

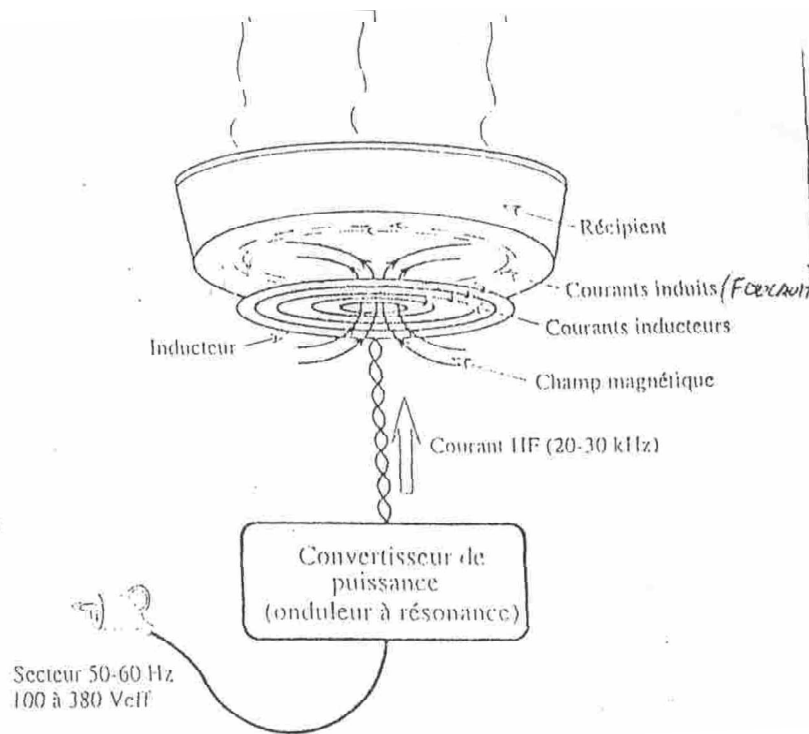
## 1.1 Introduction

Le chauffage par induction électromagnétique est un procédé qui permet d'obtenir l'énergie thermique en partant de l'énergie électrique.

Dans ce chapitre, on a donné un aperçu théorique sur la table à induction et ses performances.

## 1.2 Principe

Tout corps conducteur de l'électricité s'échauffe par effet joule quand il est parcouru par un courant électrique. Cet échauffement s'obtient, soit en appliquant aux extrémités du conducteur une différence de potentiel c'est le chauffage classique par résistances, soit en plaçant ce conducteur dans un champ magnétique variable c'est le principe du chauffage par induction électromagnétique [2].



**Fig. 1.1 :** Principe d'une plaque à induction.

Comme le montre la figure 1.1, le champ magnétique créé par l'inducteur induit des courants de Foucault dans le récipient qui repose sur un support isolant. Ces courants de Foucault se transforment en chaleur par effet Joule dans le récipient.

Le chauffage par induction met en jeu trois phénomènes physiques successifs :

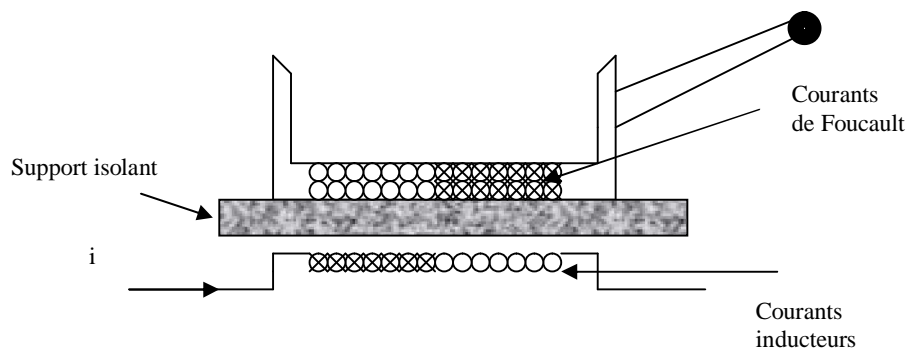
- Transfert d'énergie de l'inducteur au récipient par voie électromagnétique,
- Transformation de l'énergie électrique en chaleur dans le récipient par effet Joule,
- Transmission de chaleur par conduction thermique à l'aliment.

