

DÉCHAUMET Bastien  
LEPAGE Julien  
RETHALLER Tom

# Travaux Personnels Encadrés

<b>THÈME</b>	Génération et transformation d'énergie
<b>SUJET</b>	Le compteur électrique
<b>PROBLÈMATIQUE</b>	Comment quantifier l'énergie électrique ?

# PLAN DU TPE

<b>PLAN DU TPE</b> .....	Page 2
<b>INTRODUCTION</b> .....	Page 3
<b>ANALYSE FONCTIONNELLE</b> .....	Page 4
<b>ÉTUDE DU COMPTEUR</b>	
PARTIE I .....	Page 5
Convertir l'énergie électrique en énergie mécanique	
PARTIE II .....	Page 13
Convertir l'énergie mécanique en information	
PARTIE III .....	Page 19
Compte-rendu des expériences	
<b>CONCLUSION</b> .....	Page 22
<b>SYNTHÈSES PERSONNELLES</b> .....	Page 23

# INTRODUCTION

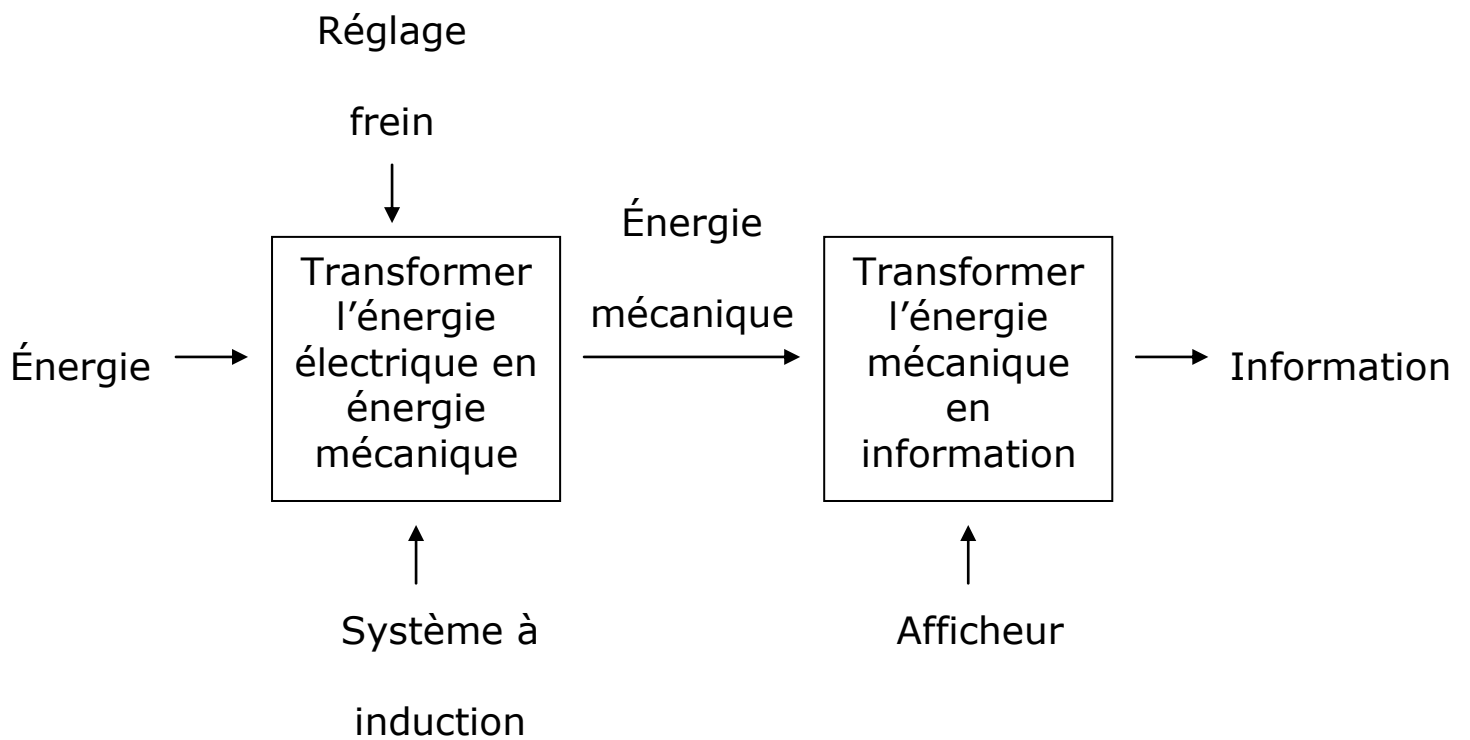
L'énergie est un élément nécessaire à la vie, l'homme a su utiliser certaines de ces énergies pour son confort et sa survie, et si l'on cherche l'énergie la plus utilisée par l'homme c'est l'électricité. L'électricité comporte plusieurs avantages qui font que l'homme ait construit sa société autour de cette énergie. L'énergie électrique est facilement transportable de plus son plus gros avantage est qu'elle est utilisable aussi bien en grosse quantité qu'en faible quantité, on peut s'en servir pour faire de l'énergie mécanique (moteur) ou simplement produire de la lumière (DEL).

L'énergie électrique est utilisée dans la plupart des foyers elle nous est fournie directement à domicile, pour être utilisée rapidement ; mais cette énergie a besoin d'être produite. Elle n'est donc pas gratuite, il est donc devenu nécessaire d'en évaluer le coût, d'où la nécessité de la quantifier. Or l'énergie électrique est difficilement quantifiable du fait de sa nature. C'est ainsi qu'est née le compteur électrique et le kilowattheure.

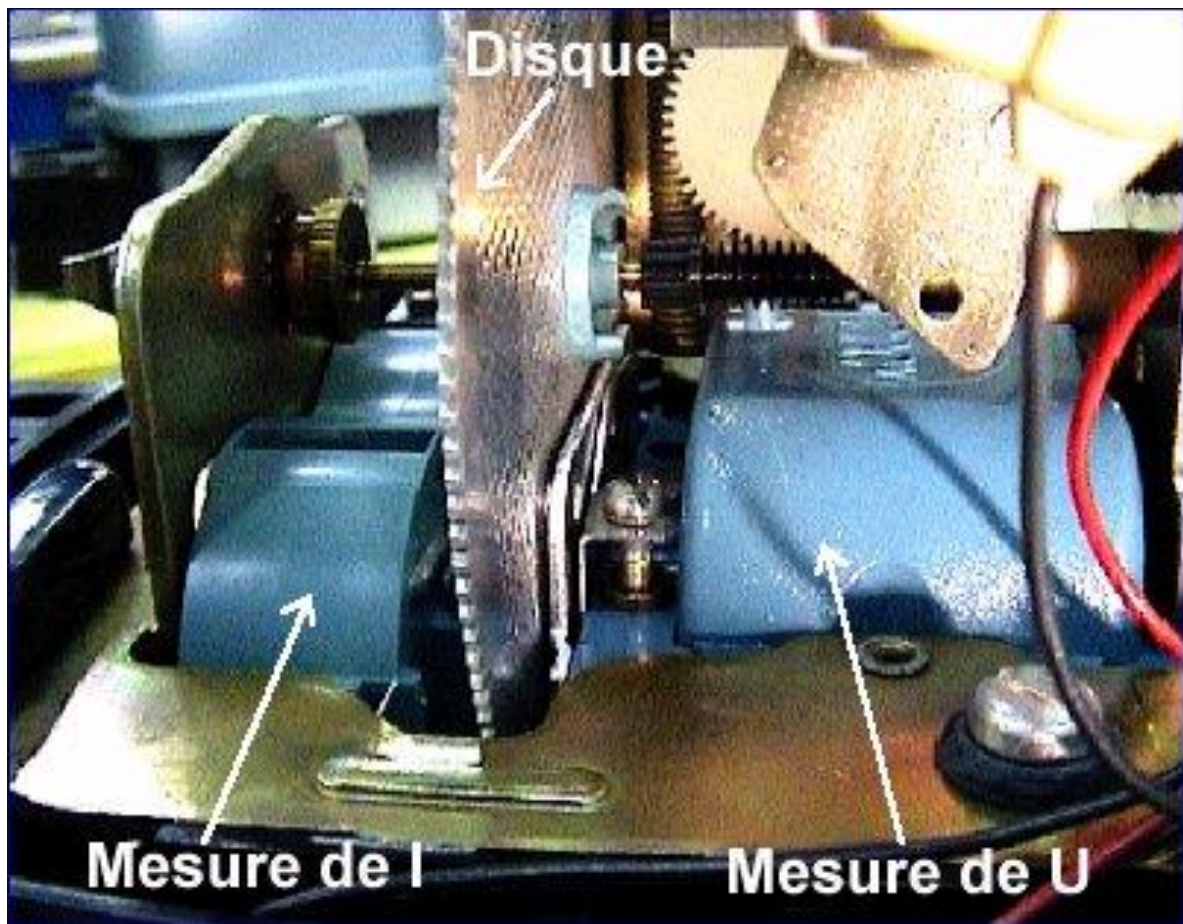
Le compteur électrique est un système individuel placé dans chaque foyer, il appartient au fournisseur de l'énergie. Il permet de quantifier l'énergie électrique en fonction du temps et de la puissance utilisée, l'unité est le kilowattheure. Le compteur électrique fonctionne en utilisant les phénomènes physiques liés à l'électricité notamment les champs magnétiques. Il est placé à l'entrée et à la sortie du système électrique d'un domaine.

