

❖ Le condenseur :

Le condenseur utilisé dans l'installation est un échangeur à échange par surface. Il est placé sous la turbine à basse pression. La vapeur se condense au contact des parois des tubes, dans les quelles passe l'eau de mer de refroidissement (source froide) qui évacue la chaleur résulte du changement d'état, les fonctions principales du condenseur sont :

- D'assurer la condensation de la vapeur évacuée par la turbine à basse pression (corps BP) et de réintroduire le condensât dans le circuit eau-vapeur (post d'eau)
- D'augmenter la chute d'enthalpie dans la turbine en établissant une dépression afin d'obtenir un rendement aussi élevé que possible.
- De dégazer le condensât et d'évacuer les incondensables.

Le condenseur est constitué de deux demi-condenseurs ou ils sont logés et dans lequel circule de l'eau de mer. Cette conception permet de faire fonctionner un demi-condenseur et éventuellement entretenir le deuxième.

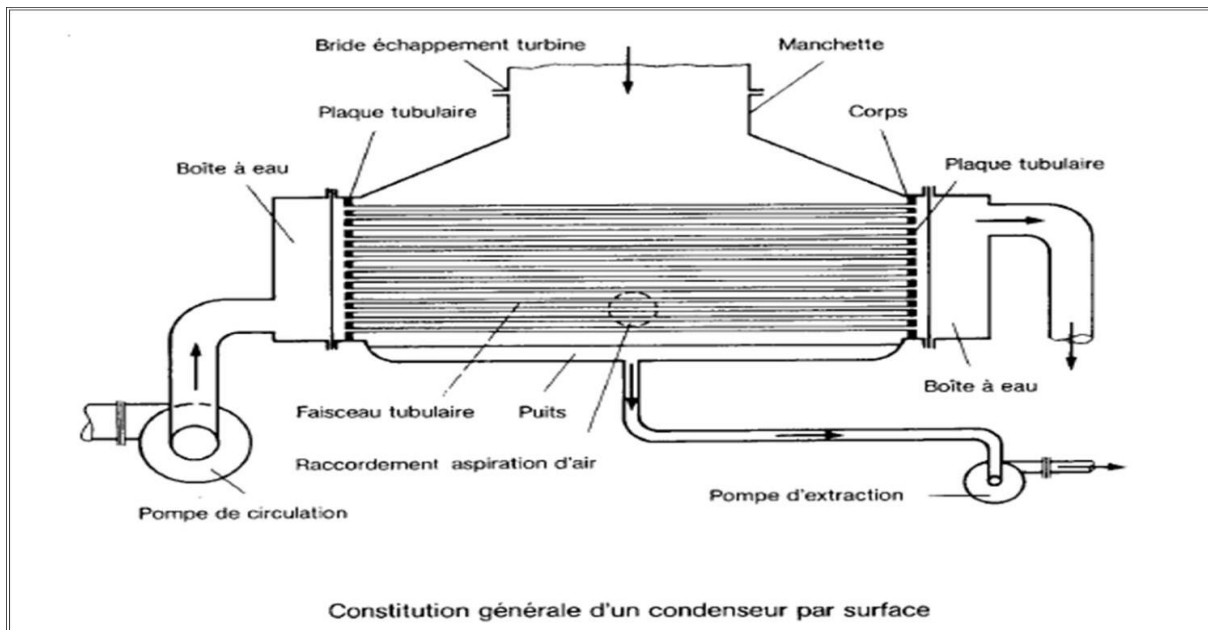


Figure I.6 : Constitution générale d'un condenseur.

❖ La bêche alimentaire :

C'est un réservoir cylindrique où a lieu le dégazage de l'eau, l'eau sortant des réchauffeurs BP se conduit vers la bêche alimentaire, cette dernière joue le rôle d'un échangeur à mélange (réchauffeur), l'eau est chauffée alors par le soutirage S4 du corps moyenne pression de la turbine, l'eau se réchauffe jusqu'à la température de saturation correspondant à la pression du soutirage, en condensant la vapeur qui est prélevée à la turbine.

Le niveau de l'eau et de la vapeur reste constant pendant le fonctionnement du groupe. La bêche alimentaire appelée aussi « la bêche dégazant » par ce qu'elle dégage les gaz étrangers incondensables vers l'atmosphère avec 2 tuyauteries d'évacuation.

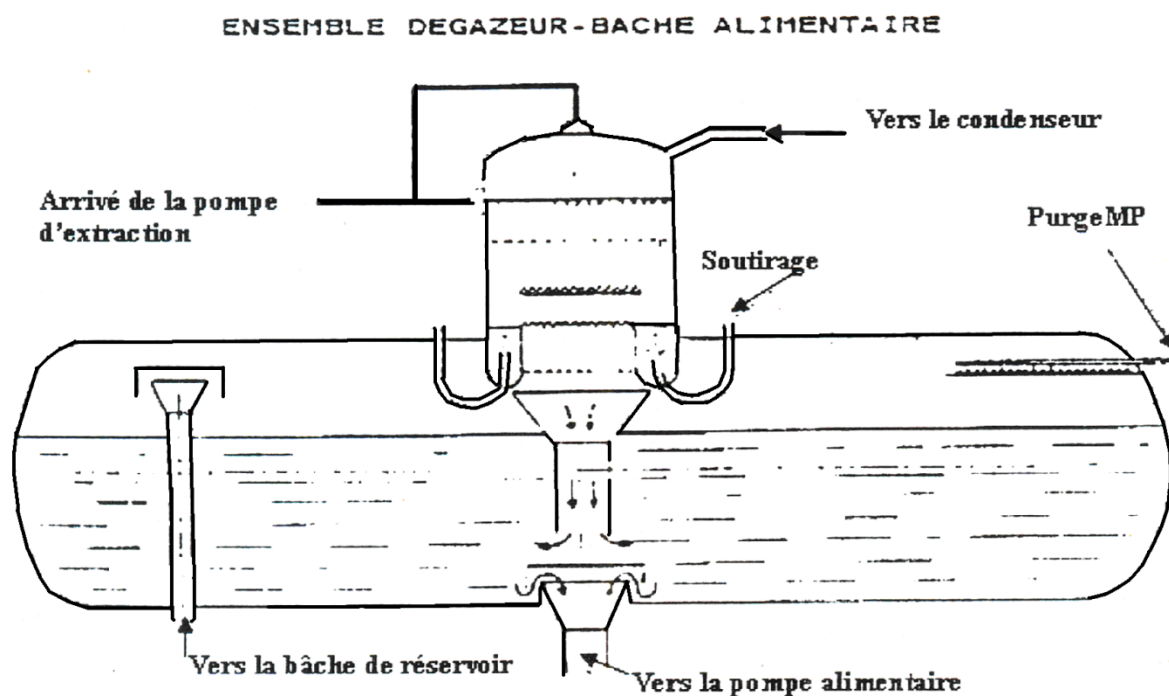


Figure I.7 : Ensemble dégaiseur- Bâche Alimentaire.

Caractéristiques de la bâche alimentaire :

- Le volume total :.....163 m³.
- Diamètre de l'enveloppe :3,6 m.
- La longueur :.....16,5 m.
- La température à la sortie :.....151 °C.
- La pression :.....4,9 bars.
- Le débit :.....145,34 kg/s.

❖ Le dégaiseur

Le dégaiseur a pour rôle d'éliminer les gaz agressifs tel que l'oxygène et le gaz carbonique dissous dans l'eau alimentaire afin de protéger les installations telles que la chaudière. L'élimination des gaz agressifs se fait par l'évaporation des gaz dissous dans l'eau par l'augmentation de la température.

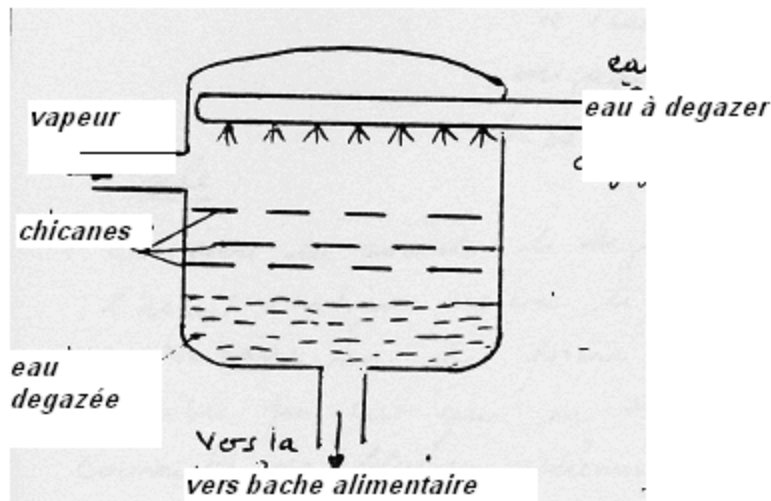


Figure I.8 : fonctionnement d'un dégazeur.

❖ Alternateur :

L'alternateur est un générateur d'électricité lié directement avec l'arbre de la turbine. Il transforme l'énergie mécanique de la turbine en énergie électrique. C'est un alternateur à pôles lisses. Il est refroidi par l'hydrogène. Parmi ces avantages la faible densité et une grande conductibilité thermique ce qui permet de réduire les pertes de chaleur lors de la ventilation, ainsi que la chaleur dégagée par l'alternateur est récupérée par l'eau d'alimentation.

Le courant électrique créé est un courant alternatif triphasé tel que :

- Tension nominale.....15.5KV.
- Puissance apparente.....220MVA.
- Puissance active.....176MW.

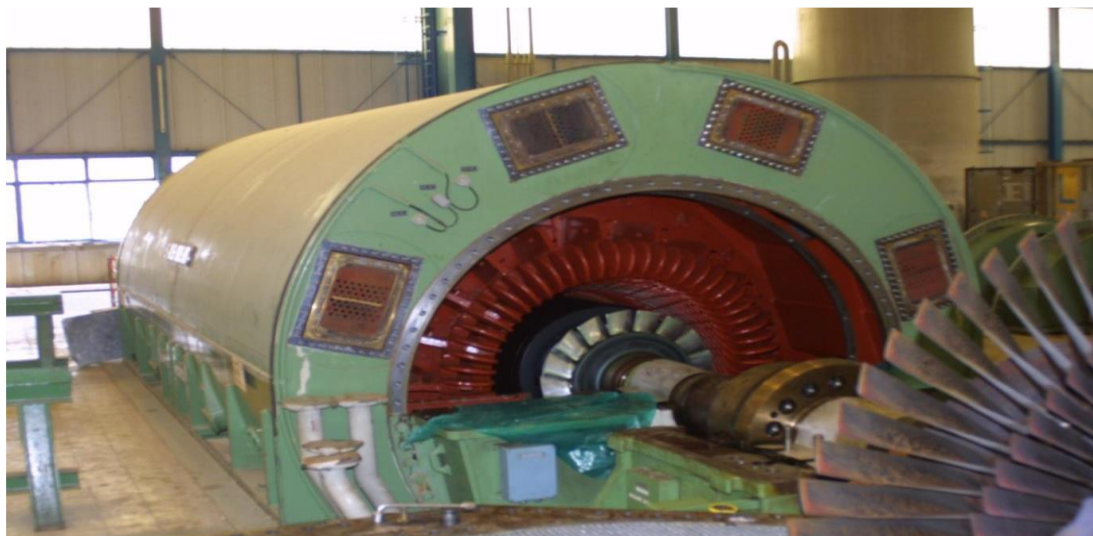


Figure I.9 : Alternateur.

❖ Transformateur d'évacuation d'énergie :

Le courant électrique fourni par l'alternateur est de haute tension donc des transformateurs ont pour fonction d'élever cette tension jusqu'à 225000 ou 338000V pour pouvoir être

transporté ; C'est l'organe qui adapte la tension alternateur à la tension réseau pour pouvoir évacuer l'énergie produite vers le réseau national à travers des lignes aérienne.

- Tension primaire.....15,5KV.
- Tension secondaire.....220KV.
- Puissance nominale HT et BT.....220KVA.

❖ Dessalement eau de mer :

La centrale de RAS-DJENET produit 1100m³ / h D'eaux dessalées pour effectuer cette opération, quatre unités fonctionnant selon le principe de la distillation, par détente successive sur 18 étages dont chaque unité produit 500m³ d'eau dessalée.

- Capacité de production.... (04) unités produisant 500 m³/j chacune.
- Procédé de distillation.....Multi flashes

Poste d'eau :

Les groupes de la centrale thermique de RAS-DJENET demande une quantité d'eau importante pour le refroidissement des équipements.

Cette station est composée de :

- Station de pompage et de filtration
- Prétraitement des eaux (filtration)
- La grille à grappin de grilleur
- Tambour filtrant
- Contrôle automatique de l'installation de filtration
- Protection cathodique des installations de filtration contre les corrosions
- Installation d'électro chloration
- -Eau de refroidissement..... (02) pompe refroidir 12000 m³ /h chacune.
- -Eau d'extraction.....414 m³ /h.
- -Eau d'alimentation..... (03) pompe alimenter 261, 6 m³ /h chacune.

❖ Les pompes :

Pompes d'extraction

Ce sont des pompes centrifuges à 4 étages, leurs rôles sont d'assurer le transfert d'eau du puits du condensateur jusqu'à la bache alimentaire en passant par les trois réchauffeurs BP avec un débit nominale d'une pompe de 415m³/h.

On trouve 2 pompes par groupe (l'une des pompes est réservée en cas de panne) avec une tension de 6.3KV et une puissance de 300KW.

Pompes d'alimentation

L'eau d'alimentation est prise de la bache alimentaire par des pompes d'alimentation, et refoulée vers la chaudière en passant par des réchauffeurs HP. Ces pompes sont composées de deux types de pompes :

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA CENTRALE THERMIQUE

Pompes nourricières : ce sont des pompes auxiliaires de type centrifuge à un étage, elles servent à augmenter la pression de l'eau d'alimentation de 4.9 bars à 11 bars avec un débit de 261.6 t/h.

Pompes principales : ce sont des pompes centrifuges radiales à 6 étages. Elles sont placées en aval des pompes nourricières, elles augmentent la pression de l'eau de 11 bars jusqu'à 177 bars. Il y a trois pompes nourricières et trois pompes principales dans chaque groupe. Chaque groupe de pompes d'eau d'alimentation est commandé par un moteur commun d'une tension de 6.3KV et une puissance de 300KW.

❖ La chaudière :

Le rôle de ce générateur de vapeur est de faire passer l'eau d'alimentation de l'état liquide à l'état de vapeur surchauffée, à haute pression, en vue d'alimenter la turbine. Il est à circulation naturelle, doté d'une chambre de combustion, avec surchauffe. Ses caractéristiques sont :

- Capacité de vaporisation.....540 t /h
- Température dans le foyer.....900 °C
- Température de vapeur surchauffée.....540 °C
- Pression à la sortie des surchauffeurs.....147 bar
- Température de la vapeur surchauffée.....535 °C
- Température de l'eau d'alimentation.....246 °C

Le générateur comprend notamment :

❖ L'économiseur :

C'est un échangeur de chaleur ; constitué d'un serpentin en fin de parcours des gaz de combustion, l'eau en provenance du poste de réchauffage, alimenté les soutirages de la turbine, se réchauffe dans l'économiseur avant son introduction dans le ballon, à une température inférieure à celle d'ébullition. Ses caractéristiques sont :

- Surface d'échange.....2080m²
- Volume d'eau.....10.5m³
- Pression de service.....164.3 bar

❖ Le ballon chaudière :

C'est un réservoir placé au-dessus de la chambre de la combustion, qui renferme de l'eau à l'état liquide provenant de l'économiseur alimentant les tubes écrans vaporisateurs et de l'eau à l'état vapeur provenant des tubes écrans pour l'alimentation des surchauffeurs.

Ses caractéristiques sont :

- Pression de service.....160 bar
- Volume d'eau.....26.9m³

Des colonnes de descente et des tubes écrans :

Les tubes écrans constituant les parois de la chambre de combustion, sont alimentés à leur partie inférieure par quatre colonnes dites de descente. La chaleur reçue par ces tubes, essentiellement par rayonnements, est transmise à l'eau en vue de sa vaporisation.

Des surchauffeurs :

Les surchauffeurs, au nombre de trois (primaire, secondaire et tertiaire), permettant grâce à la récupération de la chaleur sensible des fumées provenant du foyer, d'élever la température de la vapeur au-delà du point de saturation pour atteindre la valeur de 540°C, et ce, afin d'éliminer l'humidité contenue dans cette vapeur et donc d'améliorer le rendement de la turbine et ainsi diminuer la consommation du combustible.

Des désurchauffeurs :

Une partie de l'eau d'alimentation est déviée avant son entrée dans l'économiseur dans un circuit annexe et injectée dans la vapeur surchauffée à un étage intermédiaire de surchauffe.

Elle sert au réglage de la température de vapeur à la sortie de la dernière surchauffeur.

L'injection de cette eau de désurchauffe dans la vapeur se fait par pulvérisation dans un mélange appelé désurchauffeur.

Des brûleurs :

Le générateur de vapeur est équipé de huit brûleurs fonctionnent au gaz naturel ou fuel léger. Ils sont disposés sur quatre étages de la face avant la chaudière.

Chambre de combustion :

Elle représente la source de chaleur du générateur de vapeur. Elle est constituée de tubes écrans qui reçoivent la chaleur émise par les flammes des brûleurs.

➤ Ventilateurs de soufflage :

Les ventilateurs de soufflage ont pour rôle d'acheminer au générateur de vapeur l'air nécessaire à la combustion (gaz naturel ou fuel). Ils aspirent l'air de l'extérieur et le font parvenir aux brûleurs à travers pré chauffeur à vapeur et le réchauffeur rotatif. Chaque tranche est équipée de deux ventilateurs, chacun peut assurer 60% du débit nominal.

➤ Ventilateurs de recyclage :

Chaque tranche est équipée de deux ventilateurs de recyclage (ou de recirculation) des fumées. Ils aspirent une partie des gaz de combustion à la sortie de la chaudière (avant le réchauffeur d'air) et l'injectent dans la partie basse de la chambre de combustion. Ce système permet un gain de rendement, surtout à basse charge.

I.7 : Principe de fonctionnement de la centrale thermique de RAS-DJENET :

Les centrales thermiques à flamme fonctionnent à partir de ressources naturelles : charbon, fioul ou gaz. Le combustible, une fois brûlé, chauffe l'eau située dans des tubes qui tapissent les parois de la chaudière. La chaleur transforme ainsi l'eau en vapeur, qui actionne la turbine, qui elle-même entraîne l'alternateur. La centrale produit alors de l'électricité. Ensuite la vapeur est refroidie en eau, puis repart vers la chaudière pour un nouveau cycle.

Une centrale thermique à flammes fournit une puissance de l'ordre de quelques centaines de mégawatts.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA CENTRALE THERMIQUE

La transformation en énergie mécanique peut se faire de deux manières différentes :

I.7.a : Transformation indirecte :

Une fois la combustion démarrée une chaleur se dégage afin de transformer l'eau en vapeur à haute température et haute pression.

L'accès de la vapeur produite dans les aubages de la turbine à combustion qui fonctionne sur le principe d'un gros réacteur d'avion auquel on aurait connecté à l'alternateur, la vapeur se propageant dans le corps de la turbine qui est divisé en 3 tranches BP MP HP en fonction de la pression de la vapeur cela entraîne la rotation progressive du corps de la turbine ainsi que l'alternateur connecté produisant l'énergie électrique.

I.7.b : Transformation directe :

La détente de gaz se fait dans les aubages de la turbine à vapeur fournit un couple moteur pour actionner l'alternateur.

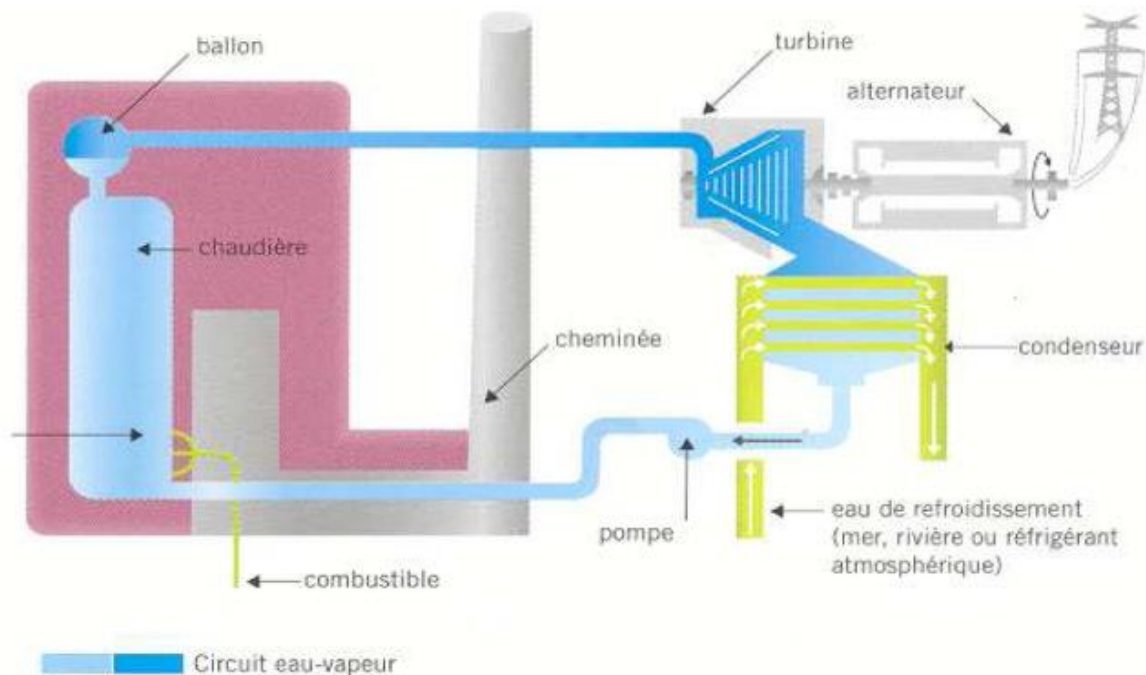


Figure I.10 : Principe fonctionnement d'une centrale thermique.

Les circuits de la centrale thermique de RAS-DJENET :

La centrale thermique de CAP-DJENET est constitué de :

Les circuits combustibles :

Le gaz naturel parvient à la station détente de gaz par pipe enterré. Quatre tubes distribuent ce gaz aux chaudières de chaque tranche, tandis que les autres tubes conduisent ce combustible aux autres consommateurs comme l'unité de dessalement de l'eau de mer.

Le circuit d'air de combustion :

L'air est prélevé de l'atmosphère et mis en vitesse par les ventilateurs (ventilateurs de soufflages), il est d'abord réchauffé vers « 315 °C » par la vapeur auxiliaire dans le réchauffeur d'air et par les gaz de combustion dans le réchauffeur d'air rotatif. Cet air réchauffé va aux brûleurs en fournissant l'appoint d'oxygène nécessaire à la combustion.

Le circuit du gaz de combustion :

Ce circuit résulte de la réunion des deux circuits précédents à partir de la sortie des brûleurs, il est véhiculé de telles sortes que d'une part, les gaz brûlés trouvent continuellement les parois des tubes évaporateurs à chauffer afin de provoquer des échanges de chaleur, et que d'autre part, le fluide « eau » qui se trouve à l'intérieur des parois des tubes évaporateurs ait des besoins grandement suffisants en chaleur pour qu'elle se transforme en vapeur.

