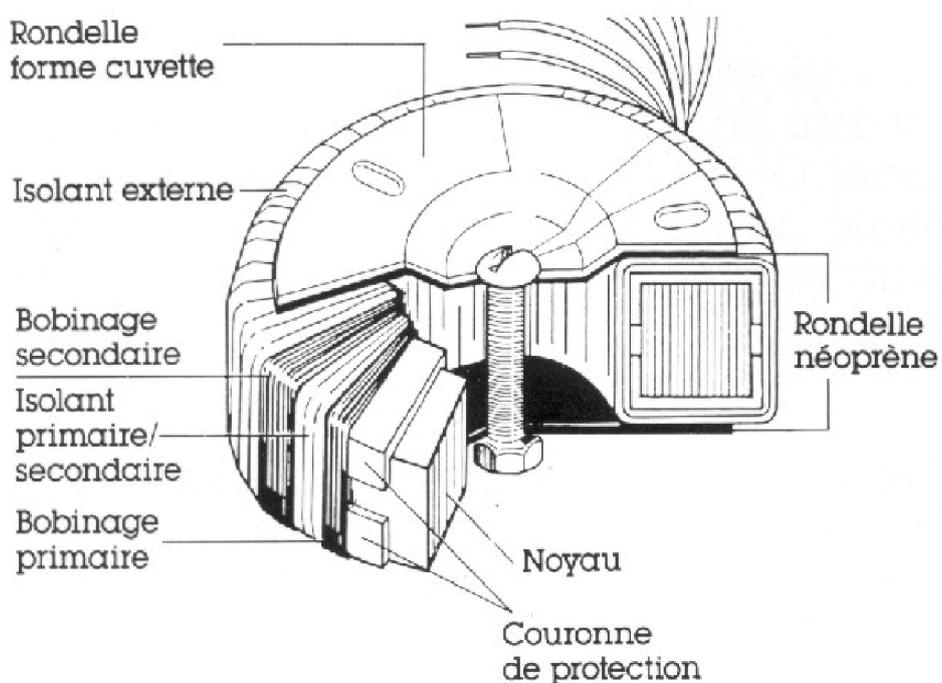
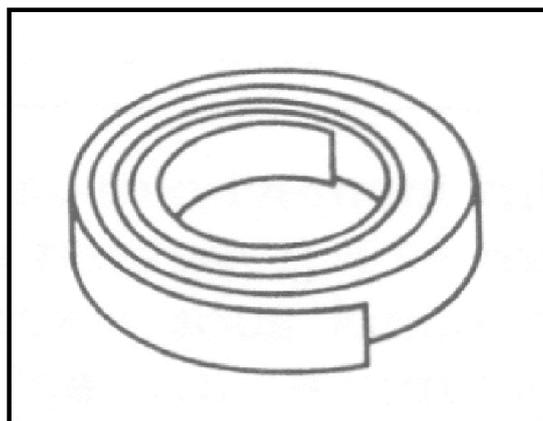


→ Les circuits toriques

S'il devait exister un transformateur idéal, nul doute qu'il ressemblerait au transformateur torique.



Ces circuits ont rencontrés un certain succès auprès des audiophiles de part leur faibles encombrements et la réduction de poids face aux transformateurs à tôles jointes. Ils sont assez « silencieux » du point de vue électromagnétique. De plus ils se comparent aux circuits « C » Core de part leur principe de conception, ou cette fois les feuillards sont disposés en spirale.



L'avantage de cette forme est la répartition homogène de l'entrefer sur l'ensemble du circuit, donc très peu de fuites magnétiques (faible rayonnement parasite susceptible de perturber les circuits voisins).

Pas de risques de vibration des tôles donc pas de gêne acoustique.

Dans ce type de circuit magnétique les pertes fer (celles du noyau) sont toujours très inférieures aux pertes cuivres (bobinages), d'où un rendement très important.

Pour donner un ordre d'idée :

Puissance 15VA -> 82%

Puissance 680VA -> 92%

Puissance 6800VA -> 95%

De plus le noyau magnétique sert de support de bobinage, c'est le seul montage permettant ce type de construction.