Nous nous sommes proposé d'étudier le fonctionnement du compteur électrique sur différentes parties. En première partie nous avons étudié la conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique, puis en deuxième partie la conversion de l'énergie mécanique en information, et en fin, le compte rendu des différentes expériences que nous avons soumises au compteur électrique et leurs interprétations.

# ANALYSE FONCTIONNELLE



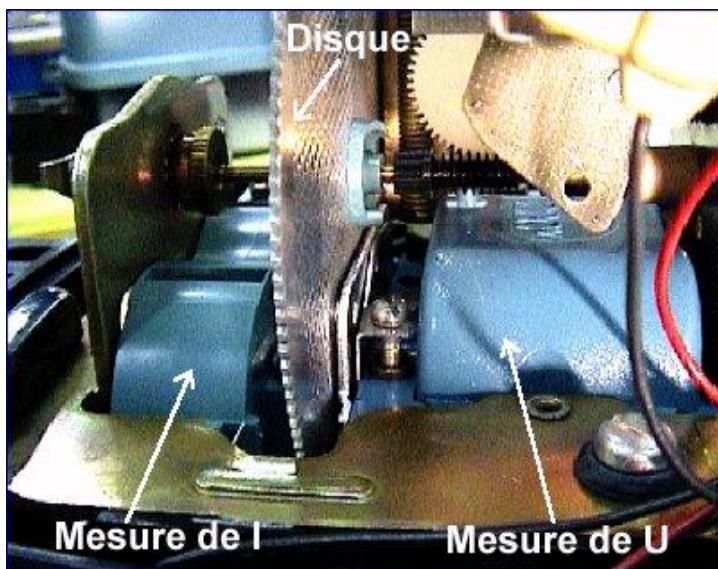
PARTIE I  
CONVERTIR L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE EN  
ÉNERGIE MÉCANIQUE



# 1 - La rotation du disque

L'énergie électrique est composée d'une tension et d'un courant électrique alternatif (dont la fréquence est de 50 Hz). Le disque est mis en rotation à une vitesse proportionnelle à la puissance active consommée ( $P=U \times I$ ). Ce sont les bobinages inducteurs qui font tourner le disque grâce aux courants de Foucault générés par les champs magnétiques variables.

Le compteur est composé de deux bobines : une bobine de tension et une bobine de courant.



Les noyaux 1 et 2 (voir sur le schéma 1) sont complémentaires : ils créent un noyau fermé (le disque est conducteur), ce qui forme un circuit électrique créant un champ magnétique variable très intense dans l'entrefer A et B. Sous l'effet de ce champ magnétique se crée un

flux proportionnel au courant  $I$ , qui est lui-même alternatif. Ce flux varie, ce qui crée un couple sur le disque et entraîne sa rotation.