Le circuit d'eau et de vapeur :

C'est le circuit principal et c'est dans ce circuit que se réalise le cycle de Rankine

Première transformation :

L'eau est extraite de la bêche alimentaire à l'aide des pompes, cette dernière est alimentée par le condenseur et par l'eau d'appoint après distillation. Elle est comprimée successivement par la pompe basse et haute pression, ainsi que les réchauffeurs « B.P » et « H.P » au moyen de la vapeur de soutirage, puis elle arrive à l'économiseur où les gaz de combustion « fumées » accroissent encore sa température. Puis elle arrive dans la chaudière avec une température idéale afin d'éviter un choc thermique.

Au début du cycle de transformation de l'eau sa température est à 33 °C et a une pression de 0.05 bar, et à la fin de la transformation elle arrive à la chaudière avec une température de 285°C et à 170 bar.



Figure I.11 : La bâche alimentaire.

Deuxième transformation :

L'eau d'alimentation passera à travers la soupape alimentaire (vanne de réglage niveau ballon chaudière) pour entrer dans la chaudière au niveau de l'économiseur qui va encore l'élever en température à environ « 300°C » avant son entrée dans le ballon chaudière. L'eau d'alimentation parvenue au ballon va occuper la partie inférieure et son niveau sera réglé à 50%. Cette eau va ensuite descendre par les colonnes d'alimentation pour rejoindre le collecteur inférieur qui alimentera les tubes vaporisateurs ou tubes écrans qui sont directement exposés aux flammes des huit brûleurs disposés sur une des quatre faces du foyer chaudière. La vapeur produite dans ces tubes (écrans/vaporisateurs) va s'élever vers le collecteur supérieur par différence de densité entre l'eau et la vapeur (la vapeur étant plus légère que l'eau).

Cette chaudière est dite chaudière à circulation naturelle. La vapeur saturée sortira du collecteur supérieur des tubes écrans vaporisateur pour être acheminée vers la partie supérieure du ballon chaudière. Le ballon chaudière servira donc de réserve d'eau et de vapeur saturée pour l'alimentation des turbines en vapeur surchauffée HP. La pression de la vapeur réglée dans le ballon sera de « 160 bars ». Cette vapeur humide (contenant des gouttelettes d'eau) devra être séchée avant son admission dans la turbine corps HP turbine. Elle sortira donc du ballon et passera à travers les surchauffeurs N°1,2 et 3 pour être séchée et deviendra alors vapeur vive ou vapeur sèche. Cette vapeur sortira de la chaudière avec une pression de « 160 bars » et une température de « 540°C ». Elle se dirigera alors vers la turbine corps HP ou elle subira une

détente pour en ressortir sous forme de vapeur moyenne pression à une température avoisinant celle de vapeur saturée. Pour cette raison elle sera réintroduite dans la chaudière pour passer à travers les resurchauffeurs N° 1 et 2 où elle sera resurchauffée.

Troisième transformation :

La vapeur surchauffée arrive dans le corps « H.P » de la turbine ou elle se détente à une pression de « 40 bars » et une température refroidie à « 357°C »

Puis le corps « MP » de la turbine est alimenté où elle subira une autre détente pour en ressortir avec une basse pression et température, et se dirigera directement vers le corps « BP » de la turbine où elle subira sa dernière détente avant de se retrouver dans le condenseur du groupe.

Quatrième transformation :

Elle s'effectue dans le condenseur, la condensation de la vapeur arrivant depuis le corps « B.P » de la turbine, s'effectue à travers le frottement de la vapeur au circuit d'eau froide qui sont des tubes transportant de l'eau froide à une température de 33 C, ainsi la vapeur est recueillie sous forme d'eau froide afin qu'elle recommence son cycle.

Le circuit de refroidissement de l'eau :

Afin de condenser la vapeur, il faut refroidir et abaisser sa pression, ces deux opérations s'effectue dans le condenseur, le refroidissement est assuré avec de l'eau froide qui circule dans un circuit indépendant du circuit eau-vapeur. Cette eau est en général ordinaire utilise le vide et entretenue par des pompes d'extraction d'air, suivant les circonstances géographiques, l'eau de réfrigération circule en circuit ouvert et en circuit fermé.

Le circuit ouvert :

L'eau de réfrigération utilisé à un débit important et régulier, le circuit comporte une prise d'eau, des pompes de circulation, le condenseur ou l'eau du réfrigérant s'échauffent de 8 C environ au contact des parois qui la sépare du circuit eau-vapeur, puis elle retourne à la mer par le déversoir.

Le circuit fermé :

Le circuit fermé est constitué d'un circuit d'eau de refroidissement qui sert à la réfrigération des paliers des pompes d'extractions, des différentes sorties d'huile, des différents paliers, du compresseur, des pompes, etc.

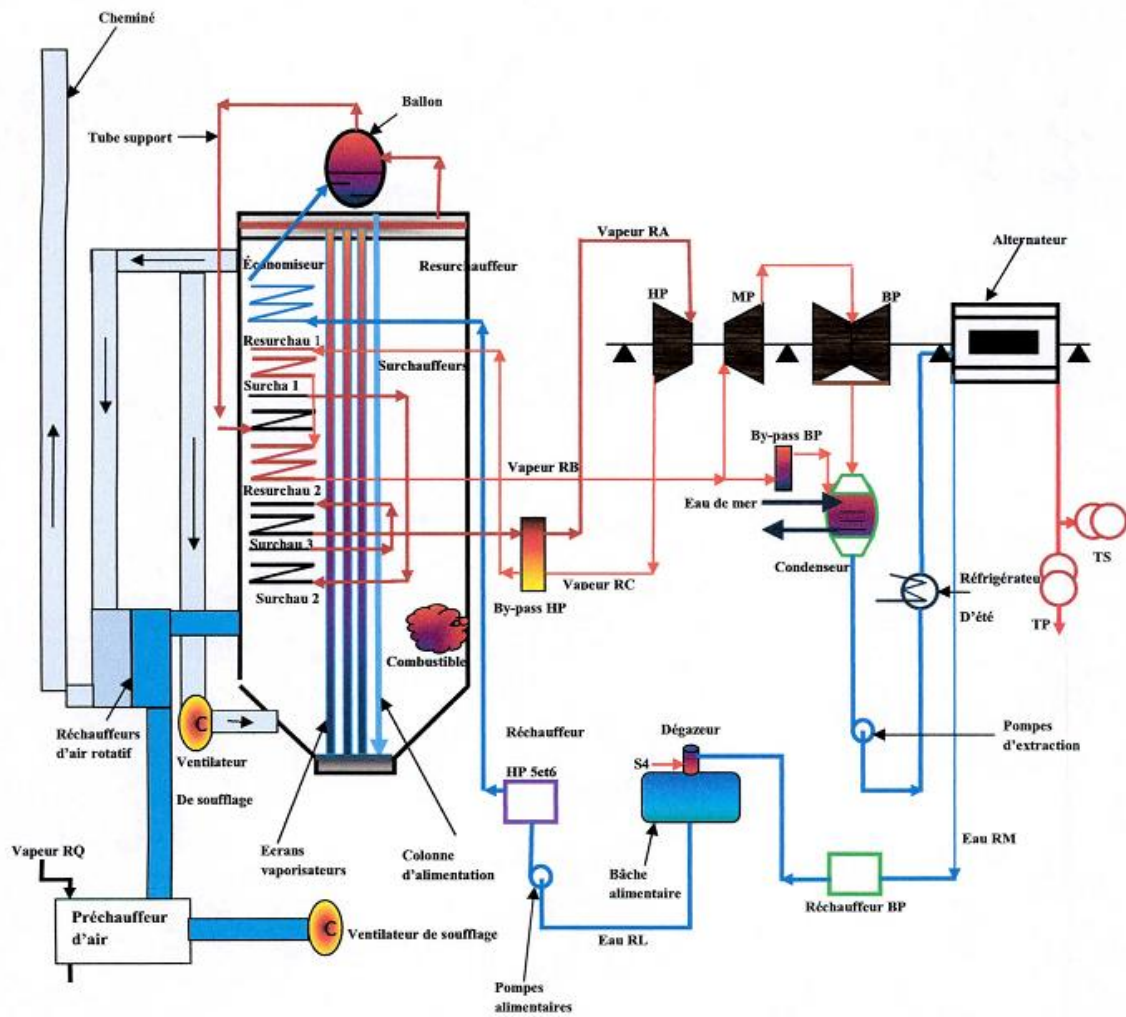


Figure I.12: Fonctionnement de cycle eau-vapeur

Chapitre II

LA MAINTENANCE

Aujourd'hui, la gestion de la maintenance s'est considérablement développée. D'énormes efforts sont engagés dans la maintenance des installations imposant de nouvelles approches. Il a été aussi démontré que la durée de vie des équipements et leurs taux de disponibilité dépendent essentiellement des programmes de maintenance appliqués, dans ce chapitre nous allons parler des différents types de maintenance et les critères de choix.

I. La maintenance :

D'après la norme AFNOR (NF EN 13306 X 60-319), la maintenance est définie comme étant " Ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise ». [1]

II. Importance de la maintenance :

Pendant longtemps, la maintenance est considérée par les gestionnaires plus comme une fatalité qu'un ensemble d'activités ayant pour d'accomplir toutes les tâches nécessaires.

Pour que l'équipement soit maintenu ou rétabli dans un état spécifié ou en mesure de : [2]

- Permettre une exécution normale des opérations dans les meilleures conditions de coûts, de sécurité et de qualité (le cas de la production).
- Obtenir un service dans les conditions de confort et de coût (c'est le, par exemple, des services vendus en général mais surtout des transports, des hôpitaux).

Donc pour nous, entretenir, consiste à dépanner, réparer, réaliser des opérations préventives dont le but principal est d'assurer le fonctionnement de l'outil de production d'une manière globale entretenir c'est subir.

Outre cela le progrès technologique ainsi que l'évolution de la conception de la gestion des entreprises ont fait que la maintenance est devenue de nos jours une fonction importante de l'entreprise dont le rôle dans l'atteinte des objectifs de l'entreprise est loin d'être négligeable.

Donc la fonction maintenance est l'affaire de tous et doit être omniprésent dans les entreprises et les services. Elle est devenue un enjeu économique considérable pour tous les pays qui souhaitent disposer d'outils de production disponibles, performants.

Si l'entretien ne se traduisait que par des interventions, nous pouvons dire que la maintenance est tout autre chose. C'est d'abord un état d'esprit, une manière de penser, ensuite une discipline nouvelle dotée de moyens permettant d'intervenir dans de meilleures conditions, d'appliquer les différentes méthodes en optimisant le coût global. La maintenance vise à éviter les pannes et les temps morts que celle-ci entraînent.

La maintenance ne doit pas être perçue comme une fonction secondaire et elle doit bénéficier de toute l'attention voulue.

Actuellement la modernisation de l'outil de production impose une évolution fondamentale dans le domaine de maintenance. Cette évolution se traduit par un changement profond pour les entreprises (remplacement de la fonction entretien par la fonction maintenance), par une évolution de mentalités.

Cette mutation nécessite des structures nouvelles, des moyens nouveaux et pour le personnel un état d'esprit « Maintenance ».

Donc la maintenance désigne plusieurs catégories de travaux notamment :

- Surveillance et travaux simples (graissage etc.) généralement dévolus aux utilisateurs du matériel ou des installations.
- Contrôle de fonctionnement et travaux plus complexes que les précédents, souvent effectués par spécialistes.
- Dépannage et réparation en cas d'incident confiés à des ouvriers ou équipes spécialisées.
- Entretien systématique comportant des révisions partielles ou totales, faites sur place ou dans un atelier spécialisé.
- Reconstruction complète de machines ou d'installations, constituant une véritable remise neuve.

III. But et objectifs de la maintenance :

Les objectifs de la maintenance peuvent être classés en deux types :

III -1 Objectifs financiers :

- Réduire au minimum les dépenses de maintenance.
- Assurer le service de maintenance dans les limites d'un budget.

III -2 Objectifs Opérationnels :

- Maintenir l'équipement dans les meilleures conditions possibles.
- Assurer la disponibilité maximale de l'équipement à un prix minimum.
- Augmenter la durée de vie des équipements.
- Entretenir les installations avec le minimum d'économie et les remplacer à des périodes prédéterminées.
- Assurer un fonctionnement sûr et efficace à tout moment. [2]

IV. Fonction de la maintenance:

La fonction maintenance peut être considérée comme un ensemble d'activités regroupées en deux sous-ensembles : les activités à dominante technique et les activités à dominante de gestion. [3]

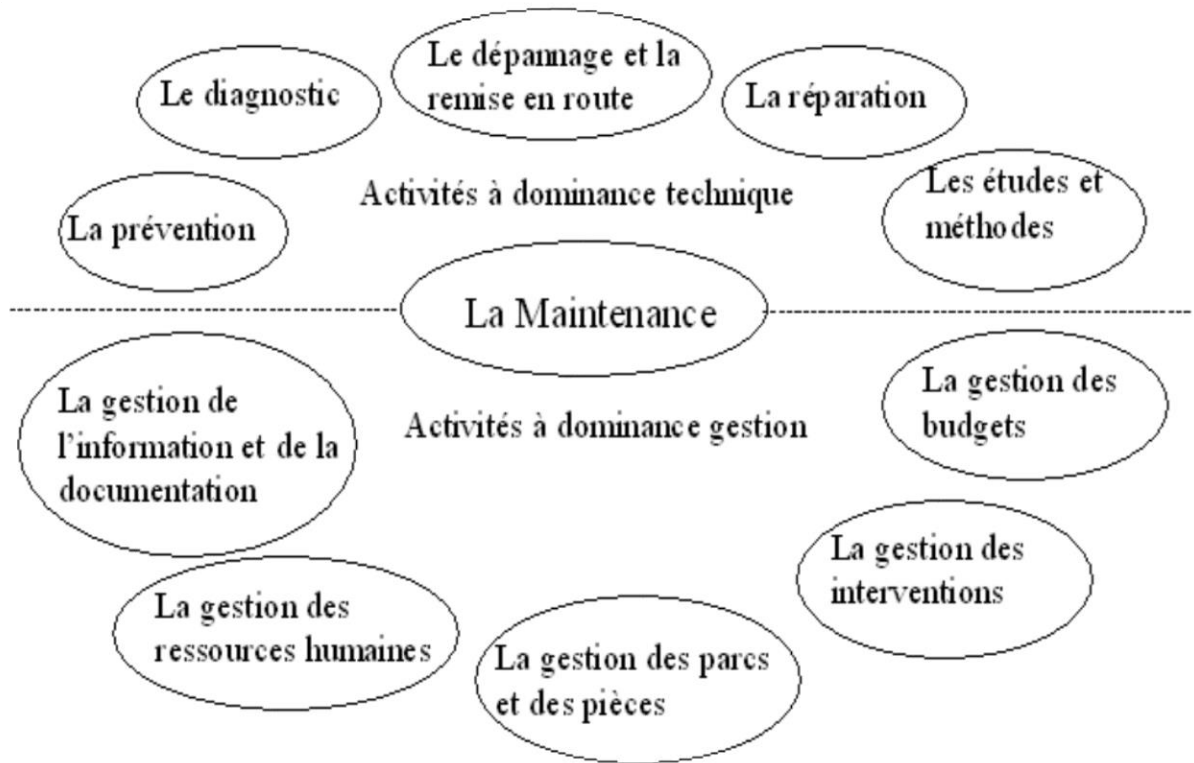


Figure II.1 : les différentes tâches contenues dans la fonction maintenance.

Chacune de ces composantes est constituée de tâches bien précises dont certaines sont assurées par plusieurs sous-fonctions. Pour simplifier nous désignerons les sous-fonctions par fonctions, c'est ainsi que nous pouvons distinguer les fonctions :

- La fonction Préparation.
- La fonction Ordonnancement.
- La fonction Réalisation.
- La fonction Gestion du Service Maintenance.

V. Les opérations de la maintenance :

➤ **Le dépannage:** [5]

C'est une action ou opération de maintenance corrective sur un équipement en panne en vue la remettre en état de fonctionnement.

Cette action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de conditions de réalisation hors règles de procédures, de coût et de qualité, et dans ce cas sera suivie de la réparation.

Souvent les interventions de dépannage sont de courtes durées mais peuvent être nombreuses et n'exigent pas la connaissance du comportement des équipements et des modes de dégradation.

➤ **La réparation:**

C'est une intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance. L'équipement réparé doit assurer les performances pour lesquelles il a été conçu.

➤ **Les inspections :**

Ce sont des activités de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies et exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique ni d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.

➤ **Les visites:**

Ce sont des opérations de surveillance qui dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité prédéterminée.

Ces interventions correspondent à une liste d'opérations définies au préalable qui peuvent entraîner d'organes et une immobilisation du matériel.

➤ **Les contrôles :**

Ils correspondent à des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement.

Le contrôle peut, comporter une activité d'information, inclure une décision, acceptation, rejet à ajournement, déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective.

Les opérations de surveillance (inspection, visite, contrôle) sont nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien, effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

➤ Les révisions :

Ensemble des actions d'examen, de contrôle des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné.

Il est d'usage de distinguer suivant l'étendue de cette opération les révisions partielles des révisions générales. Dans les deux cas, cette opération implique la dépose de différents sous-ensembles.

VI. Types de maintenance :

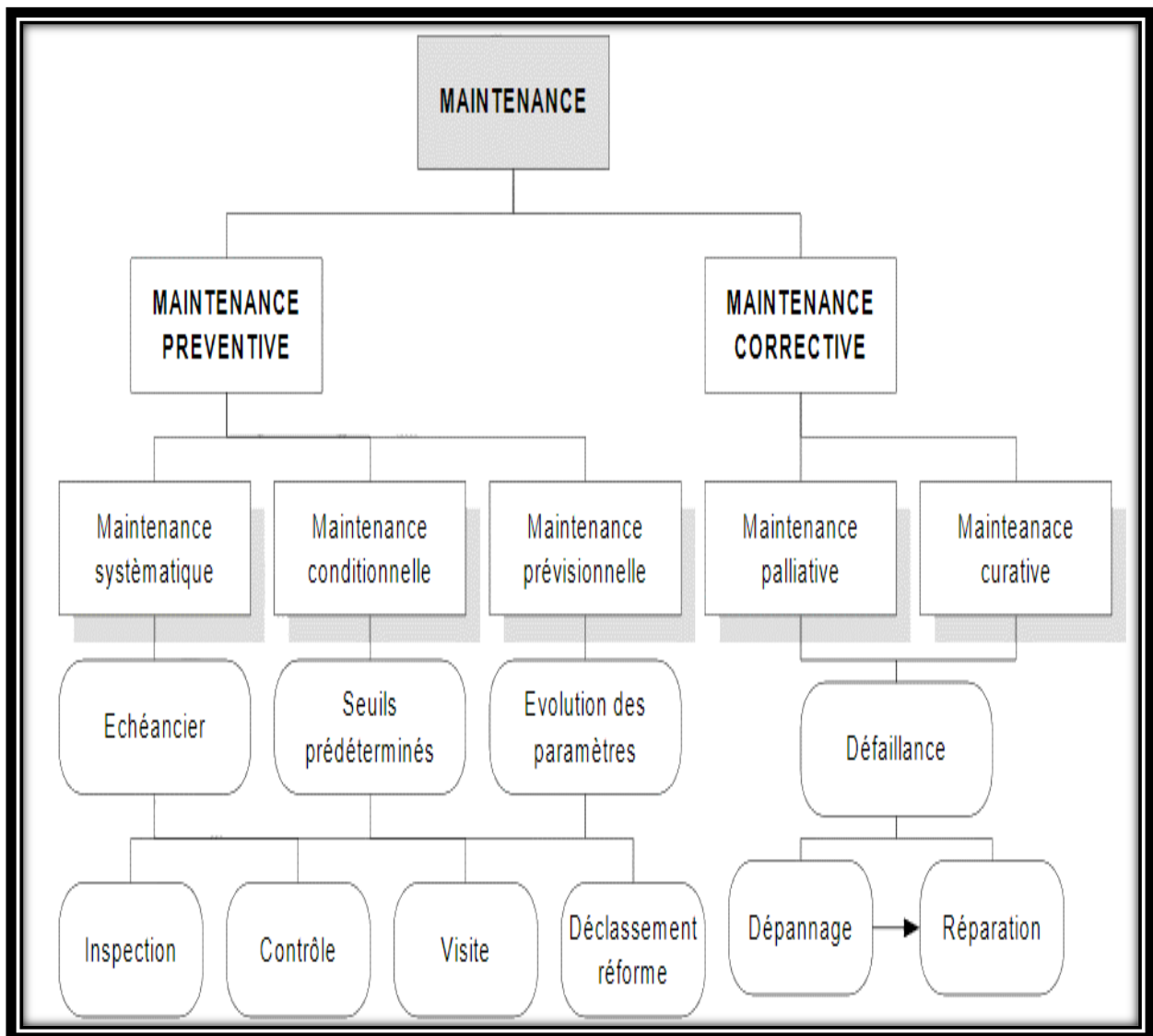


Figure II.2: les différents types de maintenance

VI -1 Maintenance préventive :

Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien. [1]

Buts de la maintenance préventive :

- Augmenter la fiabilité et donc la durée de vie efficace des équipements, en profitant des défaillances pour les expertiser et donc pour les prévenir.
- Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne.
- Améliorer l'ordonnancement des travaux.
- Faciliter la gestion de stock.
- Améliorer les conditions de travail des personnels de maintenance et de production
- Diminuer le budget de maintenance et le coût des défaillances. [4]

VI -1.1 Maintenance Systématique :

Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien. [1]

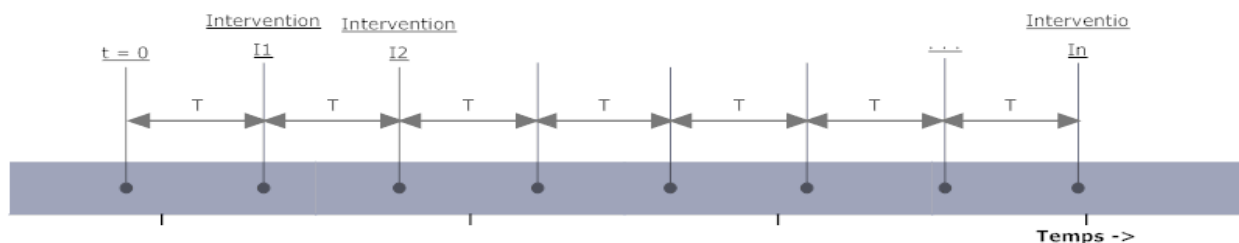


Figure II.3 : Maintenance systématique réalisée à intervalles constants.

Cette méthode nécessite de connaître :

- o Le comportement du matériel
- o Les modes de dégradation
- o Le temps moyen de bon fonctionnement entre 2 avaries

a. Les avantages :

- o Planification des arrêts d'entretien.
- o Optimisation de l'intervention (préparation).
- o Limité les risques de panne.

b. Les inconvénients :

- Coût de maintenance élevé.
- Approche statistique.
- Risque induit par une intervention parfois non nécessaire. [5]

VI -1.2 Maintenance Conditionnelle :

Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent. [1]

a. Les avantages :

- Optimisation de la durée de fonctionnement.
- Optimisation de l'intervention (préparation).
- Evaluation réelle de l'état de la machine.
- Evite les pertes de production.

b. Les inconvénients :

- Coût de l'investissement (homme / matériel).
- Astreindre à un programme suivi. [5]

VI-1.2.1 Les outils de la maintenance conditionnelle :

Les outils spécifiques sont les suivants :

-  Analyses des vibrations.
-  Analyses des huiles.
-  La thermographie par infra-rouge. [6]
 - Analyse acoustique.
 - La variation de résistance dans un circuit électrique.