La chaleur est produite dans le récipient lui-même d'où une faible inertie thermique et une grande efficacité énergétique.

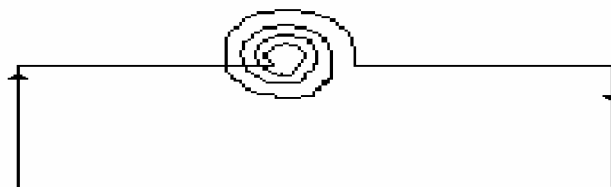
### 1. 3 Dispositif de la table à induction

La table à induction électromagnétique [32] est constitué par :

► Une bobine (inducteur) en forme spirale (type pan-cake) figure 1.3 parcourue par un courant alternatif, ce dernier crée un champ magnétique générateur de pertes par courants de Foucault dans le récipient.



**Fig. 1.2 :** Ensemble inducteur récipient



**Fig. 1.3 :** Inducteur de type pan-cake

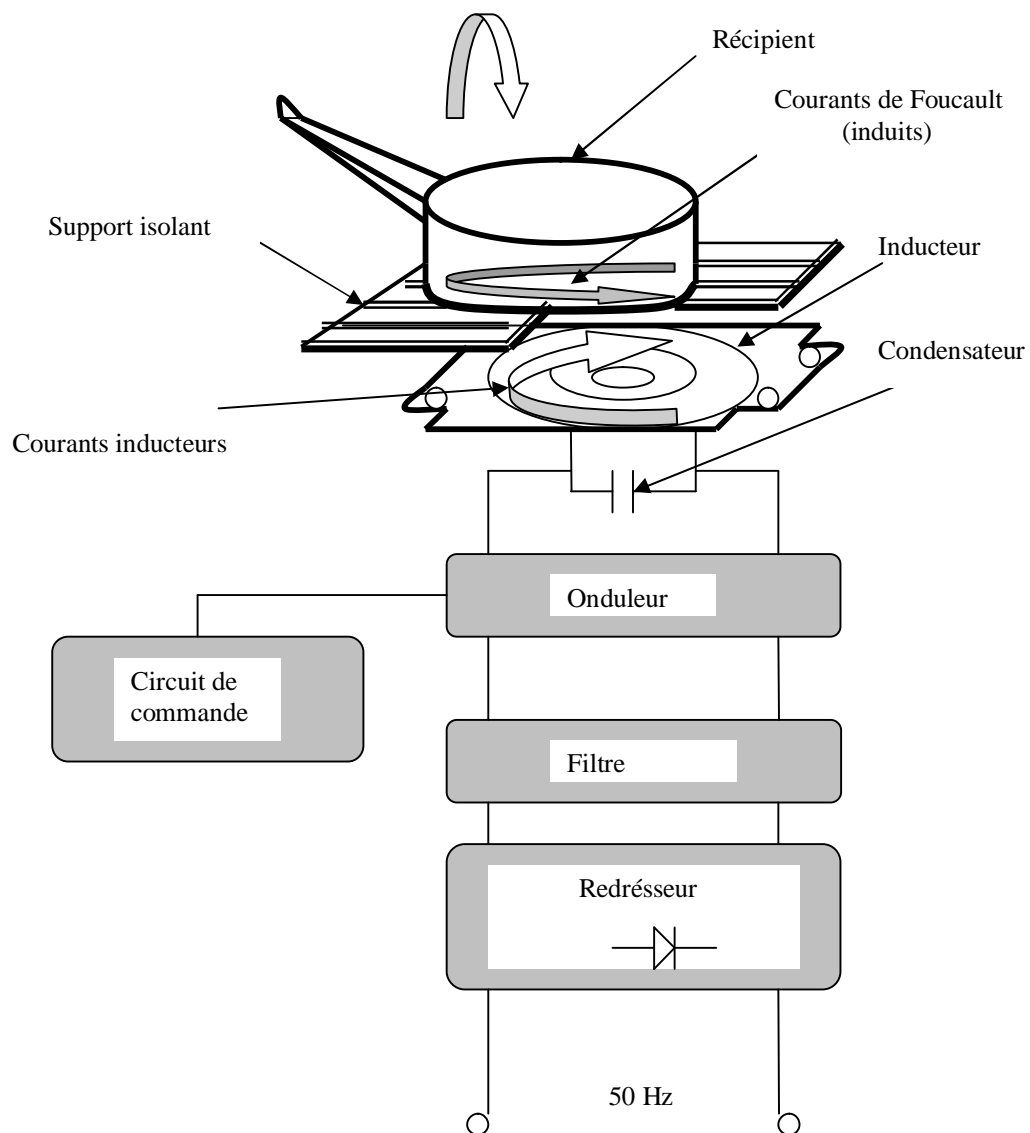
- Un récipient construit par un matériau conducteur de l'électricité figure 1.2.