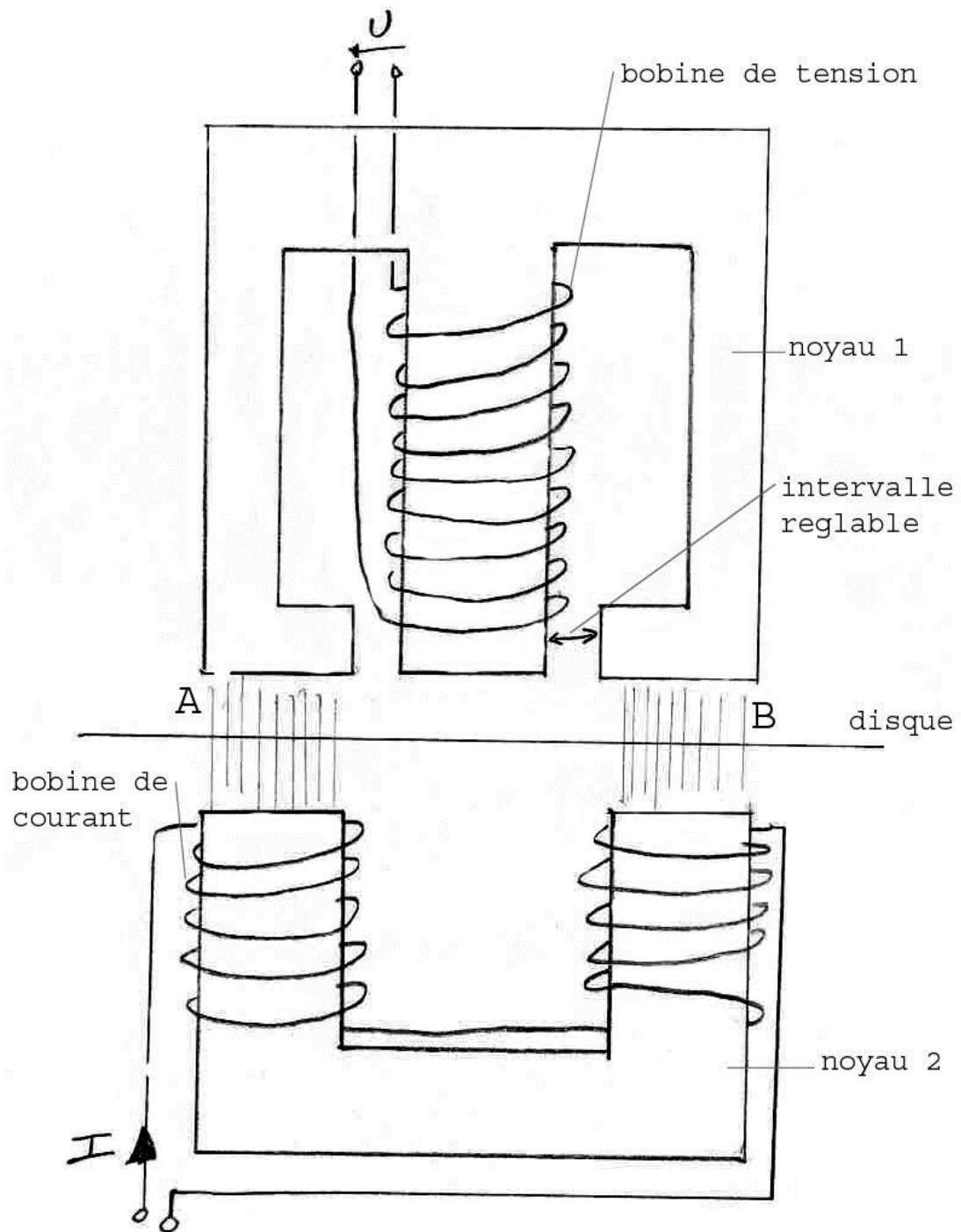


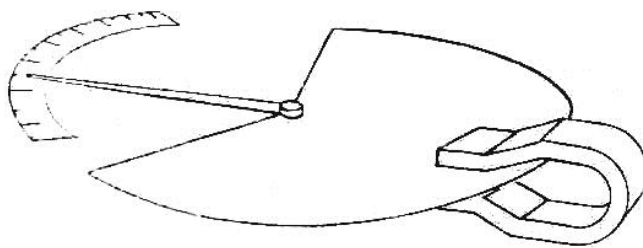
Schéma 1

## 2 - Le freinage du disque

Le frein magnétique utilise le même principe que lors de la mise en rotation du disque, autrement dit, les courants de Foucault, mais à l'inverse.

En effet, dans l'entrefer de l'aimant, le flux est constant, et en traversant l'entrefer, le disque coupe les lignes de champ magnétique du frein.

Or le mouvement d'un conducteur dans un entrefer provoque l'apparition d'une tension induite. Cette tension induite entraîne la circulation de courants électriques qui peuvent être très intenses. Donc l'interaction mécanique née de la circulation des courants s'oppose au mouvement qui lui donne naissance. Ce qui a pour effet de freiner le disque proportionnellement à sa vitesse.



Un secteur de cuivre  
ou d'aluminium,  
se déplaçant dans  
l'entrefer d'un aimant  
permanent

constitue

L'AMORTISSEUR MAGNETIQUE

### Schéma 2

Le frein magnétique permet de calibrer le compteur (le réglage est fait en usine).

Il est doté d'une vis qui, nous pensons, permet de modifier les lignes de champ magnétiques exercées dans l'entrefer. C'est pourquoi nous avons réalisé l'expérience n° 2 détaillée en troisième partie.



### 3 - Le wattheure

De l'énergie électrique circule par le compteur, une partie de cette énergie est utilisée pour la quantifier et en évaluer le coût. Seulement on ne paye pas la puissance électrique - autrement dit, le produit de la tension et du courant - mais nous payons des wattheures, c'est-à-dire un nombre de watts pendant une heure. Ce n'est pas une puissance mais une énergie que l'on mesure. Le compteur électrique prend en compte les valeurs instantanées de la puissance et le temps d'utilisation.

### 4 - L'axe du disque

Lorsque le disque entre en rotation, il faut qu'il y ait le moins de frottement possible pour ne pas fausser les valeurs, c'est pourquoi l'axe du disque est très important.

Il est constitué d'une barre métallique avec une liaison hélicoïdale pour entraîner la rotation des engrenages. Et aux extrémités une liaison ponctuelle et rotule.

La liaison ponctuelle est réalisée grâce à une petite tige métallique. La liaison rotule quant à elle est obtenue grâce à une bille auto-lubrifiée. La plupart des pièces sont en laiton.

Tout cela pour réduire au minimum les forces de frottements appliquées sur le disque lors de sa rotation.

Voir le schéma cinématique (schéma 3).

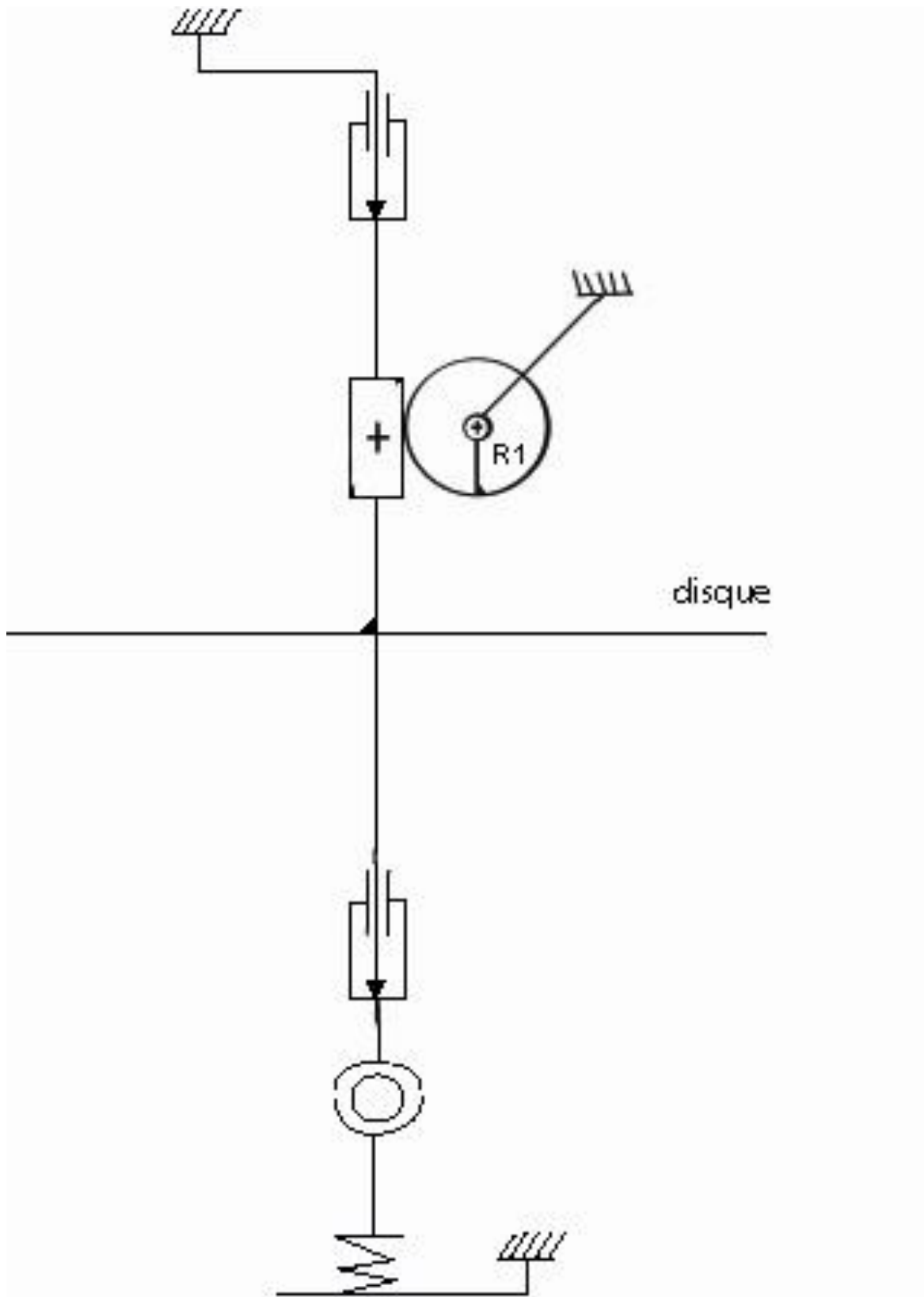


Schéma 3

## 5 - Isolation

Le support du compteur est en plastique, car le plastique n'est pas conducteur. Le système du compteur est relié au boîtier par deux vis qui sont elles-mêmes isolées par du caoutchouc.