VI -1.3 Maintenance prévisionnelle (prédictive) :

Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien. [1]

Il existe aussi deux autres types de maintenance prédictive :

CHAPITRE II : LA MAINTENANCE

VI-1.3. a -Maintenance prédictive On Line :

C'est un mode de maintenance prédictive ou il est conçu pour faire de la surveillance installée dans une salle de contrôle pour permettre l'arrêt automatique des machines. Cette méthode coûte cher, elle est utilisée que pour les équipements stratégiques, Figure 2.4.a

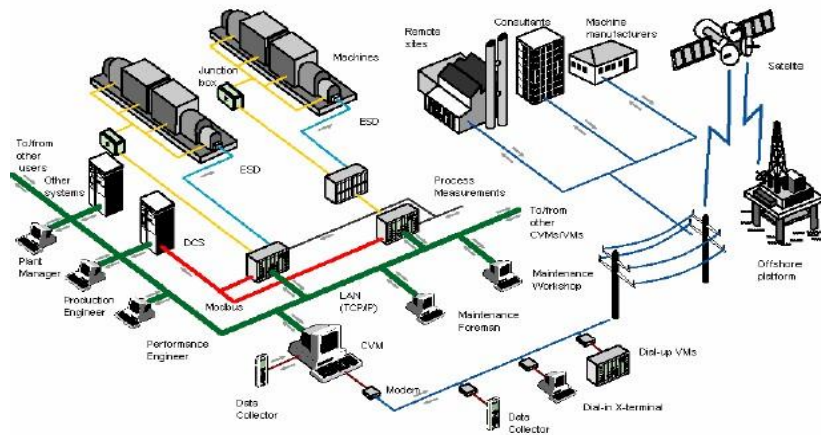


Figure II.4.a : Maintenance prédictive on line

VI-1.3. b - Maintenance prédictive Off Line :

C'est le deuxième mode de la maintenance prédictive, il est conçu pour faire des contrôles assistés par des appareils portables Figure 2.4.b

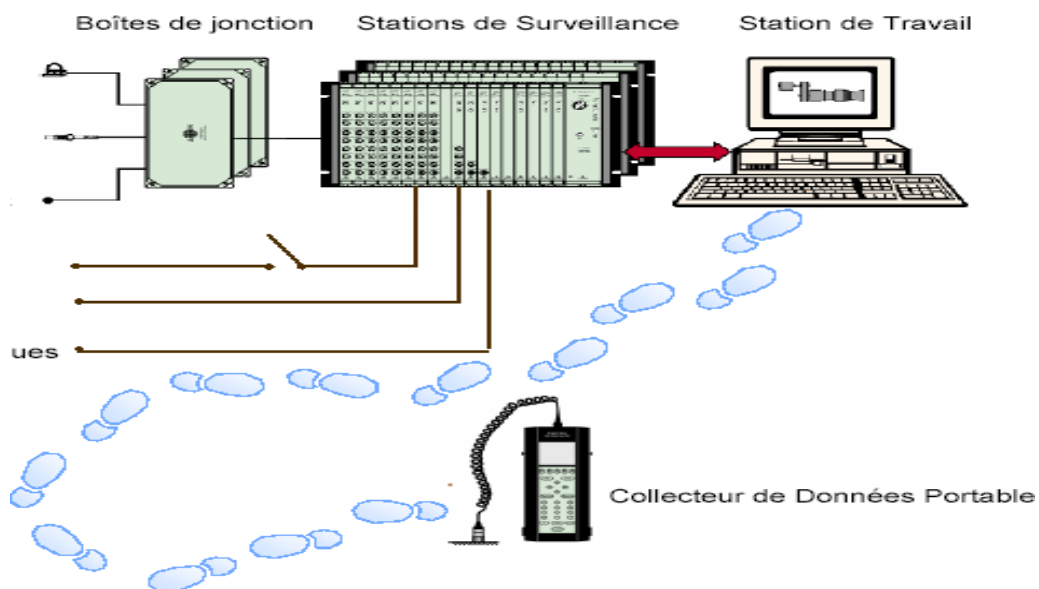


Figure II.4.b : Maintenance prédictive off line

VI- 2 Maintenance corrective :

Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.

VI -2.1 Maintenance palliative :

C'est la maintenance qui permet de remettre en état de fonctionnement un équipement de façon provisoire. Elle est effectuée dans des conditions extrêmes et imposée par l'une des situations suivantes :

- Un manque de pièces de rechange pour effectuer les travaux de réparation nécessaires.
- Des contraintes de production à satisfaire, ne permettant pas d'avoir suffisamment de temps pour intervenir.
- Un manque de compétences capables d'exécuter les travaux.

C'est une maintenance dans laquelle on tente seulement d'agir sur les effets sans se préoccuper des causes qui les produisent. Par conséquent elle ne permet pas d'éviter une répétition de certains types de pannes [1]

VI- 2.2 Maintenance curative :

Maintenance réalisée suite à un dysfonctionnement de l'équipement. Elle consiste à le remettre en état de fonctionnement en procédant à des réparations complètes.

Elle conduit à des actions de diagnostic permettant d'identifier les causes de la panne ou défaillance et de préciser les opérations de maintenance nécessaires pour la remise en état.

Ces opérations peuvent être : une rénovation ou une révision (dans certains cas). [1]

VII. Techniques de maintenance utilisées au niveau de la centrale thermique :

VII- 1 Suivi du paramètre vibratoire :

VII-1.1 Définition d'une vibration :

On désigne par « vibration » la variation plus ou moins régulière d'une grandeur quelconque dans le temps. Il existe de nombreux exemples.

Qu'ils soient artificiels aux naturels, dans lesquels on observe un tel phénomène de va et vient autour d'une position de repos. [8]

Un système mécanique est dit en vibration lorsqu'il est animé d'un mouvement de va et vient autour d'une position moyenne, dite position d'équilibre. [9]

L'étude vibratoire des machines se fait par le mesurage de l'intensité vibratoire, pour ce mesurage d'intensité vibratoire, il faut connaître les paramètres suivants :

VII-1.2 Paramètres vibratoires :

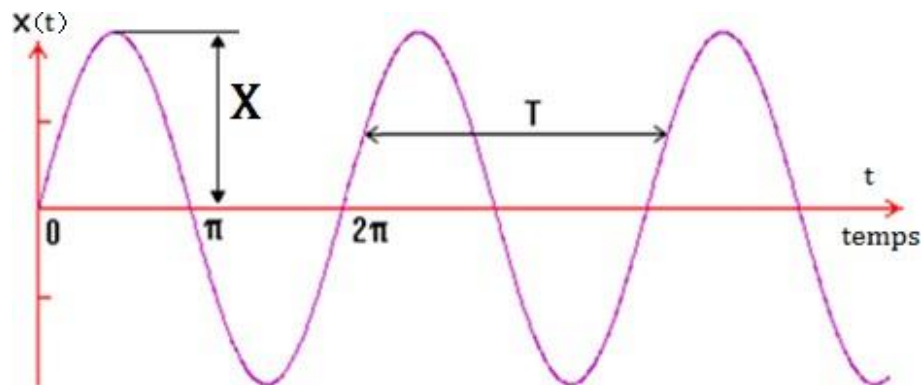


Figure II.5 : Grandeurs vibratoires

VII-1.2.1. Variable $x(t)$:

C'est la valeur instantanée de la grandeur considérée

VII-1.2.2. Amplitude (X) :

C'est la valeur de ces écarts par rapport au point d'équilibre d'une onde vibratoire. Elle est la plus grande valeur que la variable $x(t)$ puisse prendre.

VII-1.2.3. Période :

C'est l'intervalle de temps au bout duquel la variable $x(t)$ reprend la même valeur dans la même direction.

VII-1.2.4. La fréquence :

Est le nombre de fois qu'un phénomène se répète en un temps donné. Lorsque l'unité de temps choisie est la seconde, la fréquence s'exprime en Hz.

Tout simplement c'est le nombre de période par unité de temps.

1 Hz= 1 cycle/seconde

$$f=1/T \quad [\text{Hz}]$$

VII-1.2.5. Pulsation :

Appelée aussi vitesse angulaire, et se représente par la formule suivante :

$$\omega=2\pi f \quad [\text{Rd/s}]$$

VII-1.2.6. Résonance :

On dit qu'il y a une résonance lorsque la fréquence propre d'un système (palier, capteur, etc..) entre en concordance avec la fréquence d'une force d'excitation et l'amplitude augmente considérablement.

VII-1.2.7. Phase φ :

La phase est représentative du temps qui s'écoule entre une référence que l'on se donne et l'instant que l'on considère.

La notion de phase n'a de signification que pour une vibration harmonique

$$a \text{ } t = 0 \quad (\varphi = 0 \text{ rad})$$

$$a \text{ } t = T \quad (\varphi = 2\pi \text{ rad}) \text{ ou } 360^\circ$$

VII-1.3 Modes de détection

En mesure vibratoire, on utilise couramment trois modes de détection figure 2.6

- Valeur efficace
- Valeur crête
- Valeur crête à crête

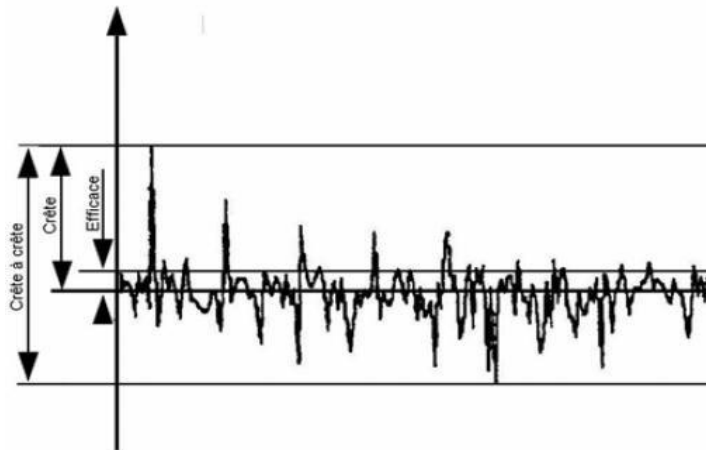


Figure II.6 : Modes de détection usuels

VII-1.3.1 Valeur efficace X_{eff} :

Pour une vibration périodique, la valeur efficace est la moyenne quadratique des valeurs efficaces de chacune des vibrations harmoniques :

$$X_{\text{eff}} = \sqrt{1/t \int_0^T X^2(t) dt}$$

On choisira de faire une mesure efficace lorsque l'on cherchera apprécier l'énergie mise en jeu dans la machine (effet de la moyenne quadratique).

Dans la littérature, X_{eff} peut également être notée X_{rms} (rms=rootmeansquare)

VII-1.3.2 Valeur crête X_c :

La valeur crête d'une vibration est la valeur maximale prise par la variable $x(t)$ dans l'un des sens positif ou négatif.

Dans la littérature, X_c peut également être notée X_p (peak)

VII-1.3.3 Valeur crête à crête :

La valeur crête d'une vibration est la somme des deux valeurs crête pour les sens positif et négatif.

On choisira de faire des mesures crête ou crête à crête lorsque l'on cherchera apprécier les contraintes maximales subies par la machine.

Dans la littérature, X_{cc} peut également être notée X_{pp} (peak to peak).

VII-1.4 Grandeurs de mesure :

Une vibration mécanique peut être mesurée selon les trois grandeurs suivantes :

- Déplacement
- Vitesse
- Accélération

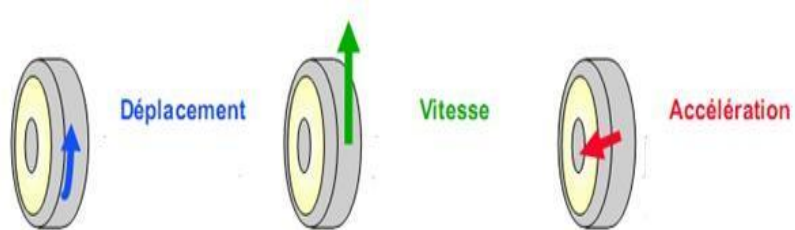


Figure II.7 : Grandeurs de mesure

VII-1.4.1 Déplacement vibratoire $x(t)$:

On décrit le déplacement $x(t)$ d'une vibration par l'équation suivante :

$$f(x) = X \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

VII-1.4.2 Vitesse vibratoire $v(t)$:

La vitesse $v(t)$ de cette vibration s'obtient par dérivation de l'équation suivante :

$$v(t) = \frac{d(x)}{dt} = X \cdot \omega \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

$$v(t) = X \cdot \omega \cdot \sin(\omega t + \varphi + \pi/2)$$

$$v(t) = V \cdot \sin(\omega t + \varphi + \pi/2)$$

VII-1.4.3 Accélération $a(t)$:

L'accélération $a(t)$ de cette vibration s'obtient par dérivation de l'équation suivante :

$$a(t) = \frac{d(v)}{dt} = V \cdot \omega \cdot \cos(\omega t + \varphi + \pi/2)$$

$$a(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi + \pi/2)$$

$$a(t) = -A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

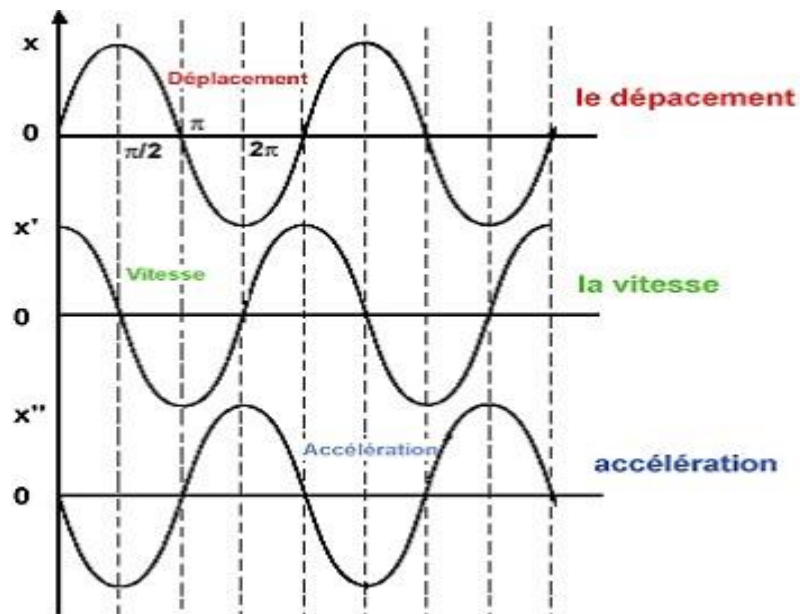


Figure II.8 : Présentation des grandeurs de mesure

VII-1.5 Méthodes de suivi des vibrations

Il existe deux méthodes pour le suivi vibratoire des machines tournantes :

VII--1.5.1 Méthodes du niveau global :

Elle consiste à prendre des mesures périodiques de la valeur efficace de vibrations et de les comparer au seuil de jugement préconisé par les normes.

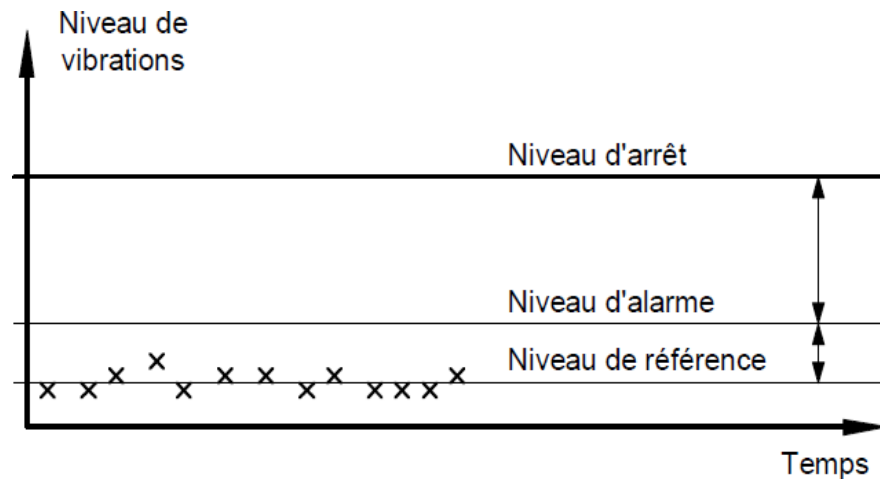


Figure II.9 : détermination des seuils par la méthode du niveau global

VII-5.1.1 vibration des paliers :

Cette méthode consiste à contrôler le niveau de vibrations des paliers, c'est à dire effectuer des mesures de vibrations, axiales et radiales (horizontale et verticale) de la valeur efficace de vitesse de vibration V_{eff} .

Une fois la vitesse efficace est déterminée, le jugement se fait par comparaison avec les valeurs limites indiquées par les normes AFNOR E90.300, ISO.2372.

Le passage des billes, sur un défaut se traduit par des chocs, qui sont transmis à la coquille du roulement, donc il existe une vibration. Cette vibration est détectée par un capteur relié à un appareil dit "vibroport".

Les vibrations sont traduites dans le vibroport par des valeurs exprimées en BCU (Bearing Condition Unit). Il faut faire des mesures dans des points différents, pour permettre de bien diagnostiquer.

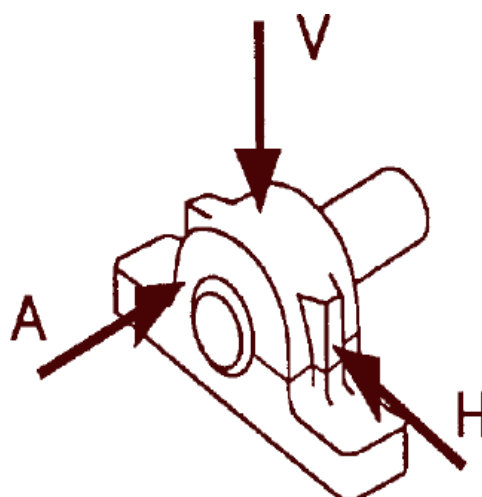


Figure II.10 : Position de mesure

Il existe deux méthodes pour l'exploitation des mesures :

VII-1.5.1.2. a. Méthodes des tendances :

C'est la comparaison dans le temps des mesures sur une seule machine, dans les mêmes conditions.

Des mesures à intervalles de temps réguliers sur une machine intact au début de la durée de vie de la machine, si possible, permettent de déterminer le niveau de référence d'un roulement. Dès que l'on mesure une variation significative du BEARCON, on peut s'attendre à une détérioration imminente du roulement.

VII-1.5.1.2. b. Méthode de comparaison :

C'est la comparaison un temps des mesures faites dans les mêmes conditions sur un groupe de machines identiques.

Pour la méthode de comparaison, on fait des mesures sur un groupe des machines identiques, si les mesures faites sur certaines machines divergent de la valeur moyenne, elles peuvent être significatives d'un défaut sur le roulement.

La méthode de comparaison permet, par opposition à la méthode des tendances, d'obtenir rapidement des valeurs de référence fiables. On peut ainsi rendre plus sûr la surveillance de la machine dès le début.

VII-1.5.2. Méthode de l'analyse en fréquences :

La mesure de la valeur permet de savoir si le comportement vibratoire d'une machine dépasse les limites admissibles, mais il est difficile de détecter les causes et les excitateurs de vibrations. Ces informations sont obtenues par l'analyse fréquentielle.

Donc le rôle de l'analyse en fréquence est de déterminer par la mesure des amplitudes vibratoires unitaires et les fréquences angulaires associées, dont les résultats sont représentés dans un spectre.

Pour l'interprétation des résultats, le tableau qui suit, donne un aperçu sur les causes possibles de vibrations.

L'étape qui suit l'analyse est la neutralisation de la vibration, c'est à dire l'élimination ou la réduction de la composante vibratoire en cause. A ce stade, il faut d'abord s'intéresser aux excitateurs qui produisent les amplitudes vibratoires les plus élevées et qui influent donc de façon significative sur la stabilité de la machine.

Les composantes les plus petites peuvent souvent être négligées, d'autant qu'à l'expérience, il est prouvé que leur élimination engendre un surcoût important.

La réduction de la vibration est nécessaire jusqu'à ce que la sévérité vibratoire de la machine se situe dans les limites admissibles.

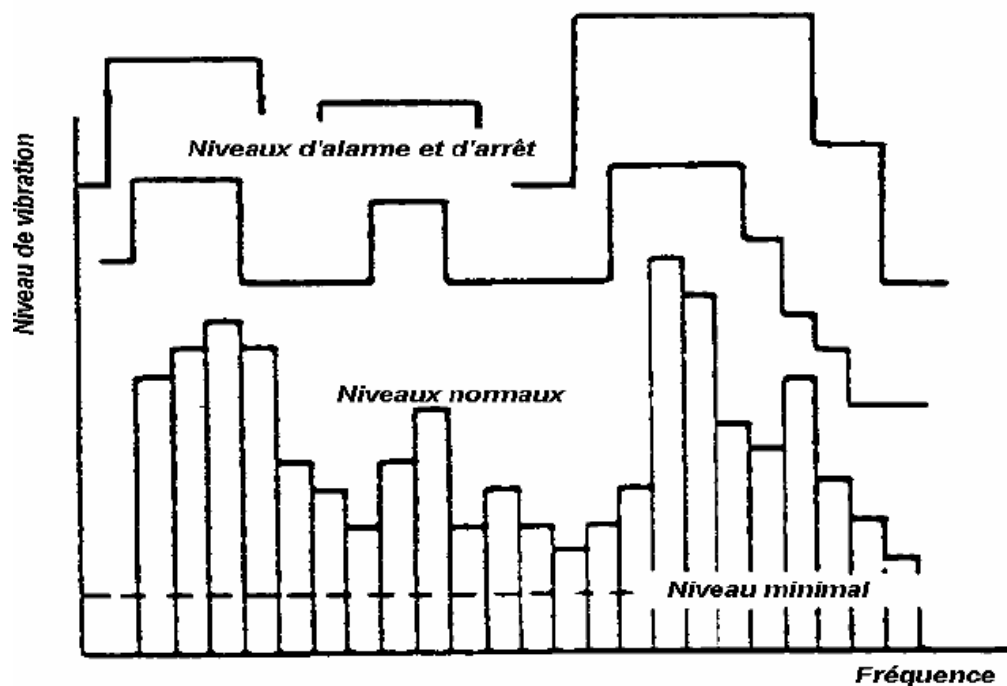


Figure II.11 : détermination des seuils en analyse spectrale

Il existe deux méthodes de mesures requises pour la surveillance de l'état de la machine :

VII-1.5.2. a Surveillance permanente :

Cette méthode consiste à installer sur des machines stratégiques des capteurs de vibrations. Ces capteurs sont reliés à un système asservi de sécurité, en cas de variation brusque, l'alimentation de la machine sera déclenchée automatiquement.

VII-1.5.2. b Surveillance périodique (utilisation du portable "vibroport") :

La méthode de surveillance permanente est plus efficace, mais elle coûte très cher, donc pour les machines non stratégiques on utilise la surveillance périodique.