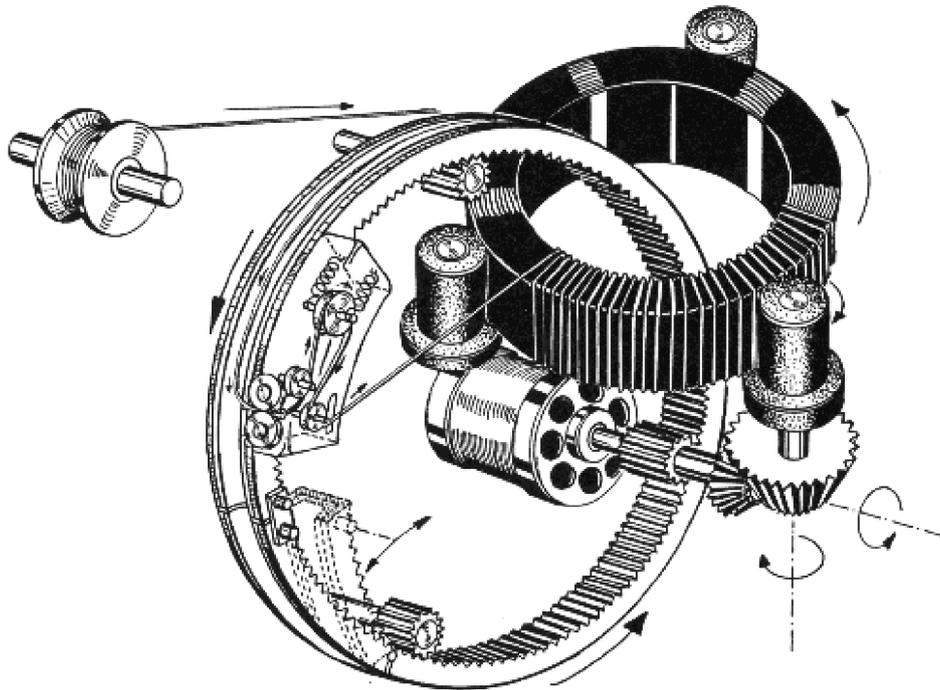
- Une meilleure densité de courant dans les enroulements est permise, car ils utilisent la totalité du noyau comme surface d'échange thermique.

La bonne répartition des bobinages optimise les couplages inductifs et répartit uniformément le champ magnétique.

On trouve aussi des capotages en alliages permettant d'obtenir des transformateurs « silencieux » du point de vue de l'émission électromagnétique.

Leur fixation par un point unique central est également un avantage non négligeable.

Malgré tout ils présentent un inconvénient majeur dans leur mise en œuvre qui nécessite une machine de bobinage fort complexe et coûteuse.



Ils restent par conséquent plus coûteux et sont utilisés essentiellement lorsque les facteurs (puissance/ volume) + rendement sont critiques.

Dans l'industrie les transformateurs à tôles jointes représente encore la grande majorité des fabrications compte tenu du prix de revient qui est déterminant.

En résumé, ces trois types de noyaux magnétiques offrent chacun des avantages et des inconvénients que nous résumons dans le tableau suivant :

Circuit magnétique	Tôles assemblées	Circuit « C » Core	Circuit torique
Pertes fer (selon puissance)	Moyennes à faibles (selon qualité tôles)	Faibles	Faibles
Rendement (selon puissance)	Elevé (selon qualité tôles)	Très élevé	Très élevé
Bobinage	Facile	Facile	Complexe
Dimensions et poids	Fort	Moyen à faible	Faible
Champ de fuite magnétique	Fort à moyen	Moyen à faible	Faible
Montage du circuit magnétique	Long	Ajustage et serrage par clé dynamométrique	Aucun sert aussi de support de bobinage
Prix de revient	Faible	Moyen	Elevé

Dans le cadre de notre projet nous opterons pour la solution torique qui dans notre cas présente plusieurs avantages :

- ✓ Encombrement et poids réduit.
- ✓ Faible rayonnement électromagnétique.
- ✓ Facilité de montage.
- ✓ Rendement élevé.

Bien évidemment les autres solutions sont également envisageables en tenant compte malgré tout des surcoûts que leurs inconvénients engendreront.

3. Les pertes d'un transformateur :

On distingue deux types de pertes dans un transformateur :

Les pertes « fer » et les pertes « cuivre ».

→ Les pertes « fer »

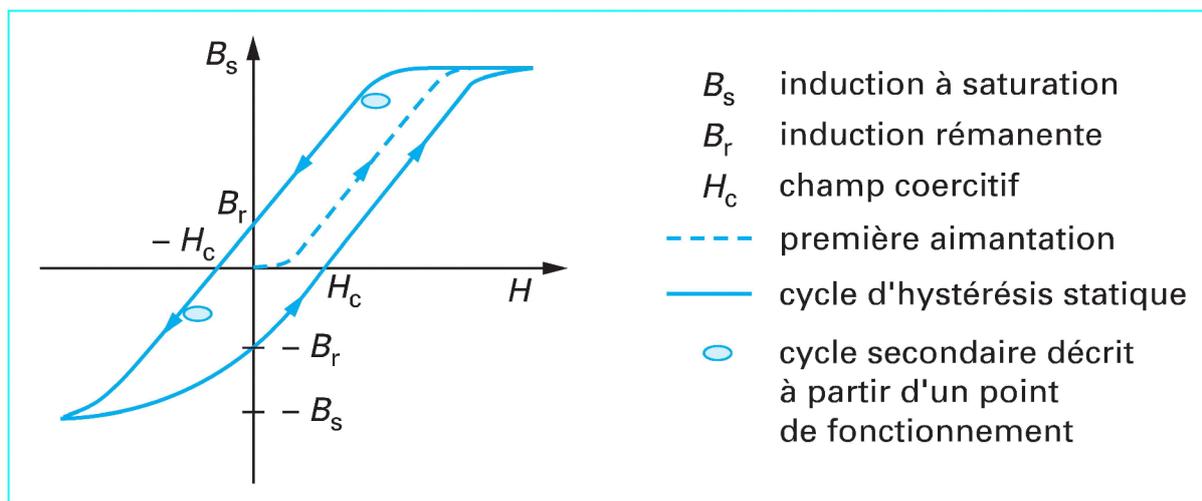
$$P_{\text{fer}} = P_{\text{hyst}} + P_{\text{Fouc}}$$

Elles sont d'origine électromagnétique, et deux phénomènes participent à cela :

Pertes par hystérésis :

Ces pertes sont dues à la différence d'énergie stockée pendant la croissance et celle restituée lors de la décroissance de H. Elles sont donc proportionnelles à la fréquence.

la courbe d'hystérésis.