Le compteur est donc isolé électriquement du monde extérieur ; seul les fils d'entrée et de sortie du courant électrique sont reliés à l'extérieur.

Le compteur fonctionne en puisant l'énergie nécessaire à son fonctionnement dans l'énergie électrique à mesurer utilisée par le consommateur. De plus, les parties métalliques en contact avec les bobines et noyaux sont isolées par de la résine isolante.

Les courants de Foucault bien que nécessaire au fonctionnement du système, peuvent être cependant nuisibles, en effet ils entraînent des échauffements. Pour y remédier on construit des noyaux en empilant des tôles minces séparées par du vernis isolant. Ces tôles sont isolées électriquement et sont rivetées ensemble. Les courants induits sont ainsi de plus faible intensité, limitant les pertes par effet Joule (voir les schémas 4 et 5).

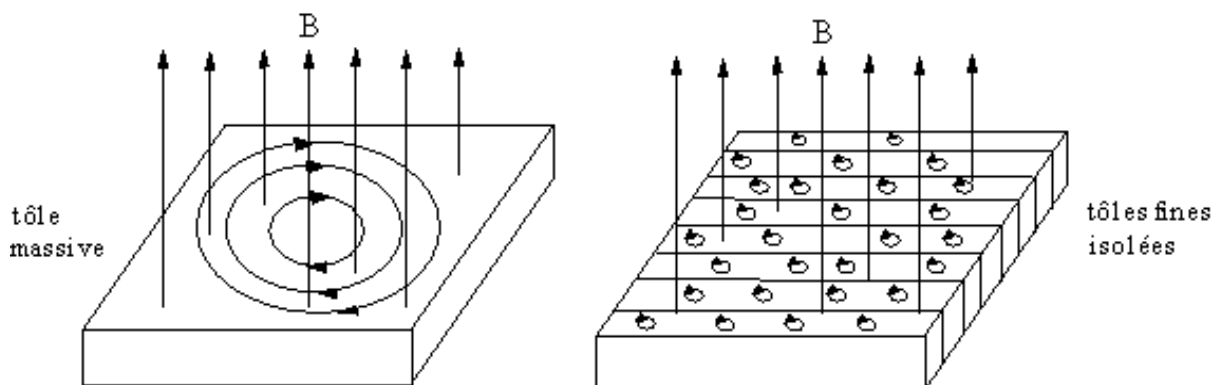


Schéma 4

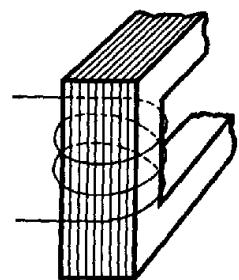
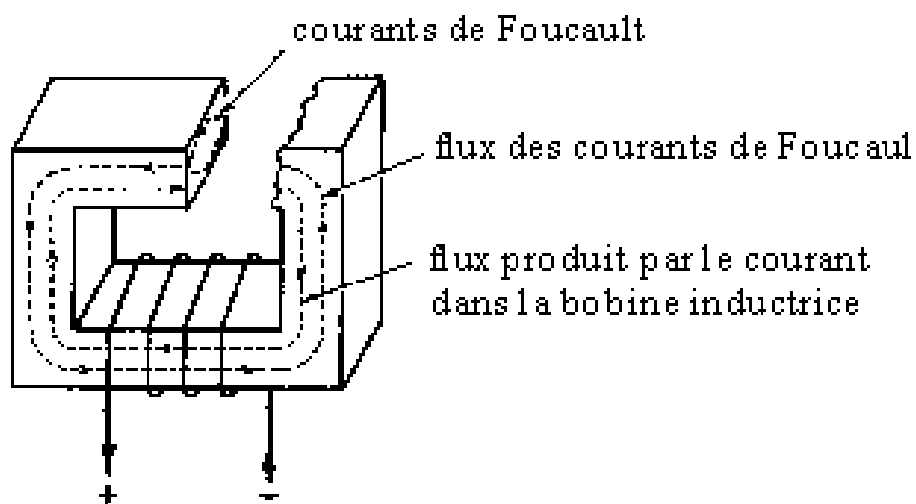
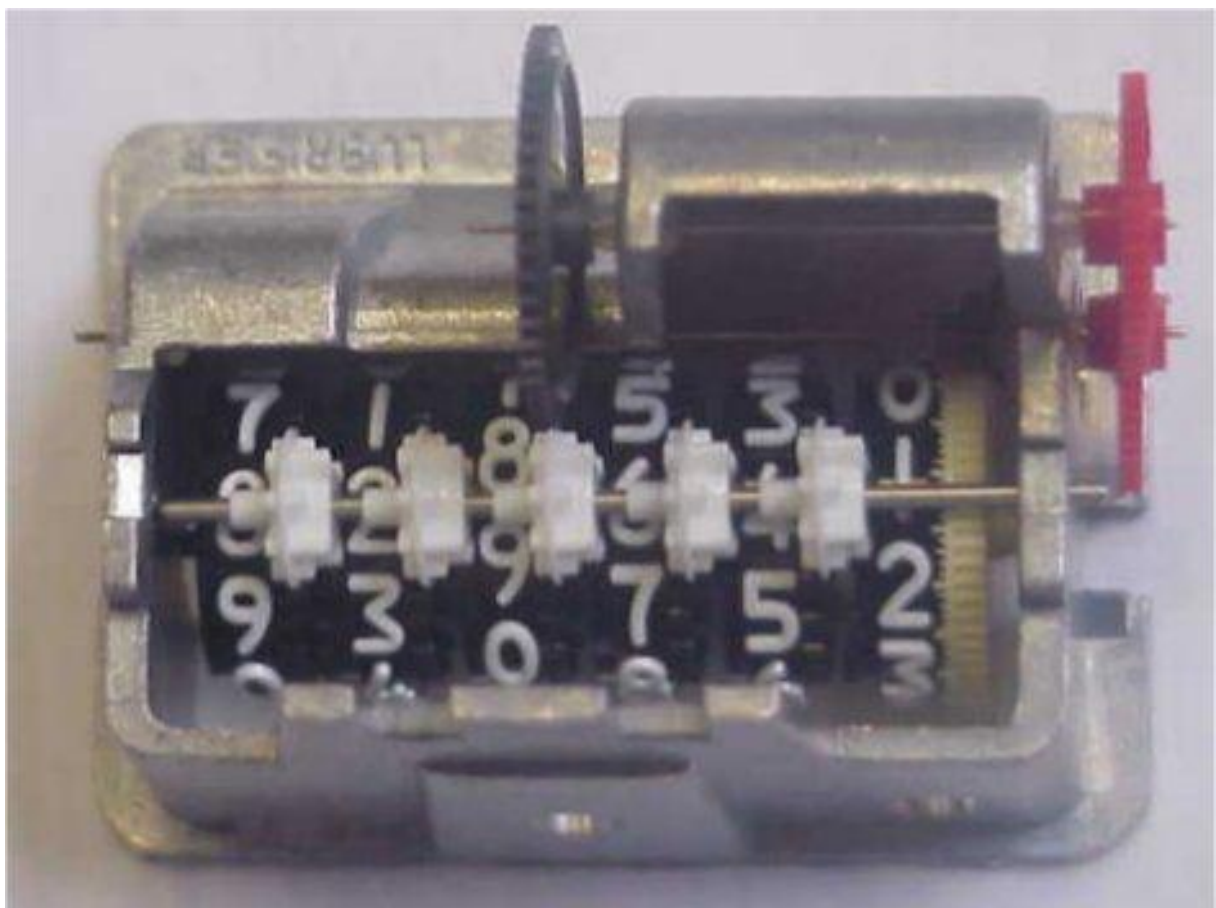