Cette surveillance consiste à réaliser des mesures dans des points différents, en utilisant le vibroport. Cet appareil permet l'instauration d'un suivi économique et très efficace, et élaborer une banque de données des mesures de vibrations.

La transmission des vibrations des parties tournantes d'une machine s'effectue à travers les paliers (paliers lisses ou paliers à roulement), donc les meilleurs points de mesurage sont ces paliers.

VII-2 Suivi du paramètre température :

Il est très important de suivre les paramètres de température d'un équipement car ce suivi permet de détecter certains problèmes. Les principales applications de ce paramètre sont le suivi de :

- * la température de l'huile des paliers.
- * la température de la coquille des paliers.
- * la température des bobinages des machines électriques.

VII-3 La thermographie :

L'analyse thermographique est une mesure thermique, permet de connaître la répartition spatiale et l'évolution temporelle des températures sur un équipement. Elle permet de détecter tout échauffement anormal et principal sur les parties actives (sous tension) des équipements électriques

VII-4 L'analyse des huiles :

L'analyse des huiles est un des plus importants paramètres de la maintenance prédictive. Elle détecte les traces de matériaux dans l'huile, alors on peut prendre connaissance des parties usées de l'équipement. L'analyse des huiles peut éviter 70% des pannes du système de lubrification qui, pour la plupart du temps sont dues à la pollution des lubrifiants.

VII-5 GMAO (Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur) :

Un système informatique de management de la maintenance est un progiciel organisé autour d'une base de données permettant de programmer et de suivre sous les trois aspects techniques, budgétaire et organisationnel, toutes les activités d'un service de maintenance et les objets de cette activité (services, lignes, ateliers, machines, équipements, sous-ensembles, pièces, etc.) à partir de terminaux disséminés dans les bureaux techniques, ateliers, magasins et bureaux d'approvisionnement. [10]

VII-5.1 Le logiciel de GMAO

Le logiciel GMAO est un progiciel spécialisé dans la gestion de maintenance assistée par ordinateur. Il a été conçu autour de la problématique de management de la maintenance dans ses aspects stratégiques, financiers et/ou opérationnels.

Les logiciels de GMAO les plus complets apportent des fonctionnalités de gestion connexe à celle de la maintenance : gestion de service après ventes, management QHSE ou bien encore gestion des achats et stocks magasin.

Un logiciel de GMAO permet de :

- Gérer la maintenance curative
- Planifier la maintenance préventive
- Suivre les stocks et gérer les achats de pièces, consommables, etc.
- Gérer le QHSE, suivre la conformité des équipements
- Manager les ressources humaines (disponibilité, habilitations, formations...)

- Analyser les coûts, suivre les budgets
- Générer les rapports et assurer la traçabilité de la maintenance

VIII. Conclusion :

Un meilleur préventif implique moins d'intervention corrective, donc moins d'arrêt intempestif des lignes de production. Cependant, il suppose une organisation adéquate, une planification précise et la connaissance des défaillances possibles des installations. Chaque intervenant doit avoir comme préoccupation majeure.

Les opérateurs de production sont impliqués dans la maintenance tandis que les agents de maintenances, assurent de plus en plus de tâches de maintenance préventive tout en effectuant des réparations efficace et fiable. Le travail des techniciens d'intervention et de méthode vise à l'amélioration constante de la maintenance par la mise en place de méthodes élaborées en petit comité. La formation a également un rôle à jouer.

L'outil informatique s'est imposé dans cette démarche d'amélioration. La sous-traitance implique de nombreuses contraintes et son coût économique exact doit être déterminé.

La maintenance n'est pas un processus mineur de l'entreprise, mais un processus essentiel. De nombreux dysfonctionnements observés dans d'autres fonctions prennent leur origine dans ce processus.

Chapitre III

Notions sur la Thermographie Infrarouge

I. Introduction :

Aussi loin que l'on remonte dans l'histoire pour protéger sa vie et ses biens, l'homme tente toujours d'opposer un moyen de protection et de détection d'une anomalie qui peut intervenir dans une installation, ou d'un procédé de fabrication, dans la plupart des cas ces moyens sont aménagés de façon à détecter et éliminer l'anomalie puisqu'il n'a pas le pouvoir de détériorer son système, ou équipement. Il est à noter que les méthodes appliquées pour faire face à une anomalie qui détériore une installation ne sont pas les mêmes aujourd'hui surtout quand il s'agit d'objet ou de site exposés aux dangers. (Par exemple la central électrique)

Notre projet consiste à étudier une nouvelle méthode de détection des anomalies dite la **thermographie infrarouge** et les évités avant qu'elles interviennent ce qui la place dans le domaine de maintenance prédictive, et cette nouvelle technique est mis en œuvre pour protéger une centrale électrique, ce dernier est exposé aux risques des défauts qui peuvent causer des dangers (incendie, détérioration des instruments par des défauts thermique etc.).

II. Brefs rappels historique :

L'utilisation de la thermographie infrarouge en mécanique est assez récente, en 1800, l'astronome William Herschel est le premier à découvrir que la lumière n'est pas toujours visible à l'œil nu. Au cours d'une expérience d'optique, Herschel fait passer de la lumière solaire blanche à travers un prisme de façon à la décomposer en rayons lumineux de différentes couleurs. À l'aide d'un thermomètre, il mesure ensuite la température de chacune des couleurs produites et constate que celle-ci augmente du bleu vers le rouge.

Poussant plus loin son expérience, l'astronome a alors l'idée de placer son thermomètre juste après les rayons de couleur rouge, là où aucune lumière n'est visible. À sa grande surprise, il mesure alors la température la plus élevée. Il vient ainsi de prouver qu'il existe de la lumière qui ne peut être vue par les yeux juste au-delà de la lumière rouge : c'est la lumière infrarouge. En 1880, le chimiste William de Wiveleslie Abney est le premier à prendre une photographie infrarouge. Sachant que l'atmosphère terrestre absorbe une partie de la lumière infrarouge provenant de l'espace, certains astronomes (amateurs et professionnels) commencent, dans les années 1930, à collecter des données en vol. En 1942, la compagnie Eastman Kodak brevète la première pellicule sensible à l'infrarouge produisant des photos en « fausses couleurs ». La première caméra infrarouge pour usage industriel est, quant à elle, mise en marché en 1968 par la compagnie suédoise AGA ; on l'utilise pour trouver des défauts dans les lignes électriques.

Aujourd'hui, les évolutions technologiques des caméras, permettent de réaliser des clichés infrarouges haute définition, grâce aux caméras infrarouge d'une extrême définition et sensibilité. [11]

III. Notions de base en thermodynamique :

Les notions de température et de chaleur restent souvent mal comprises et sont utilisées à tort comme des synonymes. Nous nous efforcerons de définir de manière précise et univoque ces deux termes afin d'éviter toute confusion.

III-1 Notions de température, chaleur :

Afin de comprendre la température et la chaleur, nous devons regarder les molécules qui sont les blocs fondamentaux dont toute matière est constituée. Ces molécules d'une substance sont toujours plus ou moins en mouvement (aléatoire).

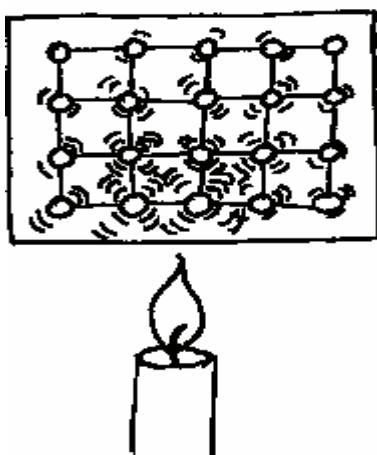


Figure III.1 : Plus la température des molécules est élevée, plus celles -ci se déplacent vite

Les molécules chaudes se déplacent plus rapidement que les molécules froides. Pour une substance donnée, la vitesse aléatoire moyenne des molécules correspond au niveau de la température.

La substance contient également une certaine quantité de chaleur.

III-1-1 Chaleur :

La chaleur est l'énergie associée à la quantité de molécules et d'atomes qui constituent la matière, et qui sont affectés d'une certaine vitesse moyenne aléatoire.

Elle est créée par la conversion d'autres formes d'énergie, comme par exemple la combustion d'un carburant, le mouvement ou la friction.

Lorsqu'une bûche se consume, une réaction chimique se produit impliquant la matière combustible de la bûche et l'oxygène contenu dans l'air.

Ce processus libère de la chaleur. En fait, la plupart des procédés de fabrication industriels et ceux de la vie courante impliquant une conversion énergétique produisent de la chaleur.

Un objet peut contenir de la chaleur ou de l'énergie thermique.

La chaleur et l'énergie sont par exemple mesurées en :

- joule (J)
- watt seconde (Ws) ou kilowatt heure (kWh)
- newton-mètre (Nm)

III-1-2 Température :

La température est associée à la vitesse moyenne aléatoire des molécules et des atomes d'une matière.

La température permet de définir le milieu de l'objet. Contrairement à l'énergie, qui elle est une valeur absolue, la température est une valeur relative. Elle nous indique comment un objet interagit sur un autre. Nous devons considérer la température comme un niveau sur une échelle, alors que la chaleur peut être quantifiée. Comparons deux piles de pommes et utilisons la température pour décrire la hauteur des piles et la chaleur pour décrire le nombre de pommes dans la pile. Le fait que la pile soit large ne veut pas forcément dire qu'elle est grande.

La température n'est pas une forme d'énergie. Si c'était le cas, pourquoi utiliserions-nous différentes unités de mesure ? La température et l'énergie sont liées, mais ne représentent pas la même chose. La température d'un objet variera selon que l'énergie thermique de cet objet augmente ou diminue ; elle est donc la conséquence de la variation de l'énergie. Mais la température n'indique pas combien d'énergie est contenue dans un objet, elle révèle uniquement comment elle est stockée !

Et plus la pile est haute, plus la probabilité qu'elle s'écroule est grande.

La température d'un objet nous renseigne uniquement sur sa propension à libérer de la chaleur vers d'autres objets, et non sur la quantité d'énergie qu'il contient. Une tasse d'eau bouillante contient moins d'énergie qu'une baignoire remplie d'eau tiède, mais si elle est versée dans cette baignoire, l'eau de la tasse fournira de l'énergie à la baignoire. [12]

III-1-2.1 Unités de mesure de la température :

Il existe plusieurs unités de mesure de la température. Dans ce manuel, nous en utiliserons deux, une échelle absolue et une échelle relative.

Le zéro absolu :

Si nous partons du principe que la température est liée au mouvement des molécules, nous pouvons imaginer un arrêt total de leur mouvement, c'est-à-dire une immobilité. Nous sommes d'accord pour dire que lorsque cette phase est atteinte, le mouvement étant nul, il ne peut pas être encore diminué ?

Le zéro absolu est donc le point théorique auquel les molécules ne sont plus du tout en mouvement. Nous disons théorique car cette température n'apparaît pas naturellement, même pas dans les plus sombres recoins de l'espace interstellaire, où nous pouvons trouver les points naturels les plus froids de l'univers (2,7 K).

En partant du principe que la relation entre la température et la pression des gaz est linéaire, il a été prouvé, par extrapolation, qu'il existait un point auquel les molécules ne bougent plus. Ce point peut même être calculé, bien qu'il ne puisse être atteint.

III-1-2.2 Les échelles de température :

III-1-2.2.a. Les échelles de température absolue :

Le zéro absolu est le point logique de départ pour les échelles de température absolue, et c'est la manière dont elles sont définies : elles commencent au zéro absolu.

L'échelle de Kelvin est la norme légale mondiale, l'unité de mesure est le kelvin (K). Il existe d'autres échelles de température absolue, mais nous utiliserons celle de Kelvin.

III-1-2.2.b. Les échelles de température relative :

Strictement parlant, si nous créons une échelle de mesure, il ne serait pas judicieux de placer le point zéro autre part qu'à l'un des deux bouts.

Néanmoins, c'est exactement ce que nous faisons dans le cas des échelles de température relative.

Sur ces dernières, un autre point zéro que le zéro absolu est utilisé, par exemple le point de fusion de l'eau ou de l'eau salée. Le point de référence doit être choisi de manière à pouvoir être facilement reproductible et ne pas être affecté par des facteurs externes, tels que la pression atmosphérique ou l'altitude. La raison pour laquelle un point de référence particulier a été choisi peut-être liée à la science exercée par l'inventeur de l'échelle.

La plus commune des échelles de température relative est l'échelle de Celsius. L'unité de mesure est le degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

Remarque :

Dans le système de mesure anglo-saxon, l'échelle de température relative utilisée s'exprime en degrés Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) ; avec ($^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} + 32$).

Les échelles de température relative sont adaptées à une utilisation quotidienne et acceptées par usage ; s'il fallait exprimer la température d'une pièce en kelvin, nous devrions dire 293 au lieu de 20, ce qui paraîtrait certainement un peu étrange.

III-1-2.2.C- Comparaison des échelles de température :

Les échelles Celsius et Kelvin ont différents points zéro, mais la même taille d'incrément, un degré Celsius est identique à un kelvin ($1^{\circ}\text{C} = 1\text{K}$).

CHAPITRE III : NOTION SUR LA TERMOGRAPHIE

(Par opposition à l'échelle de Fahrenheit où la taille des incréments est différente de celle de Celsius et Kelvin).

La conversion de température entre Kelvins et degrés Celsius, et inversement, est très simple. Il suffit d'ajouter ou de soustraire 273, conformément à l'illustration ci-après.

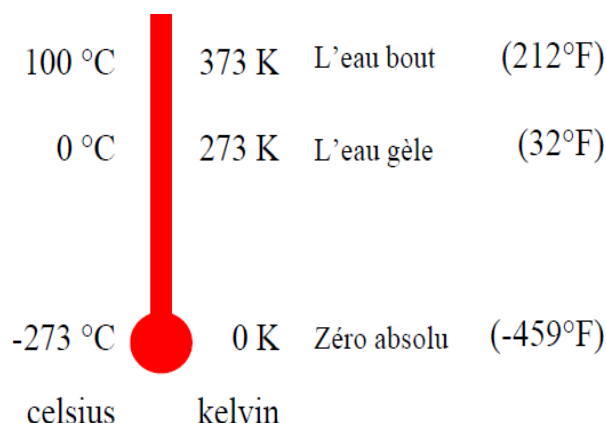


Figure III.2 : Conversion de températures en Celsius et Kelvin.

III-1-3 Température et chaleur :

Il est parfois difficile de différencier les notions de température et de chaleur. Nous considérons parfois que ces deux termes désignent la même chose, car ils sont très proches l'un de l'autre. Mais il existe une différence fondamentale, que nous allons essayer d'illustrer ici.

Prenons deux objets à 100 °C et contenant 100 joules ; mélangez-les, la température n'aura pas doublé. En revanche, le résultat contiendra deux fois plus d'énergie que s'ils étaient séparés.

La température est donc un type de mesure relative qui permet de comparer les objets les uns aux autres. La chaleur est une propriété quantifiable pouvant être mesurée en termes absolus. [12]

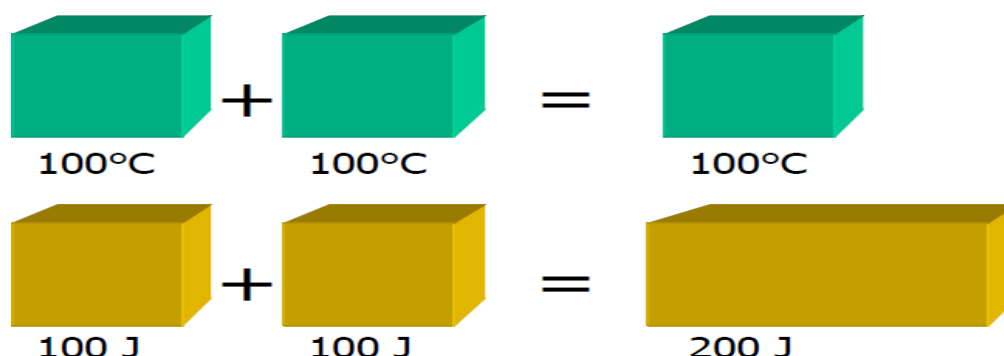


Figure III.3 : La température est relative mais pas la chaleur

III-2 Modes de transferts de chaleur :

La chaleur peut être transférée de plusieurs façons et nous verrons ultérieurement les différents modes de transfert.

- Conduction
- Convection
- Rayonnement

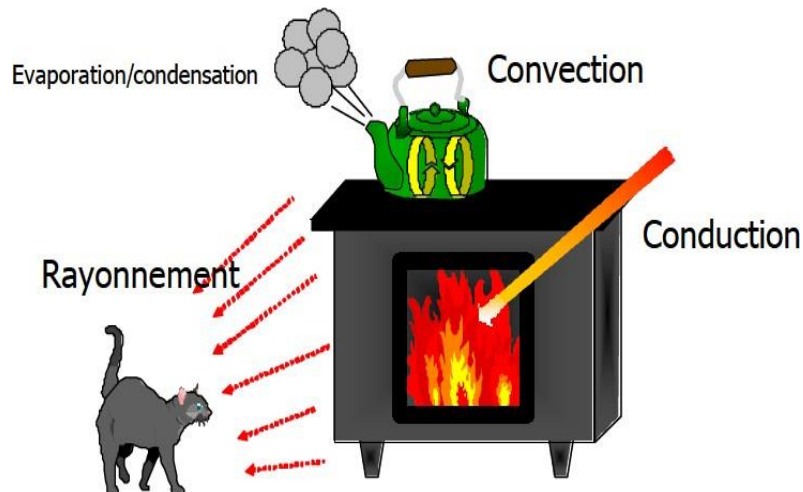


Figure III.4 : Modes de transferts de chaleur.

III-2-1 Conduction :

III-2-1.1 Définition :

La conduction est le transfert thermique direct de molécule à molécule, par suite d'un contact.

La chaleur et la température sont liées au mouvement moléculaire. Lorsque deux molécules sont proches au point de se toucher, celle ayant la température la plus élevée aura un mouvement moléculaire plus important. C'est pourquoi, elle transférera une partie de son énergie à la molécule plus lente. Ce processus peut aboutir à une réaction en chaîne.

Les molécules qui sont très petites doivent se toucher pour qu'il y ait conduction. Par exemple, si vous utilisez une poêle sur une plaque de cuisson et que le fond de la poêle n'est pas entièrement plat, la plaque ne sera pas en contact direct. L'air entre la plaque et la poêle transférera néanmoins la chaleur, mais beaucoup moins efficacement que si les deux objets étaient en contact direct.

Le transfert peut avoir lieu tant entre différents objets qui se touchent qu'au sein d'un objet. La forme de l'objet ne joue aucun rôle. La conduction peut avoir lieu dans des solides, des liquides et des gaz.

Quelques exceptions mises à part, c'est le seul mode de transfert de chaleur dans un solide ! Il existe des solides qui transmettent le rayonnement thermique, mais ces matériaux sont rares et très chers ! La lentille de la caméra infrarouge, par exemple.

Le fait que les solides soient fortement affectés par les transferts de chaleur par conduction est un phénomène que les thermo-graphistes doivent bien comprendre. La plupart des objets observés avec la caméra sont des solides ! Les formes typiques des répartitions de température en surface des objets ont souvent pour origine un transfert de chaleur par conduction. [13]

III-2-1.2 Formule de transfert de chaleur par conduction :

Si l'on devait exprimer cette relation avec une formule, nous obtiendrions ceci :

$$\Phi = \frac{KA(T_1 - T_2)}{L} \quad \text{(III.1)}$$

Le résultat d'un calcul utilisant cette formule est Φ . Il est exprimé en watts (W) et mesure la puissance calorifique, ou les quatre facteurs intervenant dans le transfert sont :

- K : la conductivité thermique de la matière, [W/m.K]
- A : la surface d'échange concernée, [m²]
- T₁ – T₂ : la différence de température, [K]
- L : la longueur du chemin de conduction, [m]

Φ n'exprime pas une énergie. La formule de conduction nous donne la puissance calorifique ou le flux thermique entre deux points ou surfaces présentant une différence de température. Pour obtenir de l'énergie ou un travail, vous devez multiplier la puissance par le temps. L'unité sera en joule (J) qui correspond à watt-seconde (Ws).

Pour que le flux thermique soit ininterrompu, l'apport d'énergie doit être constant. Sinon, la température commencera à baisser.

III-2-1. 3 Conductivité thermique :

La conductivité thermique, k, dépend de la matière. Elle s'exprime en watt par mètre et par kelvin (W/m.K). Elle est différente d'une matière à l'autre. Plus la conductivité d'une matière est élevée, plus elle conduit l'énergie. On emploie parfois le terme de "résistance thermique". Il s'agit du contraire de la conductivité, ou 1/k. Un bon matériau d'isolation aura une conductivité faible mais en revanche une haute résistance thermique.

CHAPITRE III : NOTION SUR LA TERMOGRAPHIE

D'après le tableau dans (l'annexe3), on peut constater que la conductivité varie d'un matériau à l'autre.

Le cuivre est 80 000 fois plus conducteur que le xénon !

Même si tous les métaux ont une conductivité élevée, elle varie d'un métal à l'autre. Le cuivre est 8 fois plus conducteur que l'acier, par exemple.

L'eau a une faible conductivité, ce qui peut étonner, car on pense en général que l'eau possède la faculté de rafraîchir. Mais comme nous le verrons par la suite, d'autres facteurs interviennent.

Les gaz ont une faible conductivité. Ils constituent l'exception, car leur conductivité varie en fonction de la pression et de la pureté. C'est pourquoi, il est difficile de trouver des valeurs de comparaison pour les gaz.

III-2-2 Convection :

La convection est un mode de transfert thermique dans lequel la chaleur est véhiculée grâce à un milieu fluide annexe, lui-même mis en mouvement soit par la gravité soit par une autre force.

La convection se base sur le transport de masse d'un fluide, liquide ou gaz. Elle a lieu dans le fluide. Pour que le transfert de chaleur ait lieu entre un fluide et un solide ou entre deux fluides qui ne se mélangent pas, le mode de transfert est nécessairement la conduction. Directement au bord d'un solide, il y a toujours une fine couche de fluide stationnaire appelée la couche limite où le transfert par conduction s'effectue.

Un thermo-graphiste doit comprendre le transfert de chaleur par convection, car bien que nous analysons généralement des solides, les images que nous observons sont également influencées par la convection.

La plupart des gaz étant invisibles en infrarouge, les rares fois où vous pouvez voir le flux thermique de convection de manière directe, c'est lors de l'observation de surfaces liquides. Dans la plupart des cas, les images de convection seront visibles de manière indirecte sur des surfaces solides.

Une simple expérience pour illustrer la convection consiste à regarder un seau d'eau chaude.

Un fluide est affecté en son sein de différences de température. Là où il est plus chaud, les molécules sont plus éloignées les unes des autres. Cet état est dû à un mouvement moléculaire plus important, qui renvoie les autres molécules plus loin. En conséquence, si les molécules sont plus espacées, le volume chaud du fluide sera d'une densité inférieure. A l'inverse, les parties les plus froides seront d'une densité plus élevée. Les différences de densité au sein du fluide induisent une différence au niveau de l'intensité de la force de gravité. Les parties les plus chaudes subissent une moindre influence, et remontent alors vers la surface. C'est l'inverse pour les zones froides.