Ceci repose sur un support isolant, et un réflecteur en ferrite sous l'inducteur canalise les lignes de champs et les localise sur le récipient, afin d'éviter la dissipation de chaleur.

L'ensemble récipient- inducteur peut être assimilé à un transformateur, dont le primaire remplace l'inducteur, le secondaire court-circuité sur une résistance remplace le récipient.

- Un circuit d'alimentation (source - redresseur –filtre -onduleur) avec un circuit de commande de l'onduleur.

D'après la figure1.4, le dispositif de la plaque chauffante à induction est alimenté par une tension sinusoïdale de fréquence 50 Hz, cette tension est redressée par un pont de diodes et filtrée pour éliminer les harmoniques d'ordre supérieur. Celle-ci alimente l'onduleur et permet de créer à l'aide de l'inducteur en spirale un champ magnétique variable à son tour, ce dernier induit dans le récipient des courants de Foucault qui le chauffe.



**Fig .1.4:** Dispositif de la table à induction électromagnétique.

## 1.4 Caractéristiques du chauffage par induction

Parmi les caractéristiques [2] du chauffage par induction deux retiennent particulièrement l'attention :

- Ø La répartition des courants induits dans la pièce à chauffer,
- Ø La puissance dissipée dans cette pièce.

Ces caractéristiques dépendent de très nombreux paramètres, en particulier :

- ü Du flux magnétique traversant le corps à chauffer, qui dépend de :
  - ✓ La nature du matériau (perméabilité magnétique relative),
  - ✓ La force magnétomotrice de l'inducteur,
  - ✓ fuites magnétiques (dimensions respectives de l'inducteur et la pièce à chauffer, couplages caractéristiques du circuit magnétique),
  - ✓ La fréquence du courant.
- ü Des caractéristiques de l'inducteur et de l'induit :
  - ✓ Résistivité de l'induit affecté par le passage du courant,
  - ✓ Longueur de circuit parcouru par le courant induit.

### 1.4.1 Profondeur de pénétration

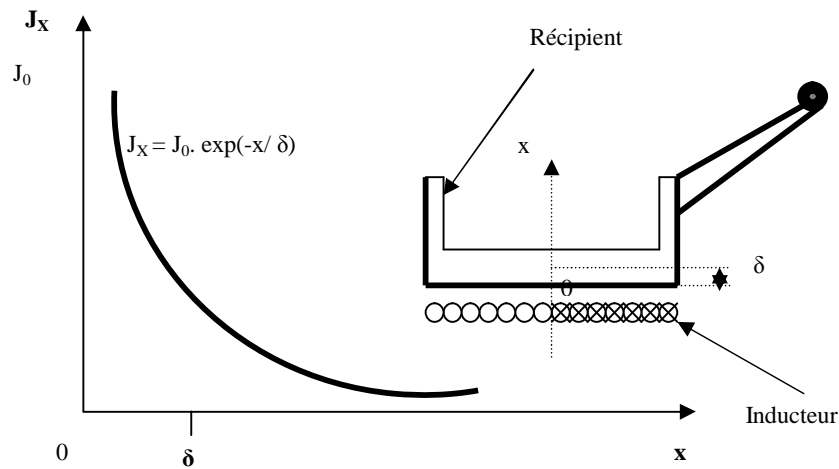
Plus la fréquence du courant dans l'inducteur augmente, plus les courants de Foucault parcourant le fond du récipient ont tendance à se concentrer à sa surface inférieure. Ce phénomène est connu sous le nom de l'effet de peau [14]. La densité des courants de Foucault décroît de façon exponentielle de la surface inférieure du récipient vers son intérieur figure 1.5, sa constante est appelée profondeur de pénétration ou épaisseur de peau  $\delta$ , a pour valeur :