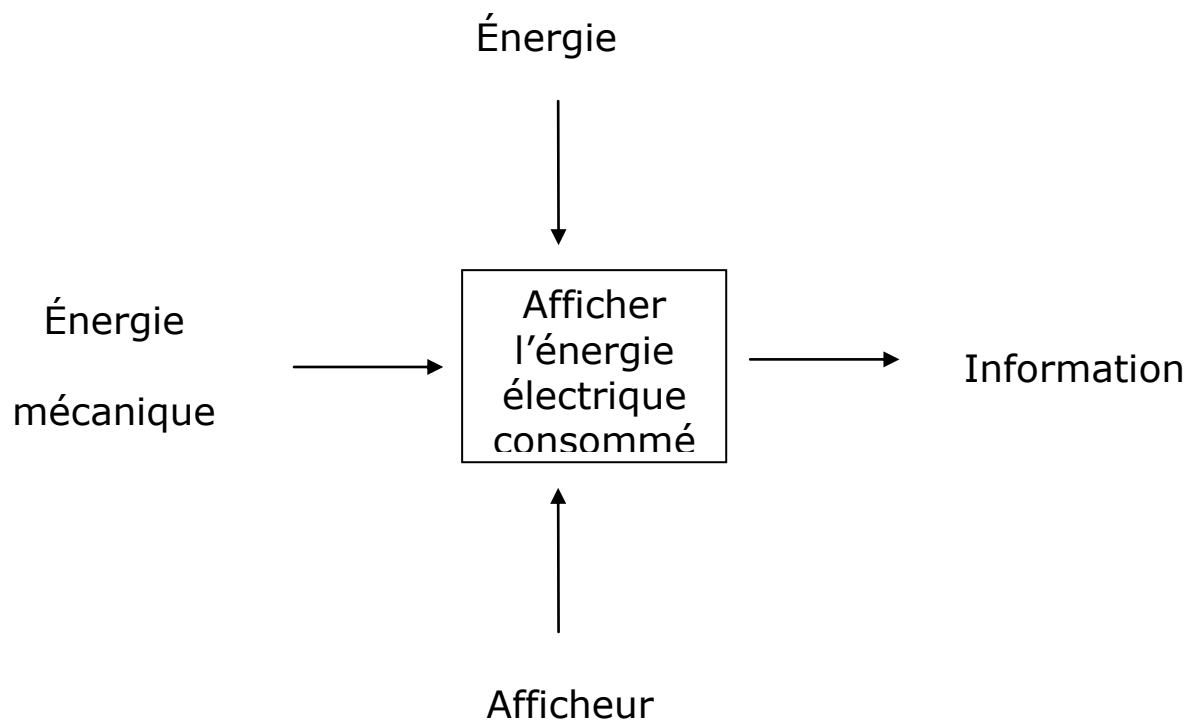
Schéma 5

PARTIE II  
CONVERTIR L'ÉNERGIE MÉCANIQUE EN  
INFORMATION



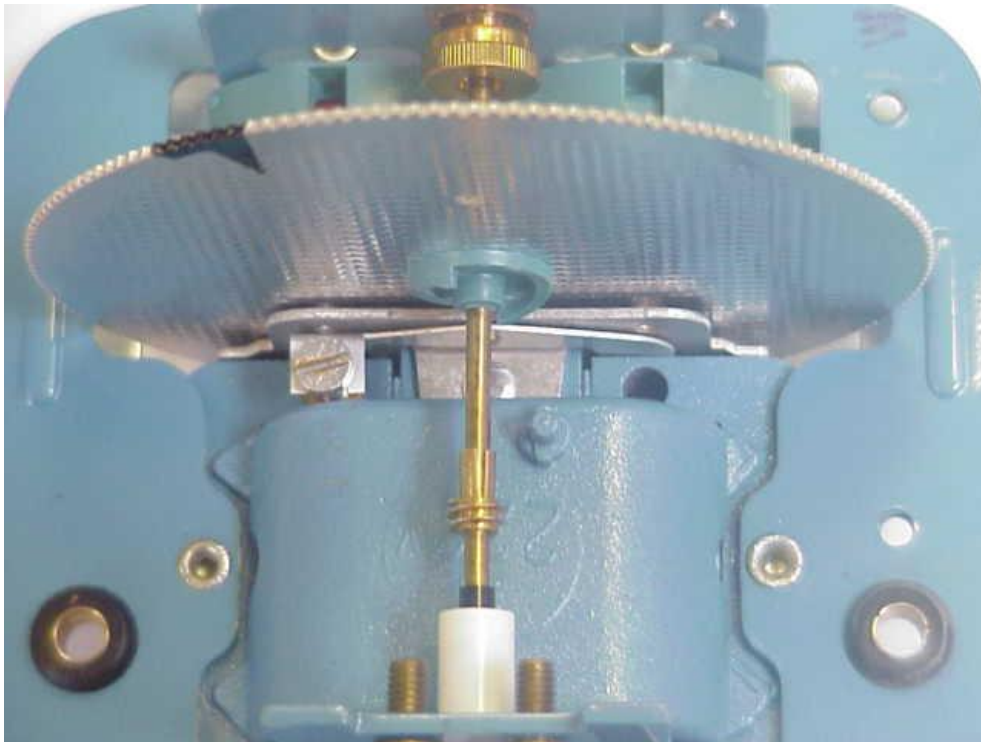
# 1 – Objectif du système

L'énergie mécanique d'entrée est convertie par une série d'engrenages en information directement interprétable par l'utilisateur par l'intermédiaire de l'afficheur. Cette information représente l'énergie consommée sous forme numérique.



## 2 – Énergie d'entrée

L'énergie d'entrée permettant le fonctionnement de l'appareil est d'ordre mécanique dans cette partie de l'appareil. Elle est en effet constituée d'un mouvement de rotation de la vis sans fin située au cœur de l'appareil.