Une circulation naturelle se crée au sein du fluide. Ce processus déplace de la chaleur d'un point à un autre ; on obtient alors un flux thermique. Si nous ouvrons la fenêtre d'une maison chauffée lors d'une journée froide, l'air chaud sort et l'air froid rentre. L'air chaud et l'air froid se mélangent, la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur s'atténue. Le flux thermique s'est produit. La chaleur circule du chaud vers le froid. Le terme de "réchauffement" est erroné. Les fluides chauds montent, mais la chaleur circule toujours du plus chaud au plus froid. [13]

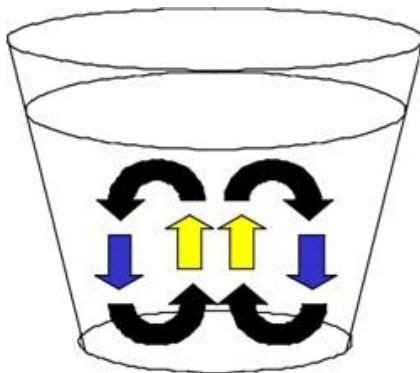


Figure III.5 : Circulation d'un fluide. La couleur sombre indique un fluide froid

Le processus décrit ci-dessus est nommée convection naturelle, car seule la force de gravité est impliquée dans la circulation. Dans le cas d'une convection forcée, le fluide est soumis à une autre force extérieure, par exemple, un mélangeur, une pompe, ou encore le vent.

III-2 -3 Transfert de chaleur par rayonnement :

Le transfert de chaleur par émission et absorption de rayonnement électromagnétique est appelé transfert de chaleur par rayonnement.

La molécule jouait un rôle important. Lors d'un transfert de chaleur par conduction, les molécules entrent en collision et échangent leur énergie cinétique. Lors d'un transfert de chaleur par convection les molécules circulent librement en fonction de la force de gravité et de forces externes. Le transfert de chaleur par rayonnement thermique est complètement différent, car il ne nécessite aucun support matériel. En fait, le rayonnement thermique se propage mieux quand il n'y a pas de molécules, c'est à-dire dans le vide.

Le rayonnement thermique est un rayonnement électromagnétique.

Les objets émettent un rayonnement thermique en fonction de leur température. Comme ils possèdent une température supérieure à zéro, ils émettent donc tous un rayonnement thermique. Plus la température est élevée, plus le rayonnement thermique émis est intense. Certaines matières émettent plus que d'autres.

Le rayonnement thermique émis dépend de la température de l'objet et des caractéristiques de la matière. Le rayonnement thermique traversera facilement un gaz, mais difficilement, ou pas du tout, la plupart des liquides et des solides.

CHAPITRE III : NOTION SUR LA TERMOGRAPHIE

Le transfert de chaleur par rayonnement a lieu par le biais de l'émission et l'absorption de rayonnement thermique. Tous les objets émettent et absorbent simultanément. Le transfert net de chaleur est la différence entre ce qu'un objet absorbe et émet. Nous abordons dans ce titre le comportement des rayonnements et des phénomènes d'échange. [14]

Nous emploierons une certaine terminologie, et afin d'éviter toute confusion voici au préalable quelques définitions :

III-2 -3-1 Ondes :

Est une déformation, ébranlement ou vibration dont l'élongation est une fonction périodique des variables de temps et d'espace. Avant toute chose, précisons que si certaines ondes ont besoin d'un support matériel pour matériel pour se propager dans l'espace (vibration, son, etc.), ce n'est pas le cas des ondes électromagnétiques. Les différentes longueurs d'onde visibles sont perçues par l'œil humain comme couleurs différentes. Les limites de notre bande spectrale de sensibilité sont approximativement $0.4 \mu\text{m}$ (violet) et $0.7 \mu\text{m}$ (rouge). Les autres couleurs se trouvent entre les deux, réparties selon ce qui est appelé l'arc en ciel. [12]

Les bandes de longueur d'onde que nous utilisons couramment possèdent les dénominations suivantes :

- Rayons Gamma
- Rayons X
- Rayons ultraviolets
- Visible
- Infrarouge
- Micro-onde
- Onde radio

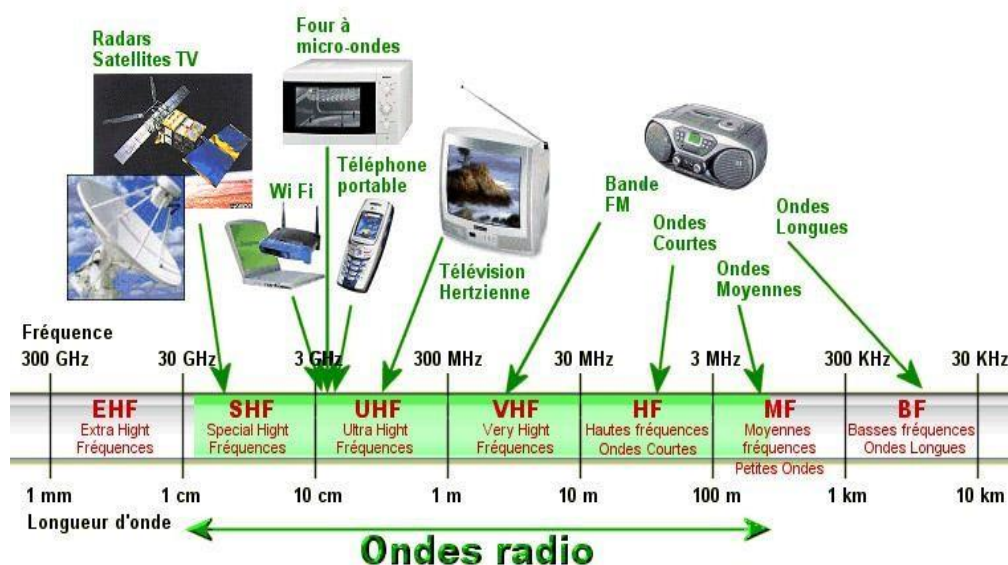


Figure III.6 : bande de longueur d'onde.

III-2-3-2 Spectre électromagnétique :

Le spectre électromagnétique est arbitrairement divisé en un certain nombre de longueurs d'ondes, baptisés « bandes », distinguées par les méthodes employées pour produire et détecter le rayonnement. Il n'y a pas de différence fondamentale entre le rayonnement dans les différentes bandes du spectre électromagnétique. Elles sont toutes régies par les mêmes lois et les seules différences proviennent des différences entre les longueurs d'ondes.

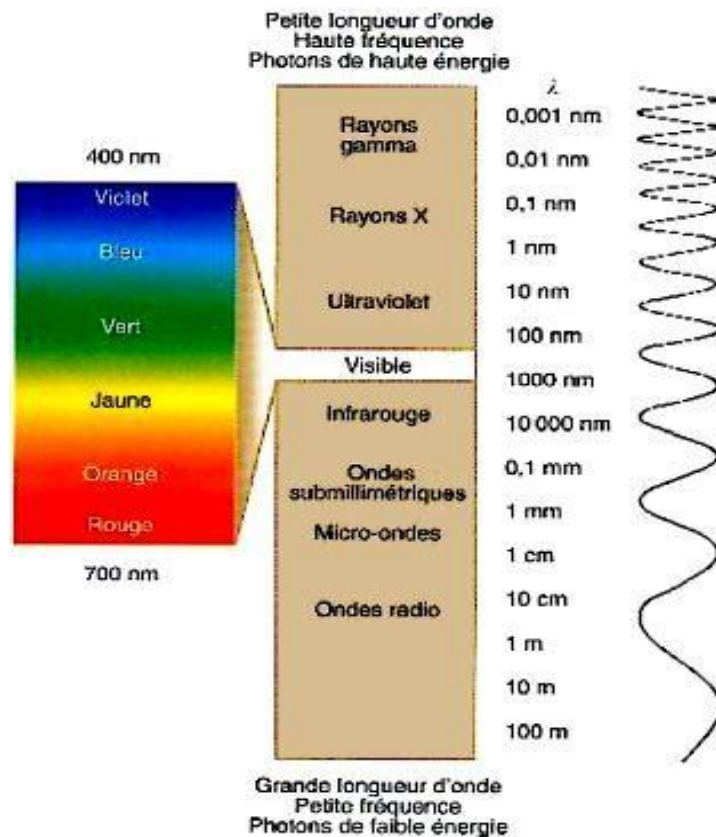


Figure III.7 : Spectre électromagnétique

- Emission : dégager un rayonnement
- Absorption : capter et retenir un rayonnement
- Réflexion : renvoyer un rayonnement
- Transmission : laisser passer un rayonnement.

III-3-1 Rayonnement incident :

On appelle incident l'ensemble des rayonnements extérieurs à un objet qui viennent le frapper.

Dans le diagramme ci-dessous, le rayonnement incident est noté W_{INCID} . C'est l'ensemble des rayonnements qui heurtent l'objet cible provient d'une ou plusieurs sources (cas plus fréquent).

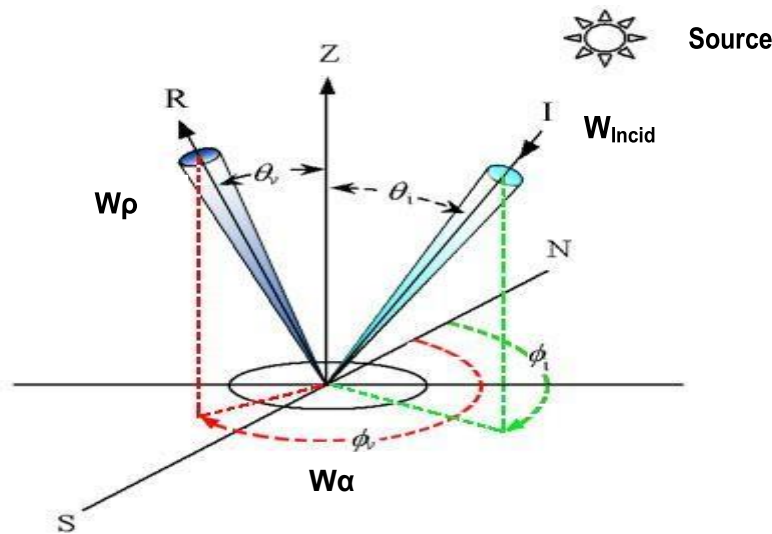


Figure III.8 : Répartition du rayonnement incident en différentes composantes

Lorsque le rayonnement W_{INCID} frappe sur la surface de l'objet cible, trois cas de figure peuvent se produire. Une certaine partie du rayonnement sera toujours absorbée, et l'objet cible en retiendra alors l'énergie. Dans la figure, cette partie est notée W_a . Une certaine quantité, notée W_p , sera réfléchie. Il est enfin possible qu'une certaine proportion de rayonnement, notée W_t , traverse l'objet cible. Comme la quantité réfléchie, elle n'affecte pas l'objet.

Notre conclusion est la suivante : la totalité du rayonnement incident se décompose en trois portions :

- Portion absorbée
- Portion réfléchie
- Portion transmise

Si nous écrivons cela sous forme d'une équation mathématique, nous obtenons :

Formulen°1: $W_a + W_t + W_p = W_{\text{INCID}} = 100\%$

Vous pouvez constater que cela concorde parfaitement avec ce que nous avons vu précédemment, à savoir que l'énergie ne peut être ni créée ni détruite. Ici précisément, toute l'énergie a été comptabilisée.

III-3-2 Propriétés du rayonnement incident :

Autrement dit, comment savoir quelle est la proportion de rayonnement ayant été absorbée, réfléchi et transmise ? Tout dépend des propriétés de l'objet !

Dans le paragraphe précédent nous avons parlé de rayonnement et des répercussions sur l'objet cible. Ce qui se produit avec le rayonnement est la conséquence des propriétés de rayonnement de l'objet cible.

Un objet possède une certaine capacité ou aptitude à :

- Absorber ; ce l'on appelle l'absorptivité, α
- Réfléchir ; ce que l'on appelle la réflectivité, τ
- Transmettre ; ce que l'on appelle la transmissivité, ρ

La somme des trois est égale à 1.

Si nous exprimons cela sous forme de formule, nous obtenons :

Formule n°2 : $\alpha + \rho + \tau = 1.$

Ceci est une formule essentielle et il est primordial d'en comprendre les conséquences.

Pour les matériaux opaques $\tau = 0$, et la relation se réduit à :

Formule n° 3 : $\alpha + \rho = 1.$

III-3-3 Rayonnement résultant :

Le rayonnement résultant est constitué de la somme de tous les rayonnements qui quittent la surface d'un objet, quelles qu'en soient les sources d'origine.

Un aspect fondamental différencie les rayonnements incidents et résultants. Lorsque nous avons abordé le rayonnement incident, nous n'avons pas particulièrement prêté attention à l'origine de ce rayonnement. La seule certitude est qu'il provient d'une ou plusieurs sources différentes de l'objet lui-même. Pour le rayonnement résultant en revanche, nous verrons qu'il provient de trois types de sources.

Intéressons-nous tout d'abord à la partie du rayonnement résultant en provenance directe de l'objet source.

III-3-4 Propriété du rayonnement résultant :

III-3-4-1 Pouvoir émissif :

En thermographie infrarouge, la plus importante du rayonnement résultant est généralement constituée par la partie émise. Nous allons donc d'abord nous y intéresser avant de débattre de son imbrication avec les autres composantes. Un objet dispose d'une certaine capacité ou aptitude à : Emettre ; ce l'on appelle l'émissivité, ϵ .

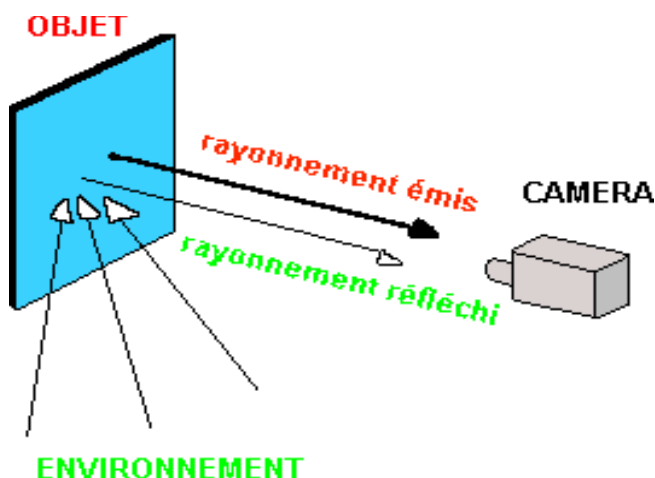


Figure III.9 : Le rayonnement émis et le rayonnement réfléchi par l'objet.

III-3-4-2 Rayonnement émis :

Le rayonnement ($W\epsilon$) est émis dans toutes les directions. L'intensité émise dépend de la température de l'objet et de son émissivité. Puisque tout objet dispose d'une certaine température et d'une émissivité il émet un rayonnement infrarouge.

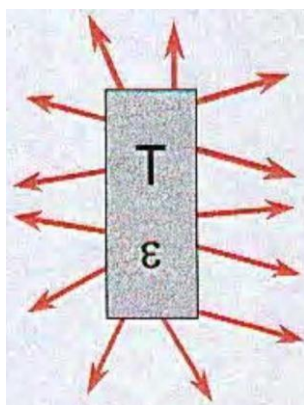


Figure III.10 : Emission du rayonnement thermique dans toutes les directions.

III-4 Corps noir :

Le corps noir est le corps de référence dans la théorie du rayonnement infrarouge celui-ci est capable d'absorber tout rayonnement incident quelque-soit sa longueur d'onde et d'émettre à son tour des radiations à toutes les longueurs d'onde. Ce corps référentiel cède à l'environnement l'énergie captée jusqu'à l'établissement d'un équilibre thermodynamique : le corps noir est un radiateur idéal.

CHAPITRE III : NOTION SUR LA TERMOGRAPHIE

Trois lois définissent le rayonnement d'un corps noir : • la loi de Plank.
 • la loi de Wien.
 • la loi de Stefan-Boltzma

III-4-1 Loi de Planck :

Max Planck a su décrire la répartition spectrale d'un rayonnement émis par un corps noir à l'aide de la formule suivante :

Formule n°4:
$$w\lambda_b = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left[e^{\left(\frac{hc}{\lambda kt} \right)} - 1 \right]} \quad [\text{Watts/m}^2\mu\text{m}]$$

$W\lambda_b$ = l'émittance spectrale du ceps radiante du ceps noir à longueur d'onde λ .

C = la vitesse de la lumière = 3×10^8 m/sec.

h = la constante de Planck = 6.62×10^{-34} joule sec. Watt.S²

k = la constante de Boltzmann = 1.4×10^{-23} joule/K. Watt.S²/K

T = la température absolue (K) d'un corps noir.

λ = la longueur d'onde (m).

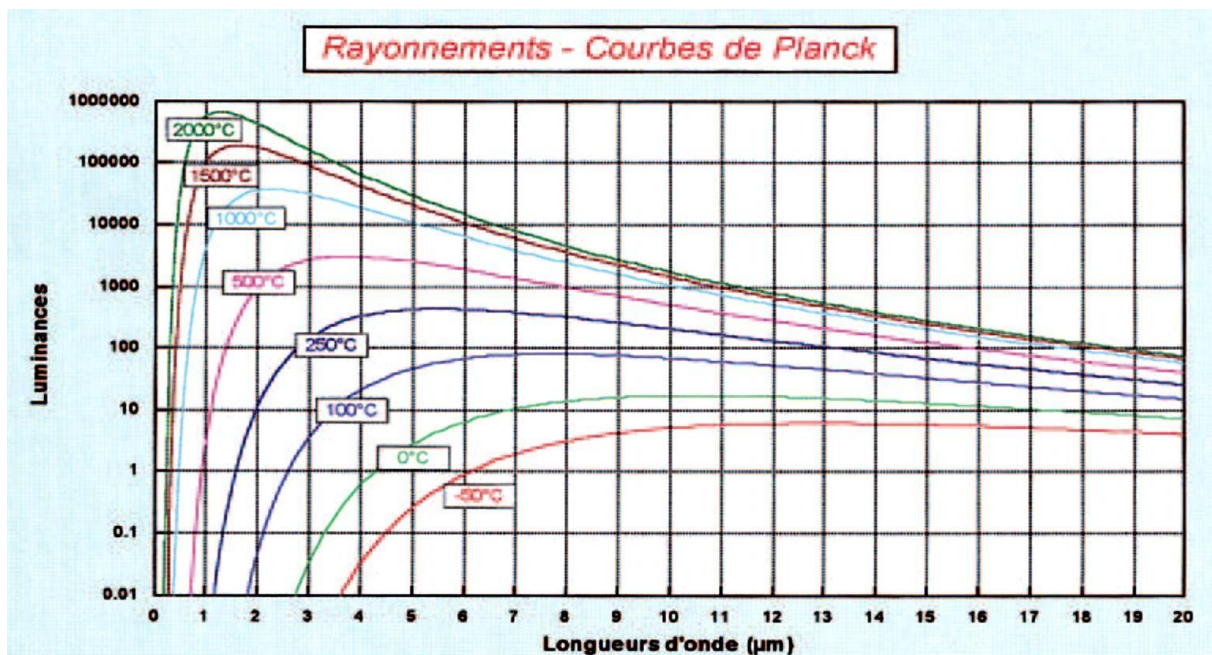


Figure III.11 : Emittance spectrale radiante d'un corps noir selon la loi de Planck pour différentes températures absolues.

Par ce graphe, nous constatons que :

- Le spectre d'émission du corps noir est continu.
- La puissance électromagnétique émise croît avec la température du corps noir.
- L'émission de rayonnement passe par un maxima : ce maxima se produit à des longueurs d'onde de plus en plus faibles lorsque la température du corps noir croît.
- A partir d'une température de l'ordre de 520°C, l'émission du rayonnement infrarouge apparaît dans le domaine spectral visible (0,4-0,8µm) : les objets chauffés au moins à cette température deviennent donc visibles par l'œil humain de par la couleur rouge sombre. En dessous de cette température, nous ne "voyons" pas les températures car l'émission de rayonnement se fait au-delà de la bande spectrale sur laquelle sont calibrés nos yeux. Dès lors, pour visualiser des corps dont la T° est inférieure à 520°C, il faut utiliser des appareils dont le seuil de détection est inférieur à celui de l'œil humain. [15]

III-4-2 Loi de déplacement de Wien :

Par dérivation de la loi de Planck on obtient la loi de Wien :

Formule n°5 :

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T} \quad [\mu m]$$

Avec :

- $\lambda_{\max}$ Longueur d'onde à laquelle se produit l'émission maximale.
- T Température absolue du corps en Kelvin.

La courbe définie par cette équation est représentée en pointillé sur la figure ci-dessous. Celle-ci est modélisée par les maxima des courbes de Planck. Elle indique que lorsque la température croît, le maximum d'énergie émis se déplace vers les faibles longueurs d'onde.

Plus simplement, cette loi exprime le fait que la couleur d'un objet chauffé à haute température varie du rouge sombre au blanc. [15]

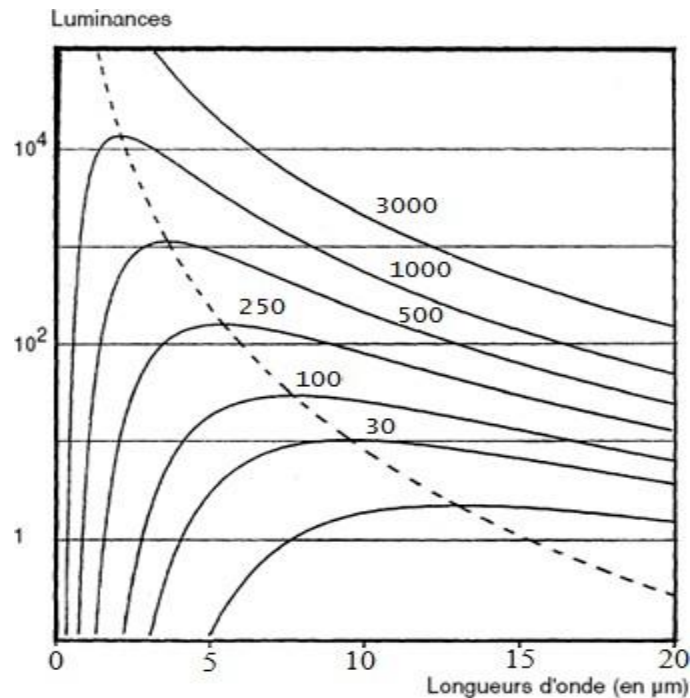


Figure III.12 : Courbe définie la loi de Wien

III-4-3 La loi de stefan-boltzmann :

La loi de stefan-boltzmann établit la relation entre la température et la puissance rayonnée, pour un corps noir.

En intégrant la formule de Planck de $\lambda = 0$ à $\lambda = \infty$, on obtient l'émittance radiante totale (W_b) d'un corps noir :

Formule n°6 :
$$W_b = \sigma T^4 [Watts/m^2]$$

Où

$\sigma = 5.7 \times 10^{-8} Watts/m^2$ est la constante de Stefan-boltzmann

Nous constatons que la température absolue T est élevée à la puissance quatre. Ce n'est donc absolument pas linéaire. La température absolue indique que l'unité doit être le Kelvin ($^{\circ}K$). Le résultat est ensuite donné en W/m^2 . Un autre facteur, σ , apparaît dans la formule. Il s'agit de la constante de Stefan-Boltzmann. Nous pouvons considérer cette constante comme un simple facteur de correction qu'il n'est pas nécessaire de retenir. A l'aide de cette formule nous pouvons calculer par exemple la puissance de rayonnement de la pièce où nous nous trouvons. Nous ignorons volontairement qu'il ne s'agit pas d'un corps noir parfait.