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \cdot \mu \cdot f_r}} \quad (1.1)$$

Avec :

- $\delta$ : Profondeur de pénétration (m),
- $\rho$  : Résistivité du matériau du récipient ( $\Omega.m$ ),
- $\mu$  : Perméabilité magnétique du matériau ( $\mu = \mu_0 \mu_r$  en H/m),
- $\mu_r$  : Perméabilité magnétique relative,
- $\mu_0$  : Perméabilité magnétique du vide ( $\mu_0 = 4.\pi.10^{-7}$  (H/m) ),
- $f_r$  : Fréquence d'utilisation(des courants de Foucault) (Hz)

On peut retenir que la couche de profondeur  $\delta$ , parcourue par un courant correspondant à 63% du courant total, et le siège de 87% des pertes totales.



**Fig .1.5 :** Variation de la densité de courant  $J_x$  en fonction de la profondeur  $x$

La profondeur de pénétration est liée à la perméabilité magnétique donnée par la relation (1.1). La perméabilité magnétique relative est égale à l'unité pour les métaux non magnétique (aluminium, cuivre, etc....). Pour les corps ferromagnétiques, elle atteint des valeurs très élevées tableau 1.1, elle est aussi fonction de la température, du champ magnétique et de la saturation du matériau. Elle décroît brusquement pour prendre la valeur unité au-delà du point de Curie.

Métaux	Perméabilité magnétique relative $\mu_r$
Fer	1400
Acier moulé	3500
Acier trompé	100
Fontes	300-900
Acier doux	2000

**Tableau1.1 :** Valeurs de la perméabilité magnétique relative  $\mu_r$  pour différents métaux magnétique (à la saturation )

### 1.4.2 Choix de la fréquence

Plus la fréquence d'alimentation augmente, plus les courants induits tendent à se concentrer en surface. Pour obtenir un bon rendement énergétique, l'épaisseur du fond du récipient doit être au moins égale ou supérieure à trois fois la profondeur de pénétration. Le choix de la fréquence [15] [16] d'utilisation dépend de la nature du matériau du récipient et de ses dimensions.

Nous avons :

$$f_r = \frac{\rho \cdot 10^7}{4 \cdot \mu_r \cdot \pi^2 \cdot \delta^2} \quad (1.2)$$

La plage des fréquences utilisées en induction s'étend globalement de 50 Hz à 1MHz. Telle que, elle est définie dans le tableau 1.2 :

Fréquences	Puissances	sources
Basse (50 ou 60Hz)	Plusieurs Mw	Réseaux
Moyennes $10^2 \leq f_r \leq 10^4$ Hz	Du Kw à plusieurs Mw	Générateur à thyristors
Hautes $f_r > 10^4$ Hz	Du Kw à plusieurs centaines de Kw	Générateurs à tubes (triodes) ou transistors

**Tableau 1.2 :** Gamme de fréquence utilisée en chauffage par induction

### 1.4.3 Influence de la résistivité

La profondeur de la pénétration est proportionnelle à la racine carrée de la résistivité de la pièce à chauffer. Celle-ci, pour les métaux croît généralement avec la température :

$$\rho_\theta = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \theta) \quad (1.3)$$

Avec :

$\rho_\theta$  : Résistivité à la température  $\theta$  ( $\Omega \cdot m$ ),

$\rho_0$  : Résistivité à  $0^\circ \text{C}$  ( $\Omega \cdot m$ ),

$\theta$  : Température ( $^\circ \text{C}$ ),

$\alpha$  : Coefficient de température ( $^\circ \text{C}^{-1}$ ).

Le tableau 1.3 donne quelques valeurs de résistivité à 0°C pour quelques matériaux conducteurs.