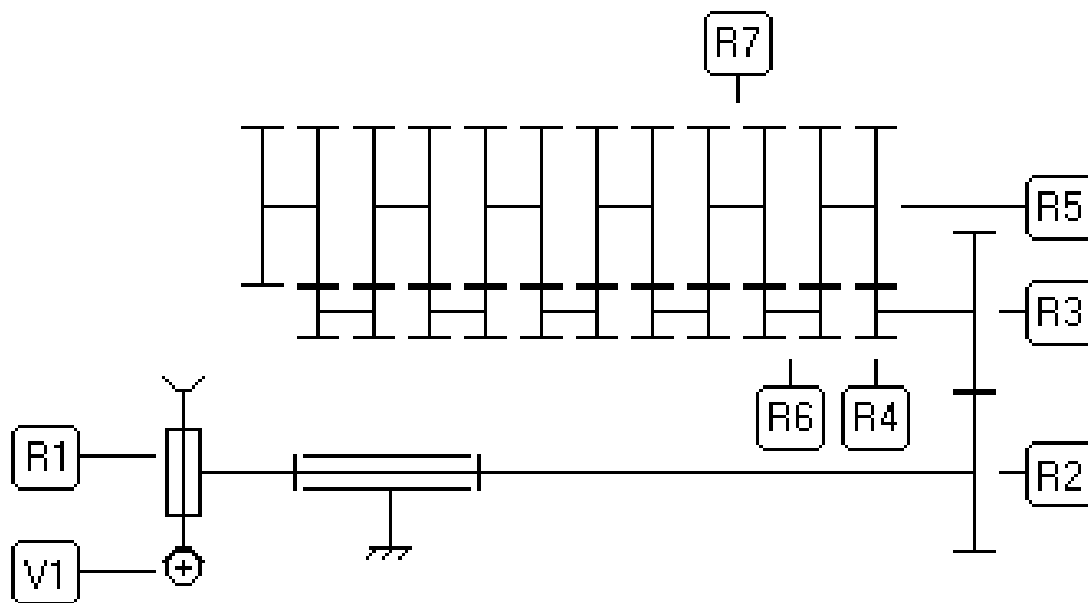


Cette vis sans fin est reliée au disque central et tourne donc à sa même vitesse. Le disque tourne lui-même à une vitesse proportionnelle à l'électricité consommée comme il l'est expliqué en partie 1.

On obtient donc une rotation de la vis sans fin en rapport direct avec l'énergie électrique consommée qui est l'élément à afficher.

### 3 – Schéma cinématique

Le schéma suivant explique le fonctionnement de l'afficheur et montre les différents engrenages.



Le mouvement part de la vis sans fin V1 et est transmis à une roue dentée R1. On arrive alors à un mouvement de rotation qui est transmis par une série d'engrenages jusqu'à la roue R5 qui est le premier chiffre de l'afficheur (le chiffre des unités). Sur cette roue se trouve un ergot qui fait tourner la roue suivante (R7) d'un chiffre (celui des dizaines). Et cela jusqu'au sixième et dernier chiffre de l'afficheur. Une fois le chiffre 999.999 atteint, le compteur revient à zéro.



## 4 – Description des pièces

Chaque roue possède ses caractéristiques propres :

<b>Pièce</b>	<b>Nombre de dents</b>	<b>Diamètre</b>
R1	50	170
R2	50	117
R3	45	132
R4	60	158
R5	4	57
R6	60	158

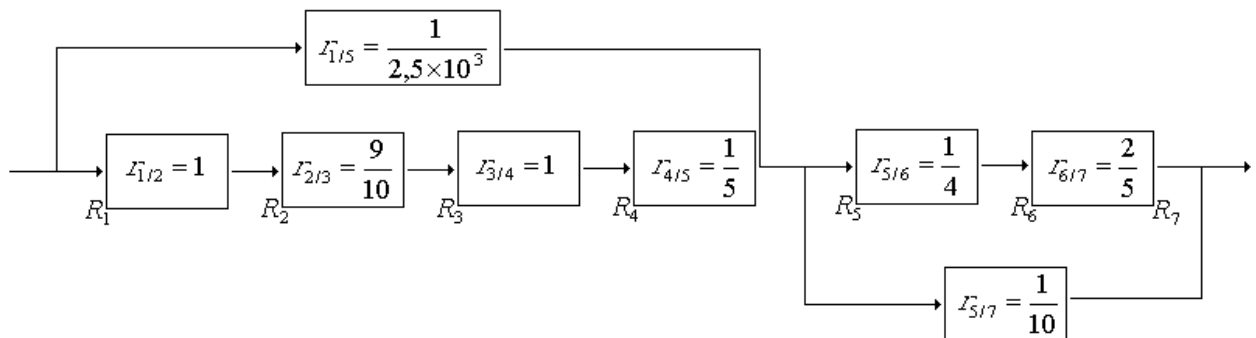
Toutes les mesures ont été réalisées directement sur l'afficheur à l'aide d'un pied à coulisse. Toutes ces roues sont contenues dans l'afficheur présenté en page de garde de cette seconde partie.

À noter que R5 possède une particularité : c'est une roue « double ». En effet, elle n'est pas symétrique et possède d'un côté 4 dents et 10 de l'autre.

C'est elle qui permet les transmissions d'une roue chiffrée à l'autre.

## 5 – Rapports de transmission

Des mesures des pièces, nous avons pu déduire les rapports de transmission suivants :

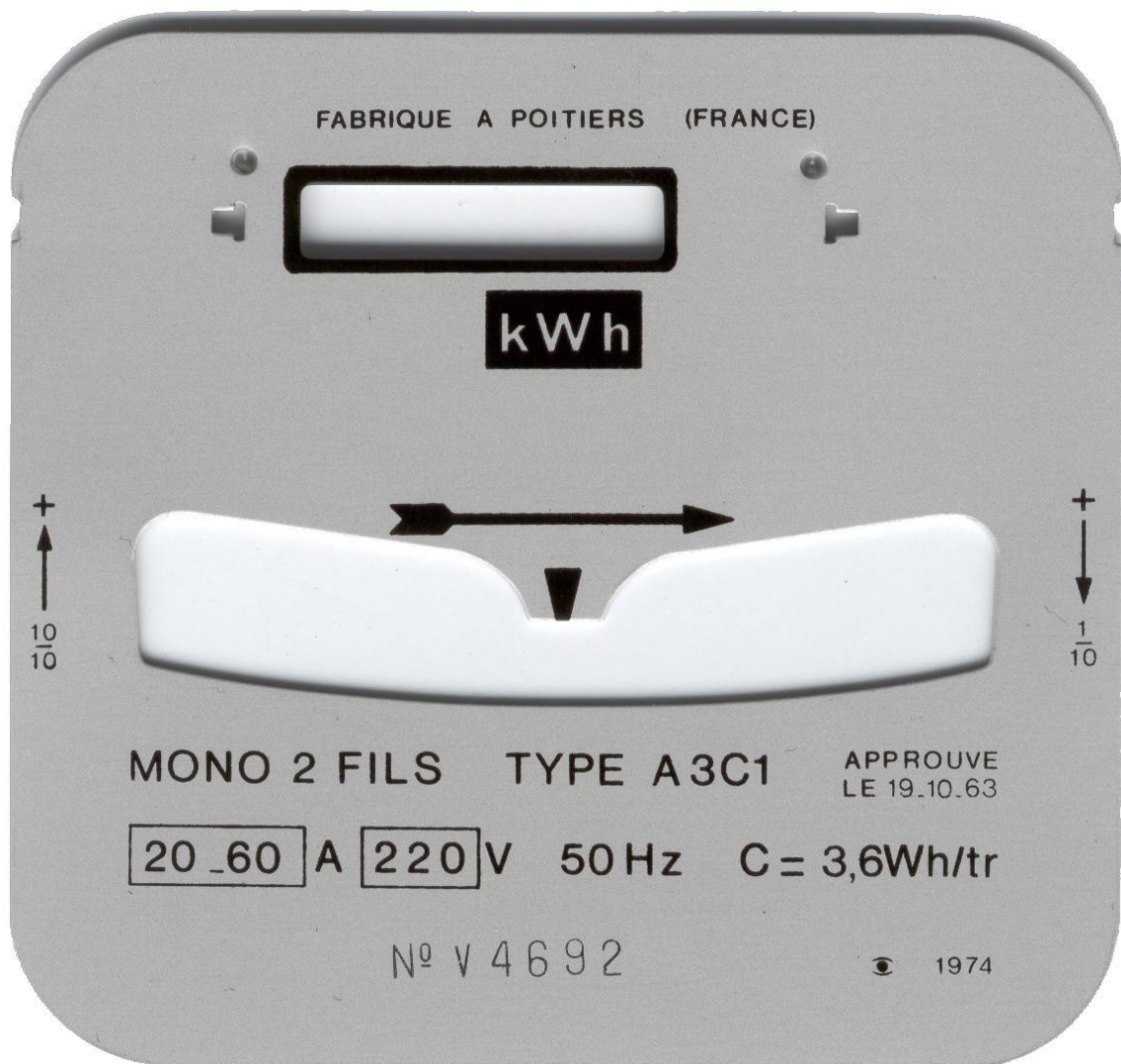


La première partie (de  $\Gamma_{1/2}$  à  $\Gamma_{4/5}$ ) représente la série d'engrenages qui transmettent le mouvement de rotation de la vis sans fin aux roues chiffrées, et la deuxième partie correspond au rapport des roues chiffrées les unes par rapport aux autres. Bien évidemment, le rapport est de  $1/10$ , ce qui correspond effectivement au rapport entre les chiffres en base 10 dans laquelle est exprimée la consommation.