Si les murs présentent une température de $20^{\circ}C$, celle-ci sera équivalente à une température absolue de $293^{\circ}K$. Lorsque cette température absolue est élevée à la puissance

CHAPITRE III : NOTION SUR LA TERMOGRAPHIE

quatre, puis multipliée par la constante σ on obtient 419 W/m². Par conséquence, chaque mètre carré des murs qui nous entourent rayonnent 419 W. si nous augmentons légèrement la température jusqu'à 50°C, que se passe-t-il ?

Sur une échelle absolue, cette légère augmentation entraîne une élévation de température de 293°K à 323°K ! Le résultat de notre calcul est 618 W/m². Une augmentation non négligeable, puisque la valeur initiale était de 419 ! La raison en est bien sûr que la température est élevée à la puissance quatre. Un petit changement de température entraîne par conséquent un grand changement dans la puissance rayonnée. Effectuant ce calcul pour différentes températures et représentons les résultats sur un diagramme, nous obtenons la représentation graphique suivante :

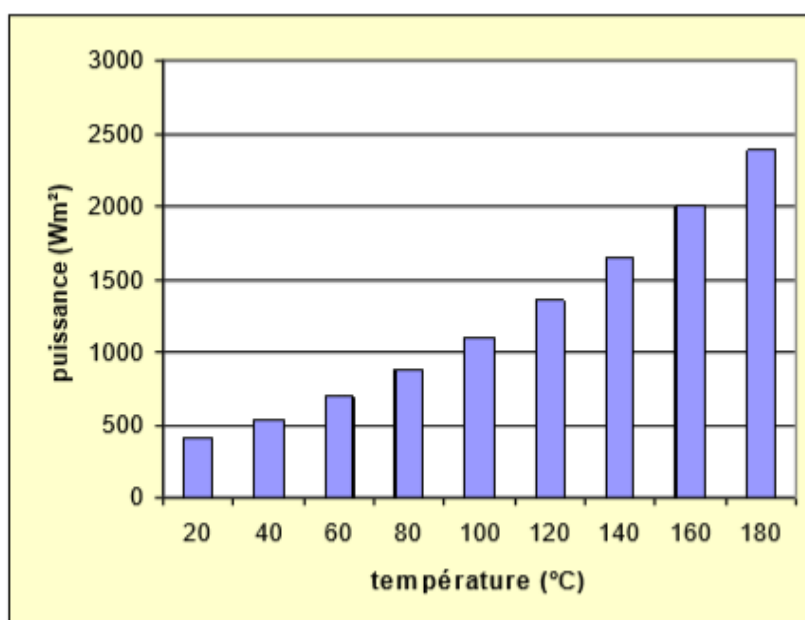


Figure III.13 : Puissance rayonnée d'un corps noir à des températures définies

Lorsque la température passe de 90°C (363°K) à 130 °C (403°K), par exemple, la densité de puissance rayonnée augmente de 1000 à 1500 W/m². L'augmentation de température (40 °K) correspond à 11% seulement.

III-5 Corps cible (corps réel) :

En fait, les objets réels émettent un flux toujours inférieur à celui du corps noir idéal, quelles que soient la longueur d'onde et la température. On définit ainsi l'émissivité spectrale directionnelle $\epsilon(\lambda, \delta, T)$ de l'objet comme étant le rapport de la luminance énergétique spectrique directionnelle de l'objet à celle du corps noir, placés dans des conditions identiques de mesure. C'est une grandeur sans dimension comprise entre 0 et 1 dont la valeur est influencée

par l'état de surface, la longueur d'onde, la direction d'émission et la température du matériau. Lorsque $\varepsilon(\lambda, \delta, T)$ ne dépend pas de la longueur d'onde, on dit qu'il s'agit d'un corps gris. La connaissance de $\varepsilon(\lambda, \delta, T)$ et une mesure de température relative permettent de remonter à la température de surface vraie de l'objet. La détermination de cette valeur est donc fondamentale en thermographie infrarouge quantitative.

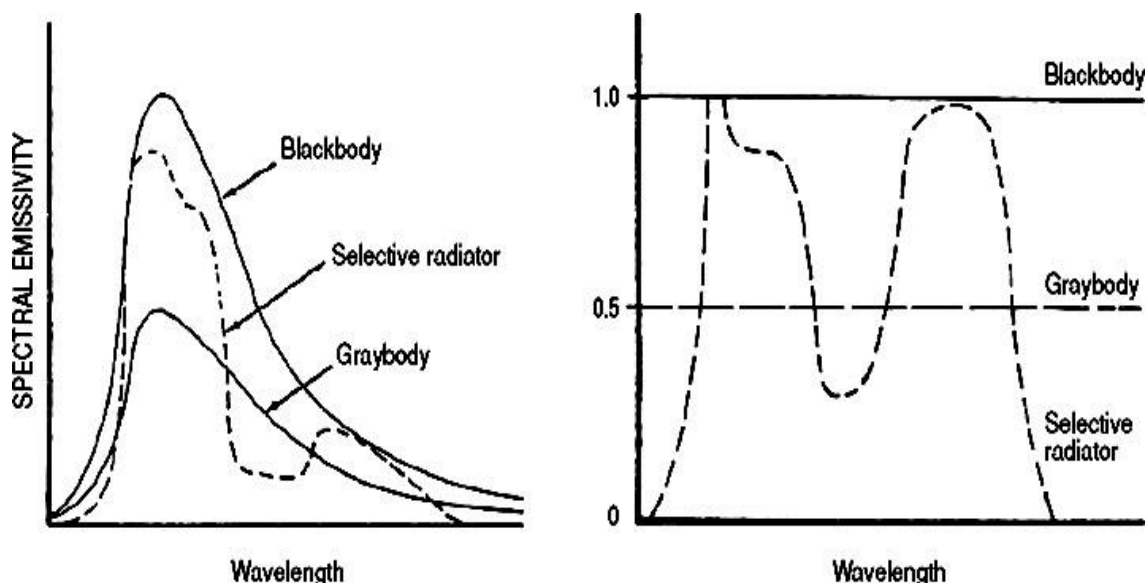


Figure III.14 : Courbes montrant la longueur d'onde en fonction de l'émissivité spectrale.

III-5 -1 Loi de Stefan-Boltzmann pour un corps réel :

Nous avons abordé plus haut la loi de Stefan-Boltzmann et la relation qu'elle établit entre l'intensité de rayonnement d'un corps noir et la température absolue élevée à la puissance quatre. Que se passe-t-il si l'objet cible n'est pas un corps noir, mais un corps réel ?

En situation de mesure réelle, nous ne rencontrons jamais des corps noirs. Nos objets ne seront pas des corps noirs, mais des « corps dite réels » les corps réels peuvent avoir toutes les caractéristiques mentionnées dans ce chapitre, à savoir, la capacité d'émettre, d'absorber, de réfléchir et de transmettre. Toutefois, la plupart des objets cibles ne sont pas transmissifs mais opaques, donc : $\tau = 0$

Quel que soit la température, le rayonnement émis est inférieur à celui du corps noir ! Nous devons simplement introduire le facteur d'émissivité pour pouvoir appliquer.

Lorsque ces deux conditions seront remplies, notre formule de rayonnement devient :

CHAPITRE III : NOTION SUR LA TERMOGRAPHIE

Formule n°7 :

Si nous reprenons le diagramme à barres déjà vu et si nous y représentons les valeurs obtenues pour un corps d'émissivité $\varepsilon = 0.6$, nous obtenons :

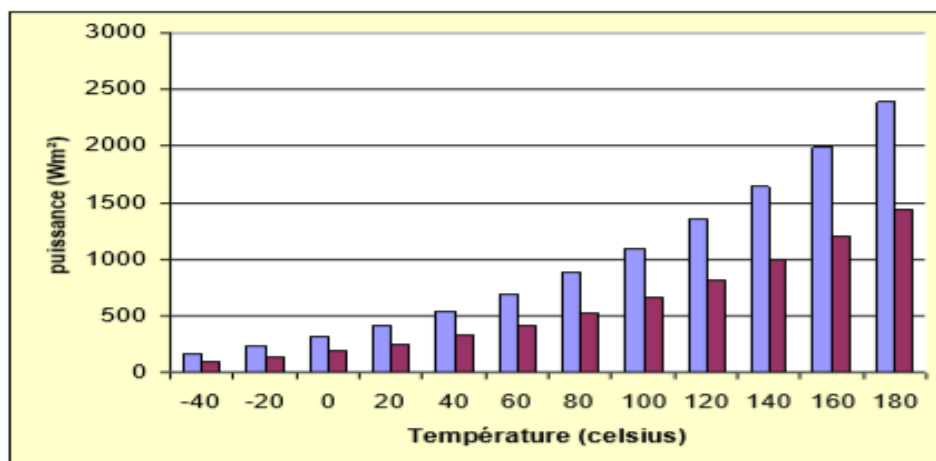


Figure III.15 : puissance rayonnée d'un corps réel à celui d'un corps noir

Un corps noir à 90°C est un corps réel (avec une émissivité de 0.6) à 140°C rayonnent tous les deux environ 1000W/m². Pour la caméra, ils sont vus comme identiques. Si nous entrions une émissivité de 1.0 dans la caméra et concéderions un corps réel (d'émissivité 0.6) à 140°C, la caméra nous indiquerait seulement 90°C. Le corps réel n'a pas l'intensité de rayonnement du corps noir à la même température, sans compenser le rayonnement « manquant », nous obtenons un résultat trop faible.

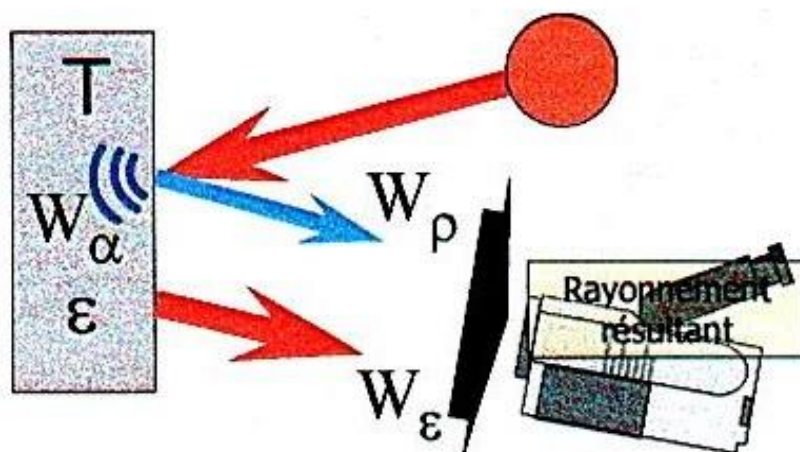


Figure III.16 : Rayonnement résultant provenant d'un objet cible opaque, qui se compose des rayonnements émis et réfléchi.

CHAPITRE III : NOTION SUR LA TERMOGRAPHIE

Cela vaut pour les objets cibles opaques de corps autre que noirs, tels que les corps réels non transmissifs. Pour ce genre de cible, nous partons systématiquement du principe que le rayonnement des deux sources émane de l'objet – le rayonnement réfléchi et celui émis. Il est important de s'en souvenir et de bien comprendre : il ne suffit pas seulement de savoir

Mesurer des températures, il faut également pouvoir interpréter correctement l'image infrarouge.

Chapitre IV

Utilisation de la Caméra Infrarouge

I. UTILISATION DE LA CAMERA INFRAROUGE :

I-1 Introduction à l'utilisation de la caméra infrarouge :

Bien savoir utiliser une caméra infrarouge requiert un certain temps, comme tout ce qui est nouveau. Ce chapitre traite de l'utilisation générale. Il comprend des conseils qui nous permettront de familiariser avec la caméra et d'éviter les fausses manipulations dont les conséquences pourraient être désastreuses.

L'évolution technologique rapide et la grande diversité des systèmes infrarouges, ne nous permettent pas de détailler les boutons et commandes spécifiques aux caméras. Nous nous sommes par conséquent concentrés sur les caractéristiques communes des appareillages. En complément des manuels de cours, vous recevrez un manuel d'utilisation traitant des caractéristiques spécifiques de la caméra. Les objectifs spécifiques (décrits ci-dessous) comportent des travaux pratiques axés sur l'utilisation de la caméra. [16]

- Insérer la batterie et la carte mémoire
- Allumer et éteindre la caméra
- Procéder à la mise au point du viseur
- Procéder au réglage de la focalisation optique
- Régler automatiquement la mise au point de l'image vidéo
- Utiliser le système de menus en général
- Régler manuellement (niveau/gain) la mise au point de l'image vidéo
- Contrôler les fonctions de mesure - Geler et sauvegarder l'image

I-2 Contrôler une image :

Les noms des différentes commandes et la façon dont elles doivent être utilisées peuvent varier d'un appareil à l'autre, mais les principes d'utilisation restent identiques. Cet ouvrage reprend la terminologie la plus récente.

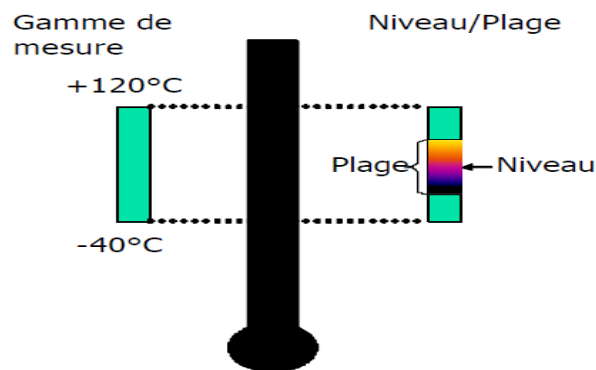


Figure IV.1 : Contrôle en sélectionnant la plage de température, le niveau et le gain.

I-2.1 Plage de température :

La plage de température est le paramètre de base. Plus les plages sont étendues et en nombre restreint, plus l'appareil est facile à utiliser. La plage de température courante peut être définie de différentes manières, parfois même en combinant plusieurs méthodes entre elles. Elle peut être comparée à l'ouverture du diaphragme des caméras classiques. Il est en effet nécessaire de limiter le rayonnement atteignant le capteur pour éviter qu'il soit saturé ou surchargé d'énergie. Les ouvertures sont utilisées dans bon nombre de systèmes plus anciens et sont généralement actionnées par un bouton ou une molette mécanique. Une deuxième méthode consiste à placer un filtre sur le chemin de mesure pour limiter la quantité de rayonnement atteignant le capteur (c'est un peu le principe des lunettes de soleil. La troisième méthode consiste à limiter électroniquement la sensibilité du capteur). [12]

I-2.2 Niveau et gain :

Le gain est la partie de la plage de température que nous utilisons effectivement. Le gain peut être considéré comme le "contraste thermique". Nous pouvons l'élargir ou le réduire. La plupart des systèmes l'affichent sur 256 couleurs ; en partie pour des raisons techniques et en partie pour des raisons pratiques. L'œil humain n'est guère en mesure de déceler plus de 256 couleurs dans une même image et la plupart des dispositifs ne sont pas en mesure d'en afficher davantage. [12]

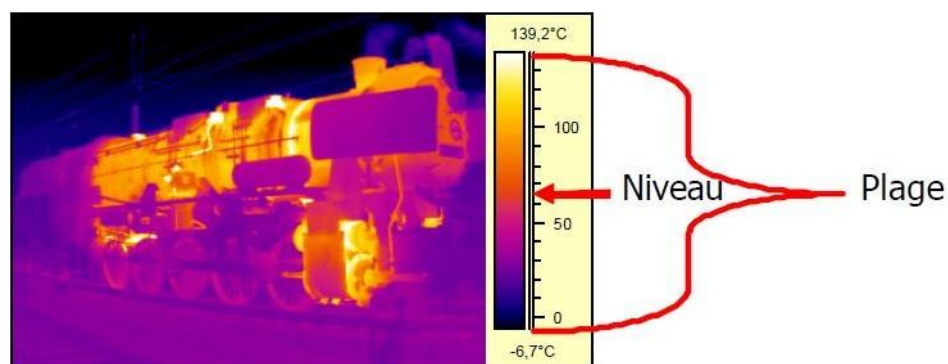


Figure IV.2 : Niveau et gain

Le niveau est le point central du gain. Le niveau peut être considéré comme la "luminosité thermique". La solution au problème présenté ci-avant consiste à déplacer notre gain de 50 °C vers le bas sur l'échelle, de telle sorte que les couleurs couvrent la scène que nous observons à température ambiante. Même après avoir effectué cette opération, il est possible que vous ayez tout de même l'impression de ne pas utiliser toutes les couleurs de l'échelle. Il est dès lors nécessaire de faire un réglage plus fin. Voilà désormais dix ans que les appareils disposent d'une fonction automatique permettant d'effectuer un paramétrage succinct de l'image sans avoir à effectuer de fastidieuses manipulations. Ces fonctions sont malheureusement insuffisantes si

vous souhaitez analyser correctement une image. Il est donc nécessaire de savoir aussi ajuster manuellement les commandes de niveau et de gain.

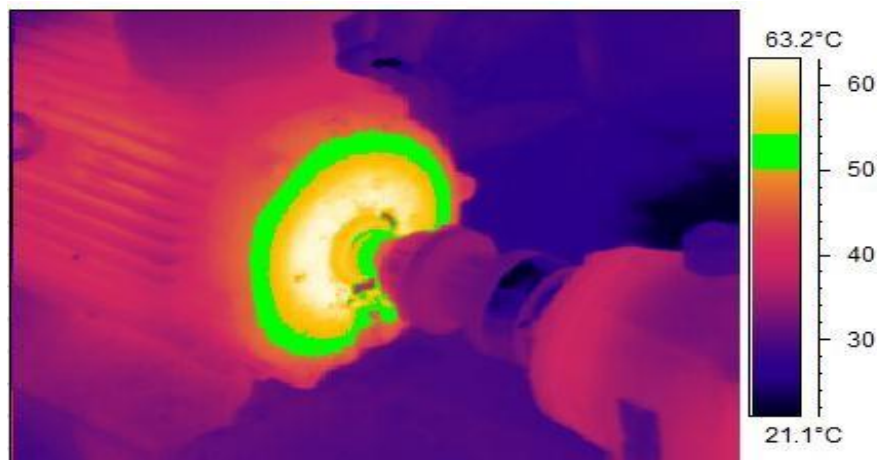


Figure IV.3 : L'isotherme remplace certaines couleurs dans l'échelle par des tons contrastés.

Les caméras modernes disposent de nombreuses fonctions de mesure de la température. La plus ancienne est l'isotherme. Sa longévité d'utilisation est une preuve de qualité. Comme vous le verrez plus tard, l'isotherme constitue toujours une fonction utile et polyvalente.

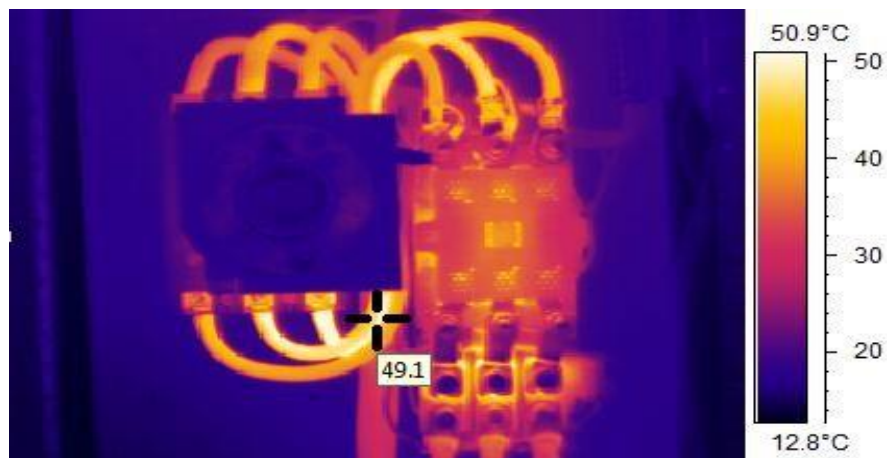


Figure IV.4 : Le point de mesure est une fonction simple et pratique.

D'un point de vue historique, le point de mesure (ou spot) est probablement l'outil créé juste après l'isotherme. Il est très populaire à cause de sa simplicité d'utilisation. Enfin, citons les fonctions de zone, qui permettent d'afficher la température la plus chaude, la plus froide ou la température moyenne au sein d'une région rectangulaire ou circulaire.

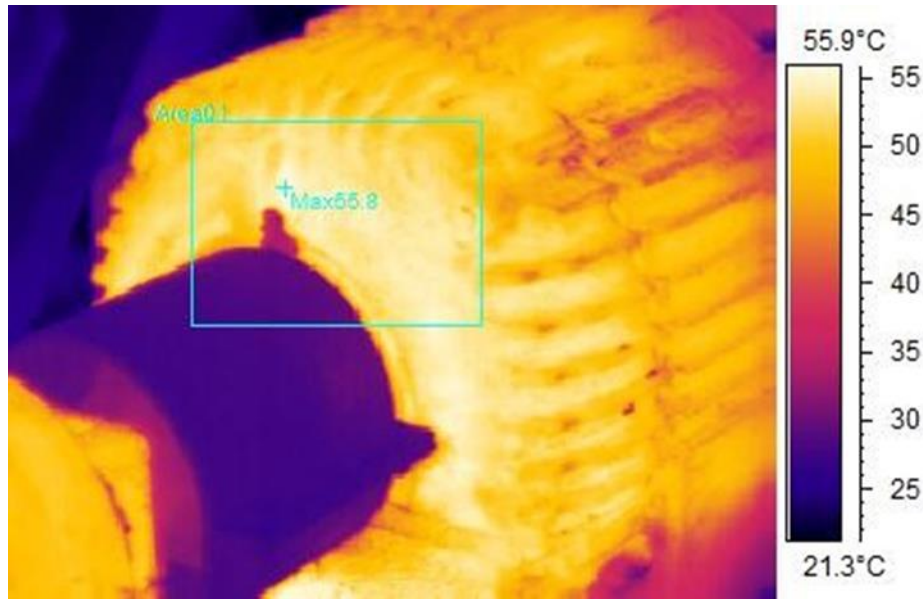


Figure IV.5 : La fonction de zone est paramétrée pour afficher la température maximale au sein de la boîte.

I-3 Capturer une image :

Vous pouvez capturer une image en la gelant puis en la stockant, ou en effectuant consécutivement ces deux opérations. Pour pouvoir créer un fichier de rapport imprimable, il faut bien sûr que les images soient préalablement stockées dans la caméra, puis transférées sur l'ordinateur. [12]

Les trois règles fondamentales

Il vous faudra respecter quelques règles fondamentales, après avoir gelé ou stocké une image, trois choses ne pourront plus être modifiées :

- I. La plage de température de mesure
- II. La mise au point optique (focalisation)
- III. La composition d'image

(Sur certains anciens modèles de caméras, il existe également une limitation empêchant le réglage après coup du niveau et du gain)

- **Plage de température de mesure :**

Nous avons expliqué précédemment ce que signifiait le terme plage de température, et comme pour tout appareillage de mesure il est nécessaire de définir une plage vous permettant de mesurer ce que vous souhaitez. N'oubliez pas que, sur la plupart des appareils, si vous définissez une plage de température plus large que nécessaire, la précision de vos mesures en souffrira. En d'autres termes, vous ne pouvez pas espérer relever des millivolts si votre gamme est réglée pour des kilovolts.