Corps à chauffer	$\rho$ en $\Omega.m (*10^{-8})$
Argent	1.47
Cuivre	1.60
Aluminium	2.56
Zinc	5.75
Fer	9.02
Nickel	12.32
Tungstène	10.92
Molybdène	9.01
Alliages légers	5-8
Laitons	5-10
Bronze	10-20
Aciers ordinaires	10-25
Aciers spéciaux	40-80
Fontes	60-100
Fontes malléables	30-35
Alliages ultra légers	10-15
Graphite	1000

**Tableau 1.3:** Résistivité à 0°C de quelques matériaux conducteurs

## 1.5 Avantages de la table à induction

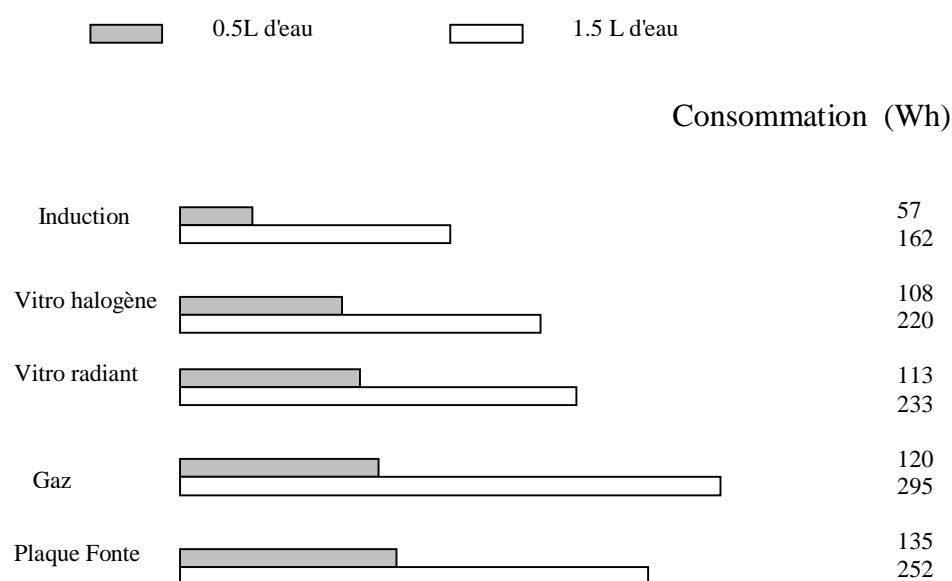
D'après les figures 1.6, 1.7, 1.8, nous pouvons facilement déduire les avantages de la table à induction par rapport aux autres moyens de chauffage :

- Une consommation minimale d'énergie,
- Un rendement élevé,
- Une meilleure sécurité thermique,
- Une rapidité de chauffage.



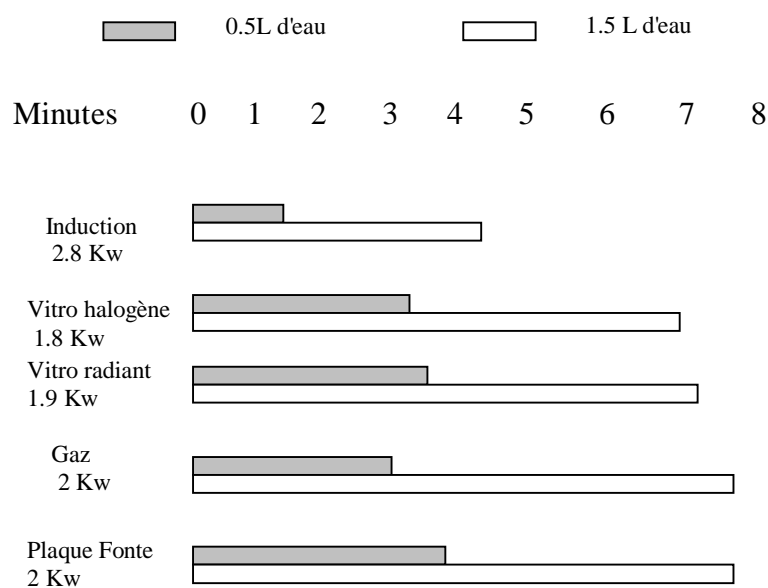
### 1.5.1 Consommations comparées de différents moyens de cuisson