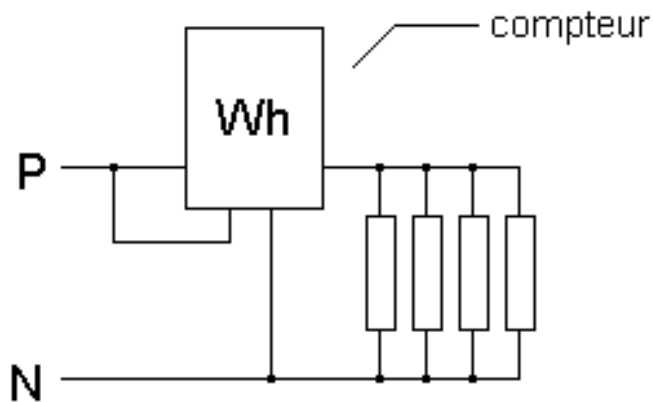
Le rapport  $\Gamma_{1/5}$  obtenu est celui qui a permis à EDF de calculer les valeurs affichées en façade de l'appareil, à savoir  $C=3,6$  Wh/tr (voir page suivante).

# PARTIE III

## COMPTE-RENDU DES EXPÉRIENCES



# 1 - EXPÉRIENCE N°1



$$U = 50V$$

$$I = 12A$$

$$R_{TOTAL} = 4\Omega$$

$$P = U.I = 600W$$

$$2,5W.h.tr^{-1}$$

**Expérience :** Mise sous tension d'un compteur EDF standard. Le compteur affiche  $2,5 W.h$  par tour dans les conditions secteur.

$$1 W.h = 0,4tr$$

$$600 W.h = 240tr$$

$$600 W.min = 4tr$$

Donc, en une minute à une puissance de  $600 W$ , le disque fait 4 tours. Expérimentalement, nous avons mesuré que le disque effectuait 4 tours en 1 minute 15, ce qui reste proche des prévisions théoriques.

Nous avons ensuite essayé avec un compteur démonté qui affichait  $3,6W.h$  par tour. Mais ce rapport était trop élevé pour faire tourner convenablement le disque et nous n'avons pu prendre aucune mesure.

## 2 - EXPÉRIENCE N°2

Dans notre deuxième expérience, nous avons utilisé une alimentation type secteur :

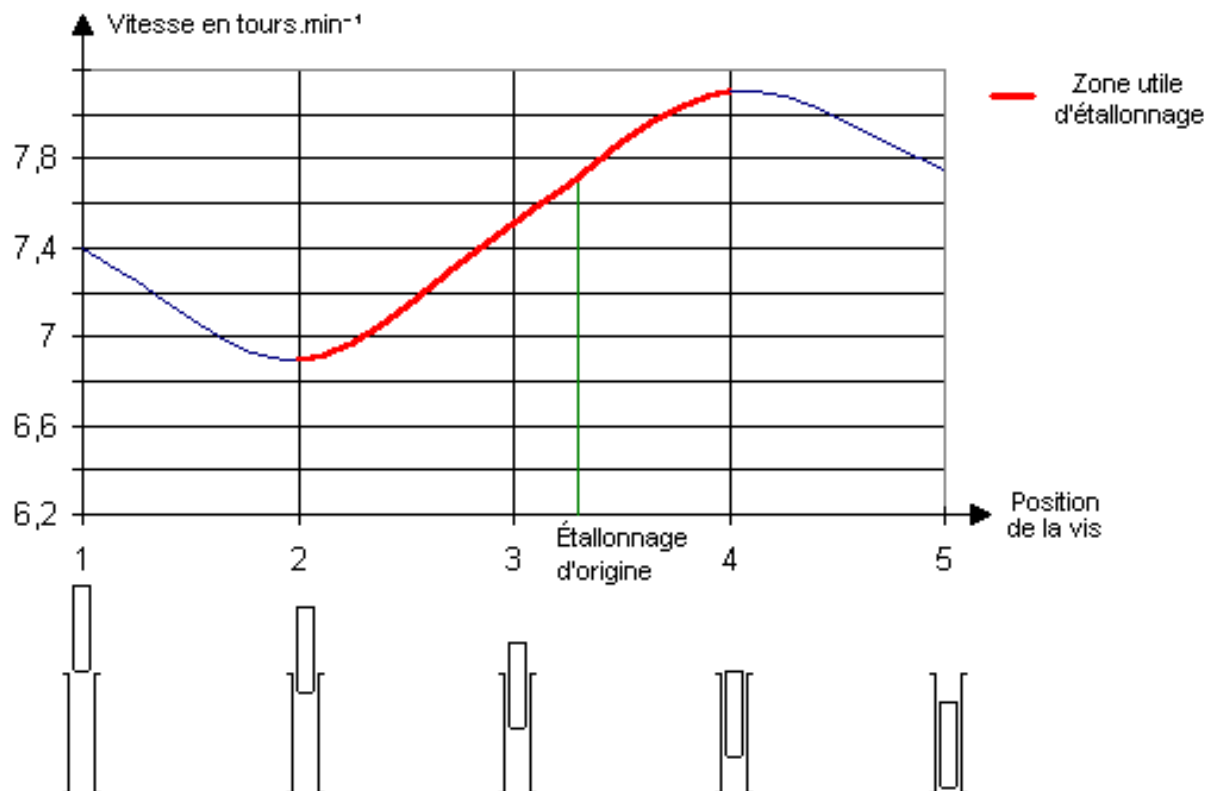
$$I = 4,5 A$$

$$U = 220 V$$

$$P = 1 kW$$

Nous avons vérifié son étalonnage à  $3,6 W.h$  par tour : il doit faire à  $1 kW$ , 5 tours en une minute 5 secondes (ce que nous avons vérifié expérimentalement).

Et nous avons voulu mesurer l'influence du frein magnétique du compteur. C'est un frein qui sert à l'étalonnage du compteur à l'installation. Nous avons pris plusieurs mesures de la vitesse du compteur en fonction de ment de la vis. La vitesse du compteur suit la courbe suivante : (interpolation libre).



## CONCLUSION

L'électricité est une source d'énergie utilisable aussi bien en grande quantité qu'en faible quantité. C'est pourquoi elle est autant utilisée, et comme la plupart des énergies, il était nécessaire de la quantifier, surtout sachant que cette énergie est livrée au consommateur à domicile. Donc pour des raisons de coût et de consommation, le compteur électrique fut créé.