- **La mise au point (focalisation) :**

La mise au point (focalisation) est importante : une image mal mise au point témoigne d'abord du peu de professionnalisme du thermo graphiste. En effet, le public ne peut se faire une opinion sur votre travail qu'à l'aide de vos rapports qui constituent généralement la seule partie évaluable de votre travail. Mais ce n'est pas tout, car la précision de vos mesures dépend entièrement de votre mise au point. Les images mal mises au point vous donneront des valeurs de température erronées

- **La composition d'image :**

On entend par composition le placement relatif correct de la zone d'intérêt dans l'image. Vous ne souhaitez certainement pas la placer trop excentrée dans un coin de l'image. L'objet cible ne doit pas non plus être pris de trop près car des informations latérales importantes peuvent alors être occultées. L'erreur faite couramment par les débutants est de se positionner trop loin. Notre conseil : rapprochez-vous ! Mais sans oublier de respecter une distance de sécurité ! Il est cependant fréquent de voir des images où le champ de vision est totalement sous-exploité. Comme pour la mise au point, la composition d'image n'est pas seulement une question de visualisation de l'objet cible. Vous l'avez deviné ! Si vous êtes trop loin de l'objet cible (par ex. lorsque l'objet cible est trop petit sur l'image) vous ne pouvez pas mesurer la température correctement ! Nous développerons ultérieurement sur ce point particulier.

II. TECHNIQUE D'ANALYSE D'IMAGES THERMIQUES :

Une caméra est généralement utilisée pour créer une belle image servant à argumenter un document.

Les images thermiques sont totalement différentes des images visibles donc il faut assimiler de nouvelles techniques d'analyse. En premier lieu, de solides connaissances théoriques, puis une expérience de terrain vous seront indispensables avant d'être considéré comme un professionnel aguerri.

II-1 Gradient thermique :

Un gradient thermique est une variation progressive de la température sur un profil (ou une zone) déterminé. Un gradient thermique trahit souvent la présence d'un transfert de chaleur par conduction. C'est la raison pour laquelle il est d'une importance capitale d'apprendre à les analyser. Un gradient thermique indique l'orientation du flux de chaleur et nous dirige donc vers la source de chaleur.

La présence ou l'absence de gradient thermique nous donne des indices importants lors de l'analyse d'images thermiques.

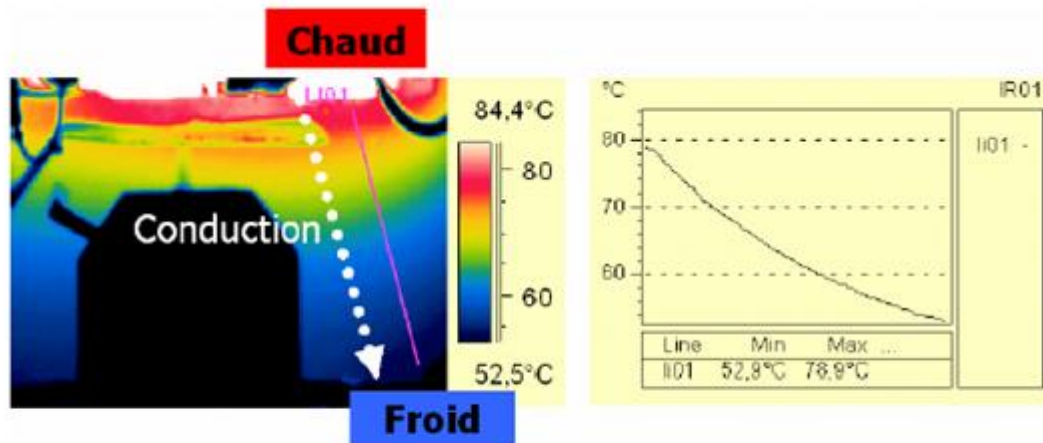


Figure IV.6 : Gradient thermique

Cette pièce est réchauffée par un rayonnement émis depuis le haut par un moule chaud. Il est possible de voir comment la chaleur est conduite depuis l'endroit où elle est absorbée. Dans ce cas de figure, le chauffage du cadre de la machine a engendré une expansion thermique inégale induisant une fuite le moule. Le gradient thermique doit être réduit pour que la différence d'expansion puisse être corrigée.

II-2 Les fonctions d'amélioration les images :

L'analyse d'images thermiques se traduit souvent par la recherche de zones singulières dont le comportement diffère du reste de l'image. C'est la raison pour laquelle les appareils disposent de nombreuses fonctions permettant d'augmenter artificiellement les contrastes locaux. Le maniement de ces fonctionnalités vous permettra de trouver plus facilement ce que vous cherchez à mettre en évidence dans une image. Les trois fonctions les plus importantes pour l'amélioration des images thermiques sont :

- Le cadrage thermique
- L'isotherme
- Les palettes

Une autre fonction d'analyse peut aussi s'avérer utile :

- Le profil

II-2.1 Cadrage thermique :

Le cadrage thermique est l'ajustement de l'échelle de l'image permettant d'optimiser le contraste pour les besoins de l'analyse. Le cadrage thermique suppose l'utilisation des contrôles de niveau et de gain de la caméra. Lorsque la zone d'intérêt de l'image est choisie, il faut ajuster ces deux paramètres de telle sorte que les couleurs de la palette couvrent au plus juste cette

CHAPITRE IV : UTILISATION DE LA CAMERA INFRAROUGE

partie de l'image. Les zones moins intéressantes de l'image peuvent, quant à elles, se situer en dehors de l'échelle. Elles seront alors généralement représentées en noir ou blanc.

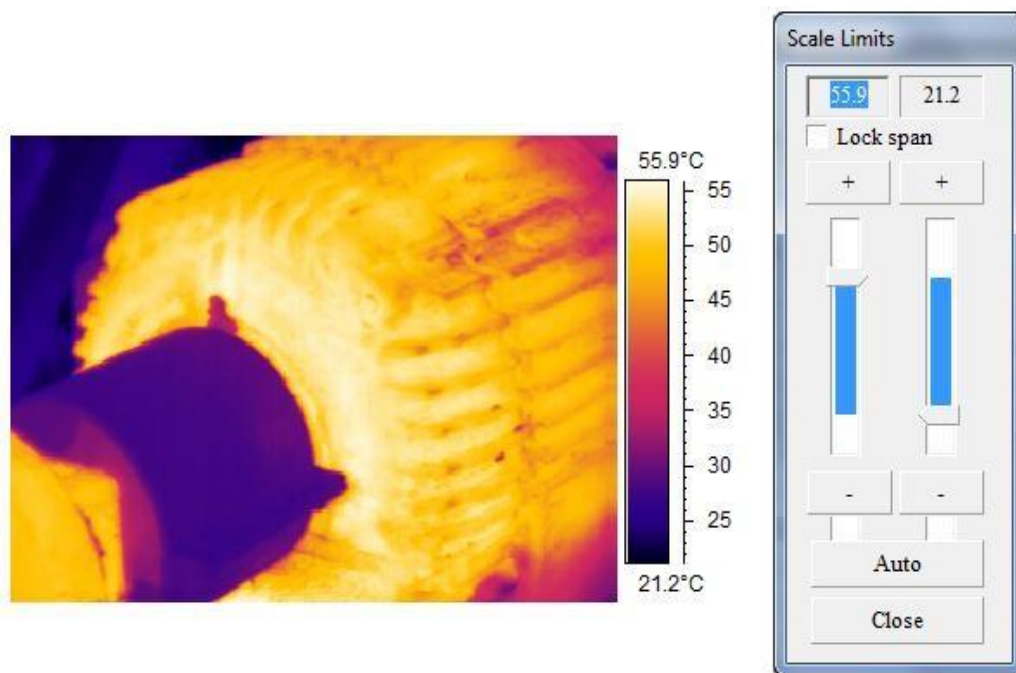


Figure IV.7 : L'intégralité de l'image est cadrée thermiquement

En utilisant la fonction réglage automatique présente sur la plupart des caméras, quasiment toutes les zones de l'image seront couvertes par l'échelle de couleur. Les extrémités de l'image peuvent parfois se situer légèrement en dehors de l'échelle. Si l'on se reporte à l'image ci-dessus, la connexion chaude dans le coin supérieur droit est représentée avec des couleurs plus claires alors que l'arrière-plan est noir. Nous obtenons ainsi une vue d'ensemble de l'objet cible nous permettant de discriminer correctement la zone d'intérêt. L'intégralité de l'image est dite « cadrée thermiquement ». En observant l'image, nous avons toutefois une légère suspicion concernant le câble gauche. Celui-ci semble plus chaud que le câble central. Une charge plus élevée peut en être la cause.

Regardons de plus près et ajustons la palette de couleurs sur cette zone de l'image. Le résultat doit ressembler à l'image ci-dessous.

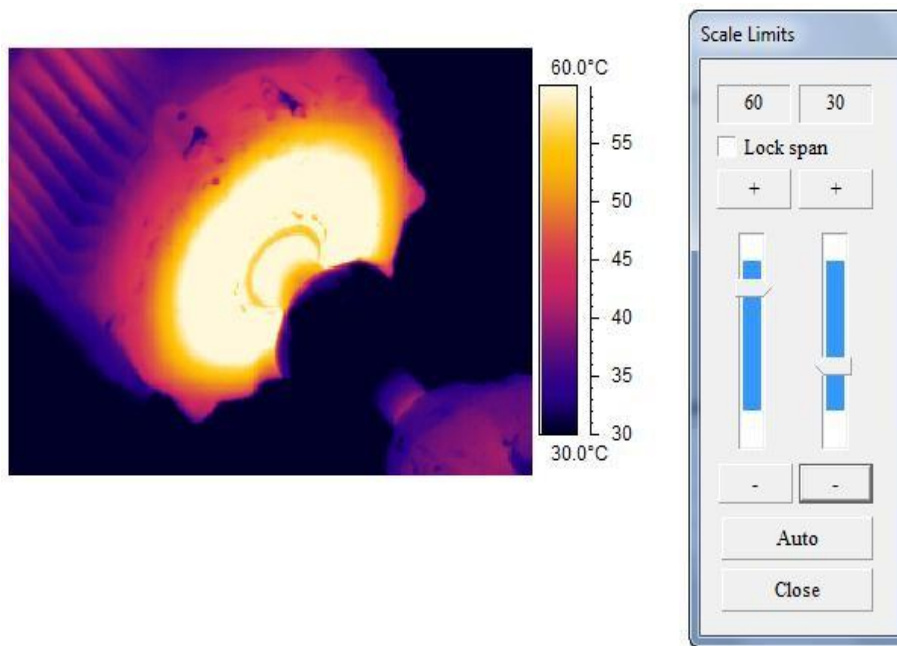


Figure IV.8 : Image cadrée thermiquement.

L'échelle de couleur est désormais compressée. L'arrière-plan est totalement noir et le point chaud précédent est représenté en blanc saturé. Le contraste sur le câble gauche est désormais beaucoup plus grand et il apparaît un échauffement sur le câble lui-même. Cela nous suggère alors un second problème : une augmentation de résistance causée, par exemple, par la rupture d'un fil du toron.

II-2.2 Isotherme :

L'isotherme remplace certaines couleurs dans l'échelle par des tons opposés. Il marque un Intervalle de température apparente égale. Il faut s'attarder sur le côté trompeur du terme "isotherme". Le terme en lui-même semble indiquer qu'il marque une température égale. Il n'en est rien ! Il marque un intervalle de température apparente égale. Nous savons déjà que les couleurs au sein d'une image ne représentent pas la température réelle. L'isotherme remplace uniquement ces couleurs par une autre contrastant plus avec les couleurs utilisées dans l'image. L'isotherme peut être déplacé de haut en bas sur l'échelle et élargi ou réduit selon vos besoins.



Figure IV.9 : L'isotherme remplace certaines couleurs par des tons opposés.

Le contraste est encore une fois l'élément clé. Lorsque nous observons des images thermiques faibles, il est nécessaire d'apporter une assistance à notre vue. Il est possible d'utiliser l'isotherme pour suivre le flux de chaleur, ou repérer la présence d'un éventuel flux de chaleur. Si l'isotherme est placé à plat sur une surface ou un objet cible, cela signifie qu'il n'y a pas de flux de chaleur traversant cette surface ou cet objet (ce qui ne veut pas dire pour autant qu'il existe un flux de chaleur qui en émane dont la température serait supérieure à son environnement, mais c'est là un autre sujet). Si un conducteur électrique est chaud et présente une image thermique uniforme, cela signifie qu'il est chargé. S'il est trop chaud, ce n'est pas la connexion qui est en cause, mais la charge qui est trop élevée. Il est possible de localiser précisément le point le plus chaud à l'aide de l'isotherme. Il indiquera l'emplacement possible d'une source de chaleur sous la surface de l'objet cible observé, ou bien déterminera la zone la plus fragile d'une cuve isolée. L'isotherme est une fonction à but double. Dans ce chapitre nous l'utilisons pour analyser les images. Sur la plupart des caméras, l'isotherme a une fonction de mesure de la température que nous aborderons par la suite. L'isotherme d'intervalle est le type le plus courant. Votre caméra peut disposer, en plus, d'autres types d'isothermes. Reportez-vous au manuel de votre caméra pour obtenir de plus amples détails à ce sujet, ou testez vous-même leurs capacités.

- **Analyse avec isotherme exemple 1:**

Voici l'image d'un contacteur contrôlant un compresseur d'air. Analysons-le avec l'isotherme.

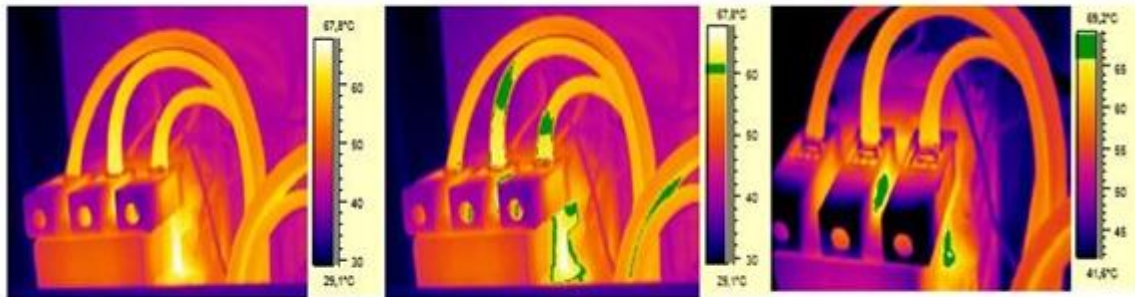


Figure IV.10 : Image thermique d'un contacteur avec des isothermes.

L'image de milieu indique la présence d'un gradient thermique le long du câble. Celui-ci est plus chaud au niveau du contacteur. Est-ce le signe d'une mauvaise connexion ? Si nous regardons l'image de droite, il ne semble pas que ce soit le cas. La zone la plus chaude se situe sur le boîtier du contacteur, et on peut également observer une zone chaude entre les pinces de raccordement. Il faut donc conclure que la source d'échauffement se trouve à l'intérieur du contacteur. Cela peut être causé par de nombreux phénomènes, par exemple une mauvaise connexion interne ou des surfaces de contact brûlées. Il faut suggérer que le contacteur soit remplacé ou retiré pour effectuer des vérifications/réparations.

II-2.3 Palettes :

Une palette assigne différentes couleurs pour marquer des niveaux de température apparente définis. Elle peut être plus ou moins contrastée selon les couleurs utilisées. Une image thermique peut être généralement affichée avec un maximum de 256 nuances de couleur ou de gris simultanément. Sur une échelle de gris, la couleur noire se trouve à l'une des extrémités et elle s'éclaircit progressivement à chacun des 256 pas jusqu'à devenir blanc. Ce qui signifie en fait qu'il n'y aura que très peu de contraste entre, par exemple, la 93ème et la 94ème nuance de gris. L'image couleur permet, quant à elle, d'utiliser une large gamme de couleurs pour obtenir un meilleur contraste. Les couleurs doivent être judicieusement assorties les unes aux autres, pour donner un semblant de lisse à l'image, et pour qu'elle ne soit pas pénible à observer. Ne choisissez pas simplement une palette parce que vous la trouvez jolie, et n'utilisez pas la même palette pour toutes nos opérations. Changeons de palette au cours de l'analyse pour voir apparaître d'éventuelles modifications. Nous obtiendrons parfois des résultats surprenants. En définitive, si une seule palette suffisait, notre appareil ne serait équipé que de celle-ci. L'utilisation des palettes dans les rapports semble devenir quelque peu conventionnel au sein des différents pays et secteurs d'activités.

Un utilisateur commence à se servir d'une palette particulière et les autres suivent. Ainsi, en peu de temps, l'utilisation de cette palette devient une "tradition". Les utilisateurs sont habitués à s'en servir et se sentent à l'aise dans son utilisation. Il n'y a rien de mal à cela.

CHAPITRE IV : UTILISATION DE LA CAMERA INFRAROUGE

Seulement c'est à nous de voir si nous souhaitons suivre éternellement la masse, ou nous démarquons par notre différence. Avant tout à ce que le lecteur de notre rapport soit à l'aise avec la palette utilisée. Mais ne nous laissons pas perturber par cette considération lors de nos travaux sur le terrain. Les palettes utilisées lors de l'analyse et celles présentées en définitive dans le rapport peuvent être totalement différentes.

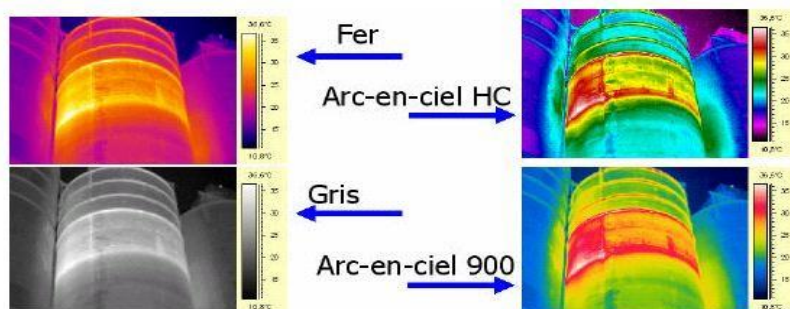


Figure IV.11 : différentes palettes

Voici quelques exemples de palettes. La plupart des caméras sont équipées au minimum d'une demi-douzaine de palettes supplémentaires, sans compter celles disponibles avec les progiciels. Les apparences et les noms de ces palettes peuvent varier d'un appareil à l'autre. L'objectif principal étant de créer des effets de contraste différents au sein de l'image.

II-2.4 Profil :

Le profil fait apparaître les températures le long d'une ligne au sein de l'image, la fonction Profil n'est pas très compliquée à comprendre. C'est simplement un diagramme avec la température sur l'axe vertical et la distance sur l'axe horizontal. C'est une fonction très utile dans certaines circonstances.

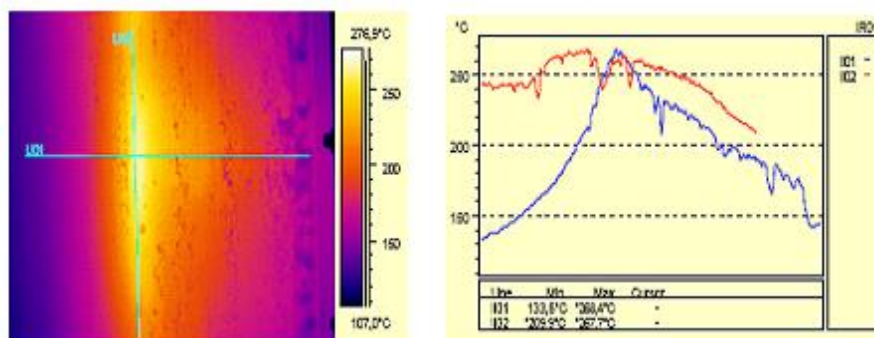


Figure IV.12 : gradient thermique vertical et horizontal de ce point chaud

II-3 Les Analyse d'image – échantillons faussés :

En thermographie de nombreux facteurs peuvent entraîner des erreurs d'analyse. Dans cette partie nous allons aborder les deux causes d'erreurs les plus fréquentes :

- Les réflexions de points source
- Les différences d'émissivité

Attardons-nous un peu sur le terme "réflexion". Si nous nous plaçons face à un miroir nous verrons notre propre image réfléchi. Cela signifie-t-il pour autant que si je ne suis plus en face du miroir aucune image n'est réfléchi ? Certainement pas ! Le miroir réfléchira le mur (ou n'importe quoi d'autre) situé derrière la place où nous nous trouvons. Il en va de même avec les images thermiques et les réflexions. Si nous plaçons un objet chaud devant la surface réfléchissante, nous verrons une réflexion de l'objet sur notre image thermique. Si nous retirons la source chaude, la surface réfléchira autre chose. Il y aura toujours quelque chose qui se réfléchira sur notre objet cible.

Pour obtenir une image uniforme et facile à analyser, il est préférable qu'une surface avec un rayonnement réfléchi régulier se réfléchisse sur l'objet cible. Si ce n'est pas le cas, il risque de se produire une réflexion localisée d'une source. Ce que nous appelons couramment "réflexion" est plus justement un point avec un rayonnement réfléchi différent de la zone qui l'entoure ; on parle alors de réflexion ponctuelle.

Une réflexion ponctuelle peut être plus chaude ou plus froide que la zone alentour.

Les réflexions sont très ennuyeuses car elles peuvent passer pour des anomalies. Par exemple lorsqu'il s'agit de trouver des connexions chaudes dans un système électrique.

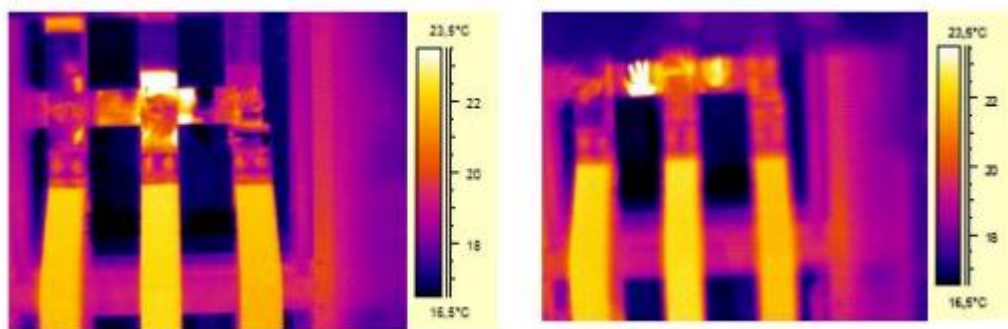


Figure IV.13 : Réflexions de l'opérateur (présence des mains et du visage).