Sur le graphique on constate 3 point particuliers:

a) lorsqu'on augmente l'intensité de champ magnétique H, on constate que l'induction n'augmente pas proportionnellement car la perméabilité des matériaux n'est pas constante et on obtient même une saturation, c'est-à-dire aucune augmentation de l'induction magnétique malgré l'augmentation de H.

b) lorsque l'intensité de champ magnétique disparaît, il reste un flux magnétique dans le matériau. La valeur de B lue lorsque H=0 s'appelle l'induction rémanente.

c) Il faut une certaine quantité d'intensité de champ en sens inverse pour annuler le champ rémanent. Cette valeur s'appelle le champ coercitif.

Au cours de chacun de ces cycles, le métal absorbe une énergie proportionnelle à la surface du cycle (J/m³).

L'hystérésis est donc un phénomène indésirable qui provoque une baisse du rendement et un échauffement des tôles.

Les pertes par hystérésis sont données par la formule suivante :

$$W = f \cdot K \cdot P \cdot B^n / 50$$

W= pertes en Watts

f= fréquence en Hz

K= coefficient de pertes en W/kg

P= poids du circuit en kg

B= induction en teslas

n= puissance du coefficient d'induction (je rappelle que nous prenons 1,7)

(Vous pouvez rencontrés 1,6 dans certains calculs)

On l'exprime parfois pour des raisons pratiques sous cette forme :

$$P_H = A_H \cdot V \cdot f$$

Cette valeur est donnée par le constructeur de tôle

Il est à noter que tous les matériaux ont des courbes différentes allant de formes très plates à des formes très larges, mais aucun n'a une grande induction rémanente et un grand champ coercitif.

Pertes par courant de Foucault :

Les pertes par "courants de Foucault", sont dues à la fréquence de l'excitation.

En effet, si on fait évoluer H périodiquement à une fréquence élevée, on observe toujours un cycle d'hystérésis, mais celui-ci sera d'aire plus importante que celui relevé pour des évolutions très lentes de H. L'aire du cycle augmente donc avec cette fréquence, et parler de cycle d'hystérésis n'a pas de sens si on ne précise pas pour quelle fréquence d'excitation on l'a relevé.

Les matériaux ferromagnétiques ont souvent des propriétés conductrices pour le courant électrique : en présence d'un champ magnétique variable, la force électromotrice induite crée les courants de Foucault qui circulent dans le matériau.

Ces courants créent un champ magnétique qui tend à s'opposer à la cause de la variation du champ extérieur.

Ces pertes sont proportionnelles au carré de la fréquence et au carré de l'induction. Donc plus la fréquence est élevée, plus ces pertes sont importantes, il en va de même pour l'induction.

$$P_{\text{Foucault}} = Kf \cdot B^2 \cdot f^2$$

La différence entre l'aire des deux cycles représente ce que l'on appelle les pertes par courants de Foucault. En fait elles sont dues aux courants de Foucault macroscopiques qui apparaissent avec l'augmentation de la vitesse de déplacement des parois de domaine due à l'augmentation de la fréquence.

L'effet de la fréquence est différent suivant les matériaux, notamment suivant leur résistivité. Les alliages **FeSi** classiques en électrotechnique ne sont utilisables que pour des fréquences de quelques dizaines Hz. Au fréquence plus élevées (kHz), on doit utiliser d'autres alliages, plus résistifs comme les ferrites (ferrimagnétiques) ou les amorphes (ferromagnétiques).

Comment réduire ces pertes :

- En **dopant** le matériau magnétique de **silice** (grain)
- En augmentant la résistance au passage des courants de Foucault en feuillant le noyau (empilage de tôle isolée les une des autres par oxydation).

→ **Les pertes « cuivre »**

Ce sont les **pertes** dans les **conducteurs** primaires et secondaires des bobinages du transformateur.

Ce sont donc les **pertes par effet Joule** dans les fils de cuivre au primaire et au secondaire telles que :

$$P_{\text{Joule}} = (R_{\text{fil}_{\text{primaire}}} \times i_c^2) + (R_{\text{fil}_{\text{secondaire}}} \times i_s^2)$$

On minimise ces pertes en adoptant des densités de courant moins élevées, donc des bobinages plus volumineux, ce qui conduit à utiliser des circuits magnétiques plus gros.

Bilan de puissance d'un transformateur :

$$P_{\text{absorbée}} = P_{\text{fournie}} + P_{\text{cuivre}} + P_{\text{fer}}$$