Mesures non normatives effectuées en échauffant de l'eau de 20°C à 95°C



**Fig.1.6 :** Consommations comparées de différents moyens de cuisson

### 1.5.2 Temps nécessaire pour porter une casserole d'eau de 20°C à 95°C



**Fig.1.7 :** Temps nécessaire pour porter une casserole d'eau de 20°C à 95°C

### 1.5.3 Comparaison entre l'induction et micro –onde

Puissance nominale induction : 2.8 Kw

Puissance nominale micro- onde: 1.4 Kw

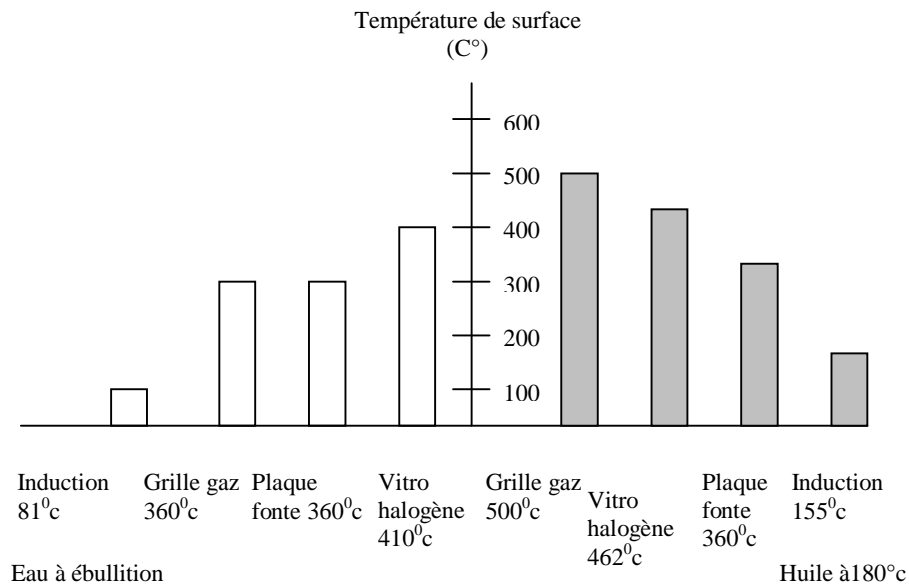
	Pour chauffer un bol de café de 20 <sup>0</sup> C à 95 <sup>0</sup> C	
	INDUCTION	MICRO-ONDE
	Casserole	Bol
Consommation	21.7 Wh	35.6Wh
Temps	40 secondes	100 secondes
Rendement	70%	37%

	Pour élever la température de l'eau à 75° C	
	INDUCTION	MICRO-ONDE
	Casserole Φ 180 mm en Inox	Saladier en verre
Consommation	120 Wh	190Wh
Temps	2 minutes 50	9 minutes
Rendement	80%	46%

**Tableau 1.4:** Comparaison entre le chauffage par induction et par micro-onde

### 1.5.4 Sécurité thermique du plan de cuisson

Les Mesures effectuées avec une casserole de 200 mm de diamètre .



**Fig.1.8** : Sécurité thermique du plan de cuisson

#### Exemple :

Dans une casserole, à l'ébullition d'eau le plan de cuisson par induction a une température de 81°C, mais le plan de cuisson par gaz a une température de 500°C.

## 1.6 Conclusion

Grâce aux plans de cuisson à induction, la cuisine devient magique. Le plan de cuisson est nettement moins chaud, le temps nécessaire pour porter le plat à ébullition est réduit de moitié, en économisant de l'énergie et le maniement est aisé, grâce aux touches sensibles ou boutons.

Le chauffage est assuré par une bobine d'induction placée sous chaque zone de cuisson. Dès la mise en marche, la chaleur est générée sur le fond du récipient sans que la plaque ne s'échauffe, c'est le fond du récipient qui transmet ensuite la chaleur au contenu. Donc la cuisson à induction a de nombreux avantages, parmi eux, le plan de cuisson ne chauffe que légèrement sous le récipient, la faible température empêche ainsi toute incrustation d'aliments ; le plan de cuisson se nettoie très facilement.



**Fig.1.9 :** Table à induction.