L'image de droite est mise au point deux fois plus loin de l'objet cible et sous un angle différent. Dans l'image de gauche un "point chaud" apparaît sur la barre du milieu, qu'un utilisateur inexpérimenté peut prendre pour une connexion chaude. Dans l'image de droite nous pouvons voir qu'il s'agit en fait d'une réflexion de l'opérateur. Cette dernière image a été prise

avec un angle différent et avec. L'origine des réflexions ponctuelles peut être multiple. Et ce n'est forcément le soleil. L'opérateur lui-même est la cause la plus fréquente. Ne nous plaçons pas directement en face de l'objet cible. Comme pour un miroir, les angles de réflexion incidents et réfléchis sont toujours les mêmes sur un matériau spéculaire. Grâce à cela nous

Pourrons localiser et éviter les points de réflexion, si la surface diffuse, la réflexion sortante sera de même et éclatera dans toutes sortes de directions. Dans ce cas, une réflexion en un point donnée sera de plus faible intensité.

La plupart des surfaces réfléchissantes sont plus spéculaires en infrarouge que dans le visible. Ainsi une surface diffusante dans le spectre visible peut très bien agir comme un miroir dans le spectre infrarouge.

- **Réflexions ponctuelles**

Si la source se déplace avec vous il s'agit d'une réflexion.

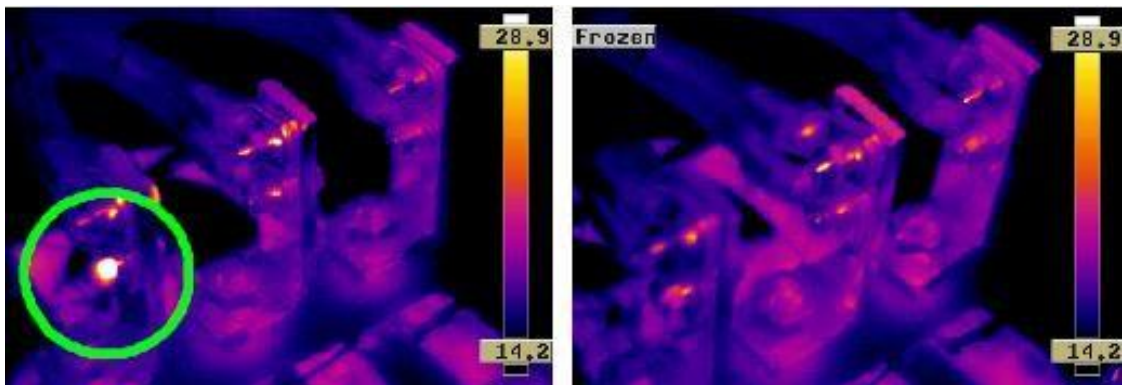


Figure IV.14 : Réflexion d'un point source, disparaît lorsque l'angle change.

On parle de réflexion ponctuelle lorsqu'en changeant l'angle de vision sur l'objet cible le "point chaud" disparaît.

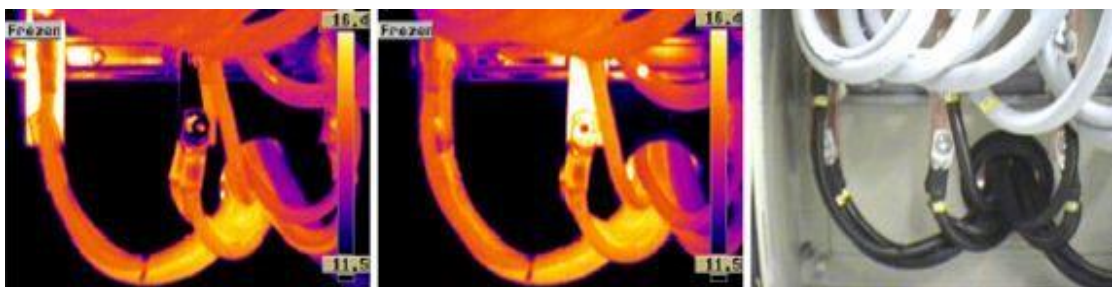


Figure IV.15 : Influence de l'angle à la réflexion.

II-4 Différences de température apparente :

Voici une image thermique présentant plusieurs différences de température apparente.

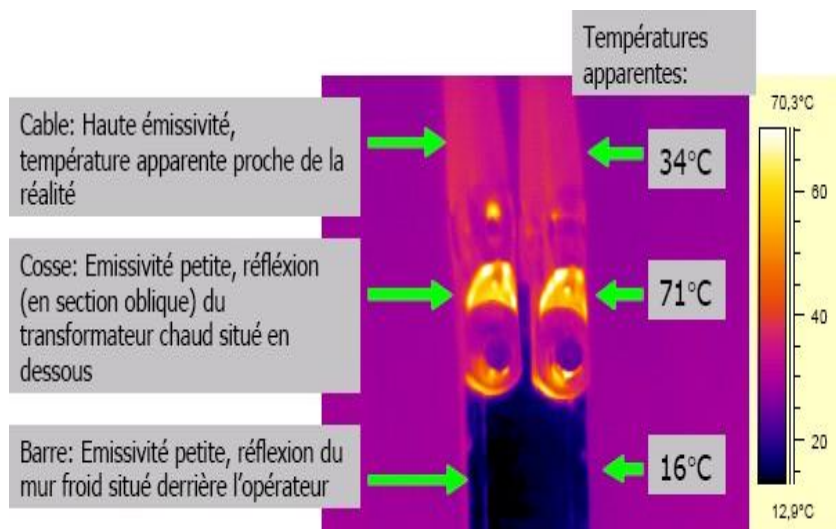


Figure IV.16 : Températures apparentes différentes.

II-4.1 L'objet cible :

Voici un schéma représentant l'objet cible. Cette fois nous évitons la réflexion de l'opérateur : nous ne sommes pas directement en face de l'objet cible. Des câbles sont connectés à une barre. Celle-ci est reliée à un transformateur isolé présentant généralement une température de surface élevée. Derrière l'opérateur se trouve un mur en béton froid.

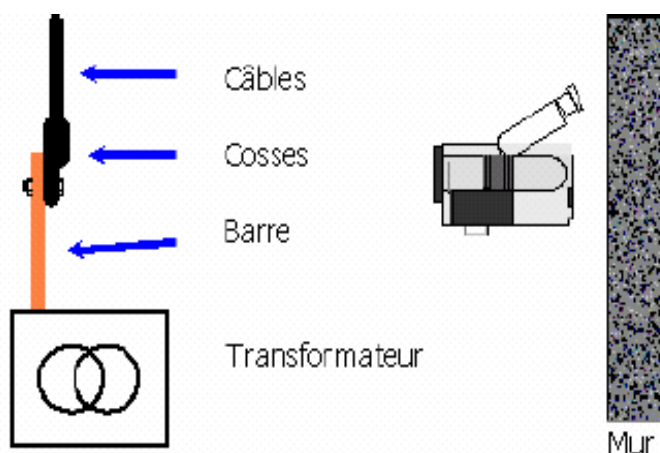


Figure IV.17 : Différentes sources de réflexion et émissivités donnent des températures apparentes différentes.

- **Conseils pour éviter les points de réflexion :**

Voici quelques règles permettant de localiser et d'éviter les points de réflexion :

- Ne doit pas rester directement devant l'objet cible pour éviter de refléter notre propre image.

CHAPITRE IV : UTILISATION DE LA CAMERA INFRAROUGE

- On se déplace. Si le point chaud se déplace également, il s'agit d'une réflexion
- On doit utiliser $\text{angle incident} = \text{angle réfléchi}$ pour déterminer la source et l'éviter.
- On doit utiliser un morceau de carton ou toute autre matériau opaque et léger pouvant faire écran à la réflexion
 - Recherchons les gradients thermiques. Seuls les véritables échauffements en présentent
 - Recherchons les parties de l'objet cible avec une émissivité forte.

Celles-ci présentent une réflexion plus faible et une température apparente plus proche de la température réelle.

Chapitre V

Application d'analyse

Thermique

I Introduction :

Les études effectuées ont été centrées sur la thermographie infrarouge. A ce titre et pour que notre travail à son objectif, nous essayons de réaliser une application pour l'analyse des images thermique. A l'aide de cette application on peut savoir l'état de l'équipement contrôlé par la caméra thermique.

Dans ce chapitre et avec une brève présentation on va offrir l'idée générale de notre application.

II Matériel utilisé :

- **Caméra AGEMA 570** : C'est une caméra vraiment portable, très légère, qui fonctionne plus d'une heure et demie avec la batterie interne. Elle fournit en temps réel une image couleur de résolution élevée soit dans le viseur intégré soit sur un moniteur externe. (Fig V.1).



Figure V.1 : Caméra AGEMA 570

- **Logiciel IRWIN OLE** : C'est un logiciel qui permet le traitement des images thermiques infrarouge, il permet aussi de faire le calcul de la température à chaque point de l'image captée et faire et faire la représentation des profils.

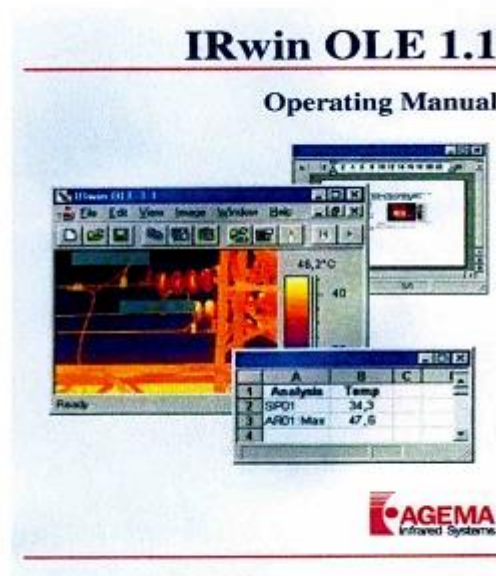


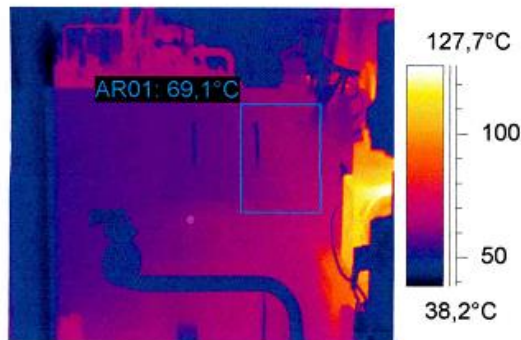
Figure V.2 : Logiciel de traitement des images infrarouges

➤ Caractéristiques de logiciel :

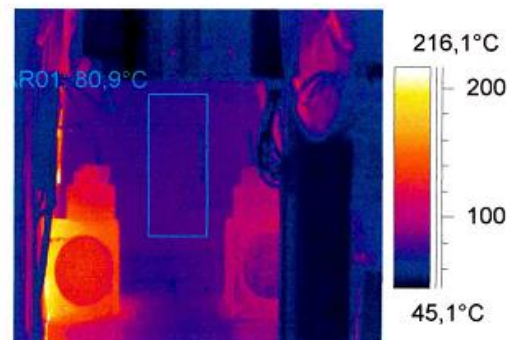
Plage de mesure de température du sujet	-20 °C à 500 °C jusqu'à 1500 °C avec l'obtention de température élevée
Précision de mesure	± 2 % de plage ou ± 2 %
Sensibilité thermique	≤ 0.15 °C
Lecteur de carte pc	Carte pc type II ou type III. Carte PLASH ou disques durs sont utilisables mais uniquement s'ils sont compatibles avec la norme ATA.

CHAPITRE V : APPLICATION D'ANALYSE THERMIQUE

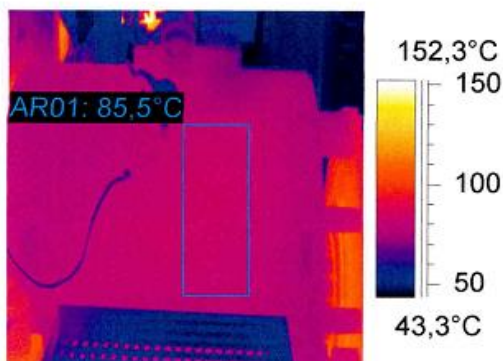
III Mesures effectuées des paliers GTA 30 par la caméra infrarouge :



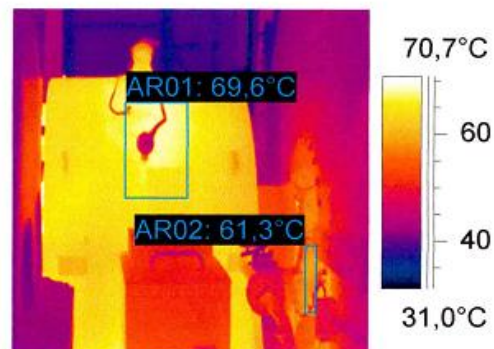
Thermographie de palier 1



Thermographie de palier 2



Thermographie de palier 3



Thermographie de palier 4

III.1 Mesures de la salle de contrôle :

Pal 1				Pal 2				Pal 3		Pal 4	
T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂
69	67	57	76	58	59	56	73	82	84	82	72

Tableau V.2 : mesures de la température de la salle de contrôle

III.2 Analyses des résultats :

Nous remarquons un léger réchauffement sur le palier 2 à côté du corps MP est dû peut être à un mauvais refroidissement de l'huile de graissage des paliers, mais c'est acceptable en général car cet échauffement ne dure pas longtemps à cause de la circulation permanente de l'huile.

CHAPITRE V : APPLICATION D'ANALYSE THERMIQUE

Les résultats obtenus par la salle de contrôle nous observons des résultats généralement assimilés aux résultats obtenue par la centrale thermique.

IV. Prédiction de défauts combinés par la thermographie :

➤ Défauts sur bruleur N° 6 :

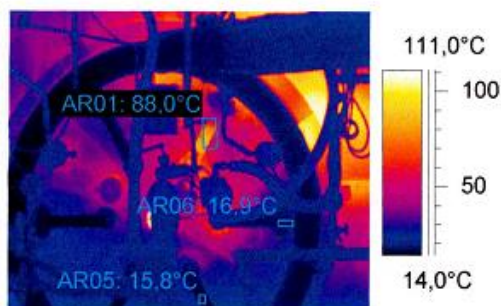


Figure V.7 : Thermographie avant intervention

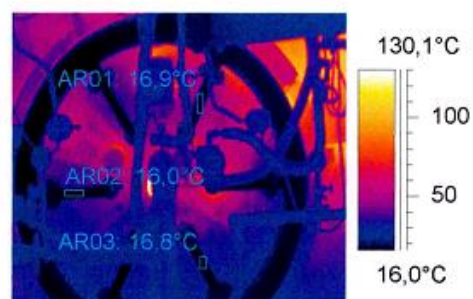


Figure V.8 : Thermographie après intervention

• Analyses des résultats :

Fig V.7 : Buse de brulure bouchée.

Fig V.8 : Changement de la buse du bruleur.

➤ Ventilateur de soufflage 30NG22D001 :

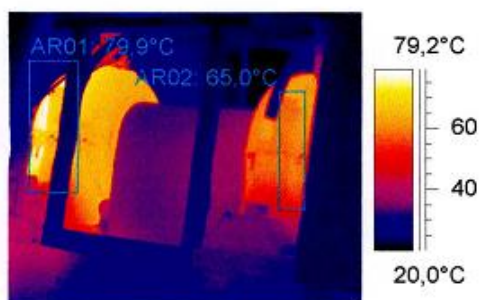


Figure V.9 : Thermographie avant intervention

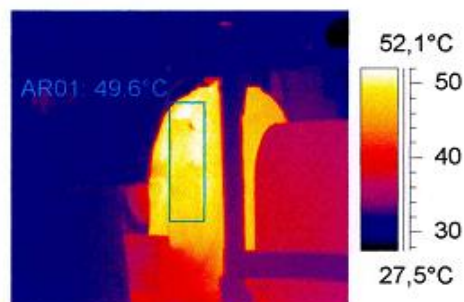


Figure V.10 : Thermographie après intervention

• Analyses des résultats :

Fig V.9 : Echauffement anormal du palier 2 du ventilateur

Fig V.10 : Nettoyage des paliers et changement de graisse

➤ Défaut sur compresseur du disjoncteur BBC d'alternateur

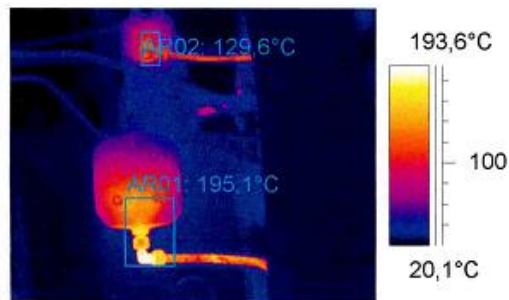


Fig V.11 : Thermographie avant intervention

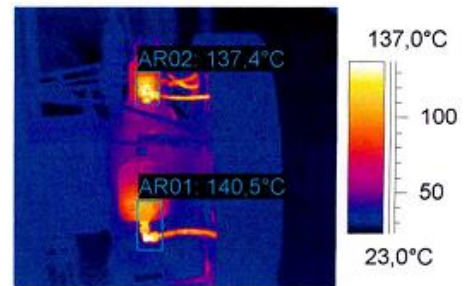


Fig V.12 : thermographie après Intervention

- Analyse des résultats :

Fig V.10 : Clapet de refoulement non étanche

FigV.11 : Changement de clapet

Conclusion:

Les mesures de température par thermographie infrarouge demandent une grande maîtrise de la physique des rayonnements infrarouges, l'imagerie infrarouge est une technique très performante pour la surveillance thermique des machines ou des points chauds dans des installations électriques.

Conclusion générale

Conclusion :

Le stage pratique effectué au niveau de la centrale thermique cap-Djinet traite un sujet d'une grande importance, il nous a permis d'acquérir et d'approfondir nos connaissances théoriques à l'effet de les mettre en pratique. Par ailleurs, ce stage nous a également permis de visiter les différents équipements industriels.

L'accent a été mis sur l'importance d'instaurer une politique de maintenance appropriée, se basant sur le préventif et non pas seulement sur le correctif. Elle permettrait d'évaluer de prolonger la durée de vie de l'équipement.

Notre travail permet de faire une analyse directe sur une scène thermique, et de donner l'état de santé de l'équipement, donc d'assurer cette analyse quand l'état de santé est corrélé avec les températures.

Et pour que la thermographie soit une technique puissante elle doit confier sur des thermographes "habilités", formés et expérimentés, professionnels des installations qu'ils contrôlent à pour objet de déceler et d'anticiper les échauffements anormaux, et/ou les variations excessives de températures qui pourraient entraîner.

D'après notre étude et l'application de la thermographie pour contrôler des équipements, en maintenance prédictive la thermographie est un outil nécessaire de contrôle des équipements électriques, et on peut dire que c'est un outil principal pour contrôler d'autres équipements.

ANNEXE

ANNEXE 1

GROUPE DE MACHINES	SEUILS DE JUGEMENT (V_{eff}) [mm/s]				
	Groupes ISO	Puissance [KW]	Bon	Admissible	Encore Admissible
I	< 15	< 0.7	0.7 à 1.8	1.8 à 4.5	> 4.5
II	15 à 75	< 1.1	1.1 à 2.8	2.8 à 7.1	>7.1
III	> 75	<1.8	1.8 à 4.5	4.5 à 11	> 11
IV	Turbo- générateur	<2.8	2.8 à 7.1	7.1 à 18	> 18

Tableau II.1 : Tableau de seuils de jugement selon : AFNORE90.300, ISO.2372

ANNEXE 2

VII Niveaux de maintenance :

Pour mettre en œuvre une organisation efficace de la maintenance et prendre des décisions comme gestionnaire dans des domaines tel que la sous-traitance le recrutement de personnel approprié, les niveaux de maintenance sont définis en fonction de la complexité des travaux.

Il existe, selon l'AFNOR cinq (5) niveaux de maintenance qui sont consignés dans le tableau ci-dessous :

<i>Niveau</i>	<i>Types de Travaux</i>	<i>Personnel d'intervention</i>	<i>Moyens</i>
1 ^{er} niveau	réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage d'équipement, ou échange d'éléments accessibles en toute sécurité.	pilote ou conducteur du système	outillage léger défini dans les instructions d'utilisation.
2 ^{ème} niveau	dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet, ou d'opérations mineures de maintenance préventive (rondes)	Technicien habilité	outillage léger défini dans les instructions d'utilisation et pièces de rechanges disponibles sans délai.
3 ^{ème} niveau	identification et diagnostic de pannes, réparation par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures.	Technicien spécialisé	outillage prévu et appareils de mesure, banc d'essai, contrôle...
4 ^{ème} niveau	travaux importants de maintenance corrective ou préventive	équipe encadrée par un technicien spécialisé	outillage général et spécialisé, matériels d'essais, de contrôle...
5 ^{ème} niveau	travaux de rénovation, de reconstruction ou réparation importantes confiées à un atelier central	équipe complète et polyvalente	moyens proches de la fabrication

Tableau II.2 : les Cinq niveaux de la maintenance. [7]

ANNEXE 3

Matériau	Conductivité (W / m* K)
Cuivre	401
Aluminium	237
Acier	52
Glace pure	2,04
Brique	1
Verre (vitre)	0,9
Eau	0,6
Bois	0,14
Fibre de verre	0,04
Air (immobile)	0,025
Argon	0,018
Xénon	0,0051

Meilleur conducteur



Meilleur isolant

Tableau III.1 : Valeurs de conductivité pour différents matériaux.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Extrait de la norme européenne NF EN 13306 X 60-319
- [2] S. Bensaada, D. Feliachi, La Maintenance Industrielle, Office des Publications Universitaires (OPU), 2002
- [3] Retour D., Bouche M. et Plauchu V., *Où va la maintenance industrielle*, Problèmes Économiques, No. 2.159, pp. 7-13, 24 Janvier 1990.
- [4] M.T. Nabti, « Etude de l'évolution des indicateurs spectraux et cepstraux dans la détection des défauts mécaniques ».Mémoire de Magister. Université Ferhat Abbas Sétif (2011)
- [5] ABA. A, « Diagnostic vibratoire sur des pompes rotatives EP2 & P112 ». Rapport de Fin de Mise en Situation Professionnelle du Technicien Supérieur en Mécanique Industrielle, DIRECTION REGIONALE HAOUD BERKAOUI (2015)
- [6] François Monchy / Jean-Pierre Vernier (Les principaux outils de la maintenance conditionnelle) « Maintenance méthodes et organisation » Edition : Dunod, Paris 2010, [55 56p]
- [7] Jean Heng, Pratique De La Maintenance Préventive, Dunod, Paris, 2002
- [8] SCHENCK S. A Vibrations Equilibrage sur site, Applications à la maintenance conditionnelle Février 1994
- [9] Landolsi Foued, «Cours De Techniques de Surveillance, Partie I Surveillance Des Machines Par Analyse Vibratoire».
- [10] Nicolas Buchy www.lrgl.uqam.ca 2002
- [11] <http://www.irtech-environnement.fr/pageannexe-19-histoire-de-la-thermographie-infrarouge.html>
- [12] SONATRACH Manuel de cours Niveau I – Publ. No 1 560 093_C - Rev. 0.9 E –
- [13] Gilbert Gaussorgues « La thermographie infrarouge » 4ème édition Paris Tec&Doc 1999

[14] J. Crabol « Transfert de chaleur » tome 1-les principes. Edition MASSON-Paris 1989

[15] Thermographie infrarouge appliquée à la maintenance industrielle de Dominique PAJANI & Pierre BREMOND.ADD Editeur, 72/74 rue B. Iské - F92350 LE PLESSIS ROBINSON.

[16] S. Delecroix & M. Skifati « Les Caméras Infrarouges » Editeur : IUTA USTL. Lille.