L'intérêt du compteur est qu'il est quasiment autonome : il puise l'énergie nécessaire à son fonctionnement dans les champs magnétiques du courant électrique consommé. Il existe plusieurs améliorations du compteur, notamment la possibilité d'un changement de tarif grâce à un circuit électrique captant les variations de fréquence du courant (des variations gérées par le fournisseur).

Les possibilités d'évolution du compteur électrique sont assez restreintes : les améliorations autres que les changements de tarif (relais), pourrait être un nouveau système pour le disque de façon à ce qu'il y ait moins de perte d'énergie lors de sa rotation ; ou alors un système non pas mécanique mais directement électronique, envoyant les données directement chez le fournisseur. En fait le compteur électrique tel que nous le connaissons est déjà vieux, il a subi peu d'évolution et il risque de rester encore longtemps, en attendant que le compteur électronique ne se répande...

# SYNTHÈSE PERSONNELLE

Tom Rethaller

Le compteur électrique est présent depuis des années dans tous les foyers. C'est un objet auquel nous nous sommes habitués et que nous ne remarquons plus - excepté lorsque qu'un employé EDF vient relever ce qu'il a comptabilisé : l'énergie électrique consommée.

Même si le cadre de notre étude était défini par "Génération et transformation d'énergie" et que le compteur ne génère ni ne transforme d'énergie, il est quand même à la base de notre système de distribution et cela vient du fait que toute consommation d'énergie électrique a un prix.

Nous avons donc trouvé intéressant d'étudier un compteur classique, qui présente l'avantage d'être assez "simple", non pas dans son principe de fonctionnement qui fait appel à des lois physiques très complexes, mais dans sa conception et fabrication : il est composé de pièces assez simples et dissociables. Nous avons donc pu facilement le démonter et l'étudier.

Je me suis occupé de rédiger la partie expérimentale du TPE qui rapporte les expériences faites en groupe. Ces expériences nous ont beaucoup apporté car la partie théorique dirigée par les deux autres membres du groupe nous a paru abstraite au début et il a parfois été difficile de relier le théorique à la pratique (notamment sur le principe de l'induction). Ces expériences étaient intéressantes car nous n'aurions pas pu les faire en dehors du cours (la première utilisait un courant de 12 Ampères) et parce qu'elles mettaient le compteur dans sa situation de fonctionnement normal. Nous avons eu la chance d'avoir bénéficié d'un compteur en état, ce qui est rare tant ils sont protégés.

Nous avons donc étudié le compteur d'un point de vue pratique, sans vraiment approfondir les lois théoriques complexes. Nous avons par exemple posé la question suivante : "Comment est étalonné le compteur au tarif en vigueur, et serions-nous capables de l'étalonner nous-mêmes?". Cette question nous a effectivement amenés au réétalonnage du compteur dont le rapport figure dans le présent dossier.

Mais les phénomènes physiques que nous n'avons pas pu expliquer nous ont tout de même paru assez fascinants et nous n'imaginions pas, au moment de commencer notre étude, que cet objet d'apparence anodine qu'est le compteur nous amènerait à nous pencher sur de tels phénomènes.

# SYNTHÈSE PERSONNELLE

Julien Lepage

Dans le cadre du thème « génération et transformation d'énergie », nous avons décidé de nous intéresser à l'un des objets les plus répandus en France : le compteur électrique.

En effet, son mécanisme rentrait parfaitement dans le cadre du sujet puisque les deux transformations d'énergies les plus courantes y apparaissent : la conversion d'énergie électrique en énergie mécanique ainsi que la conversion d'énergie mécanique en information directement interprétable par l'utilisateur.

Nous avons pu nous procurer un compteur qui nous a permis d'étudier son fonctionnement, ses composants et de réaliser des expériences. Même si il fait appel à des notions d'électricité très complexes, nous avons pu néanmoins étudier un certain nombre de phénomènes électriques avec une approche expérimentale plutôt que scientifique.

Pour ce qui est de la mécanique, nous avons pu analyser tous les systèmes d'engrenages et sommes parvenus à des conclusions intéressantes sur les transmissions de mouvement.

Pour ma part, j'ai étudié en détail le fonctionnement mécanique de l'appareil. Je me suis posé la question de savoir comment un mouvement de rotation du disque central permettait d'obtenir la valeur numérique de la consommation électrique, et tout cela par un système composé exclusivement d'engrenages et d'une vis sans fin.

Les expériences que nous avons réalisées nous ont permis de comprendre et de justifier les informations présentes sur le compteur comme le rapport entre la consommation et la vitesse de rotation du disque. Nous avons également pu avoir une idée plus précise de ses capacités en mesurant des consommations instantanées importantes, à savoir une intensité électrique de douze ampères.

Finalement, nous avons appris à connaître les principes de fonctionnement d'un compteur qui est présent dans tous les foyers mais dont les principes électriques et mécaniques restent malgré tout peu connus car ses fabricants livrent le moins d'informations possibles à leur sujet afin éviter toute fraude. Fraudes qui sont d'ailleurs comme nous avons pu le constater peu évidentes à mettre en place en raison de nombreuses mesures de sécurité mises en place.



# SYNTHÈSE PERSONNELLE

Bastien Déchaumet

Le compteur électrique est un élément présent dans quasiment chaque foyer. Il était intéressant de lier l'énergie avec le temps, notamment l'énergie électrique. Car la générer nécessite de la quantifier, notamment pour des raisons de coût. De plus le compteur EDF est un élément présent quasiment partout sans pour autant que l'on connaisse son fonctionnement, c'est pourquoi j'ai été attiré par ce sujet. Le plus difficile a été de trouver un compteur et d'avoir le droit de l'ouvrir pour l'étudier. Car l'EDF conserve ses compteurs et surtout les études effectuées sur les compteurs. Donc après avoir eu le compteur, avoir la documentation c'est avéré beaucoup plus dur.

Certains phénomènes physiques exercés dans le compteur sont très intéressants, mais en expliquer le fonctionnement nous a posé certaines difficultés, à cause du manque de documentation et de la difficulté du sujet. Notre TPE comporte donc beaucoup d'appréciations personnelles, c'est pourquoi nous avons évité de rentrer trop en détail dans les sujets abordés. Nous avons tout de même réussi à faire des expériences avec le compteur et le matériel disponible dans le lycée.

Au début le thème ne m'a pas particulièrement attiré, mais lorsque l'on a ouvert le compteur, et vu ce qui le compose, et surtout lorsque l'on a commencé à faire des hypothèses sur son fonctionnement ; c'est de suite devenu beaucoup plus intéressant.

La partie sur les champs magnétiques générés par l'énergie électrique m'a particulièrement plus. Les phénomènes engendrés par l'électricité sont impressionnants. Le compteur est un très bon exercice sur les champs magnétique car, il utilise le même phénomène mais pour des utilisations contraires, pour générer un mouvement et pour le freiner.

Seulement le sujet aurait demandé beaucoup plus de temps de travail et c'est dommage, car il nous restait plusieurs autres points intéressants à approfondir. Le compteur a nécessité un travail collectif car il fallait que chaque membre du groupe connaisse l'étude des autres pour mieux comprendre le fonctionnement du compteur, car beaucoup de choses sont liées. Au final je pense tout de même avoir appris suffisamment de choses sur le compteur et ne regrette pas de m'être intéressé au sujet, même si nous avons été confrontés à de nombreuses difficultés notamment pour la recherche d'information, et malheureusement le manque de temps pour l'étude.

En général le travail de groupe a été efficace par moment, et moins par d'autre mais sinon au final je pense avoir été satisfait de cette expérience.