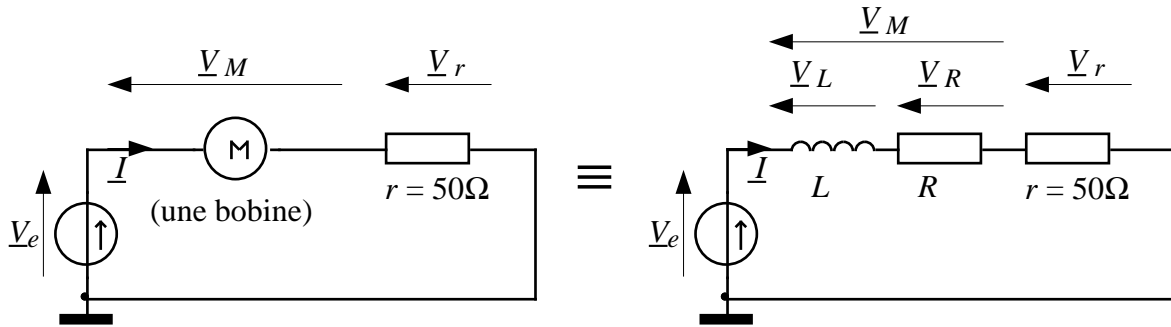


### A11 - Etude d'une bobine

I- Mesurer à l'ohmmètre la valeur de la résistance  $R_0$  d'un enroulement du moteur.

II- On considère le montage expérimental ci-dessous. Le bobinage moteur est donné sous la forme de son schéma équivalent série.



1)  $v_e(t)$  est une tension sinusoïdale pure de fréquence  $f = 120$  Hz et de valeur efficace  $V_{eff} \approx 2$  V. Relever à l'oscilloscope (et imprimer) les graphes des tensions  $\{V_r, V_e\}$ , puis  $\{V_r, V_M\}$ .

2) On choisit pour origine des phases le courant  $I$ . Mesurer la valeur efficace et la phase des tensions  $V_e$ ,  $V_r$  et  $V_M$ .

2) Écrire les expressions analytiques  $v_e(t)$ ,  $v_r(t)$  et  $v_M(t)$ .

3) Vérifier par le calcul (en utilisant les nb complexes) que :  $V_e = V_r + V_M$

4) Tracer sur papier millimétré le diagramme de Fresnel des tensions  $V_e$ ,  $V_r$ ,  $V_M$ ,  $V_L$ , et  $V_R$ .  
Echelle :  $0,1V_{eff}/cm$ .

5) Etablir une relation entre les valeurs efficaces :  $V_M$ ,  $V_R$ , et  $V_L$  ; et :  $V_e$ ,  $V_r$ ,  $V_R$ , et  $V_L$ .

6) Sachant que  $V_R = R.I$  et  $V_L = L\omega I$ , en déduire  $R = f(r, V_R, V_r)$  et  $L = g(r, V_L, V_r, f)$ . **A.N.**

### III- Application : étude systématique des propriétés physiques d'un bobinage.

On étudie les propriétés d'un bobinage en fonction de la fréquence par la méthode de mesure du paragraphe II.

A l'aide d'une feuille de calcul EXCEL, préparer le tableau ci-dessous, et saisir les formules (tirées du §II) permettant d'effectuer les calculs numériques.

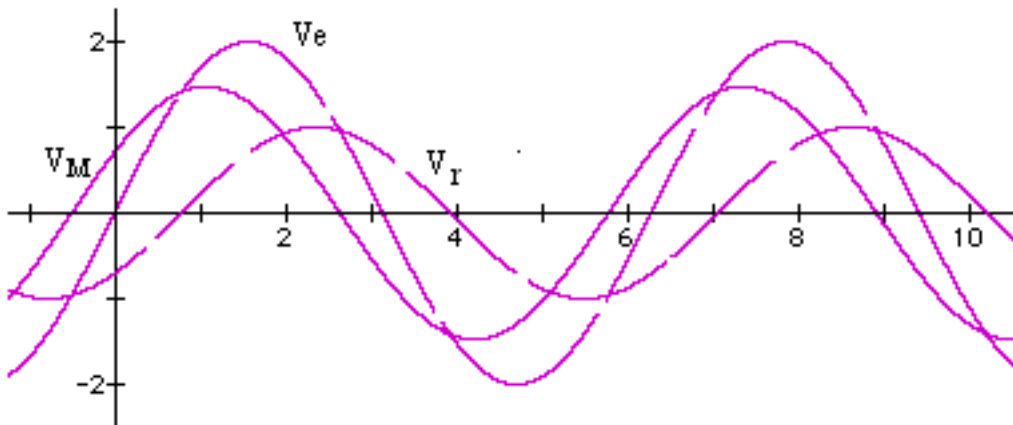
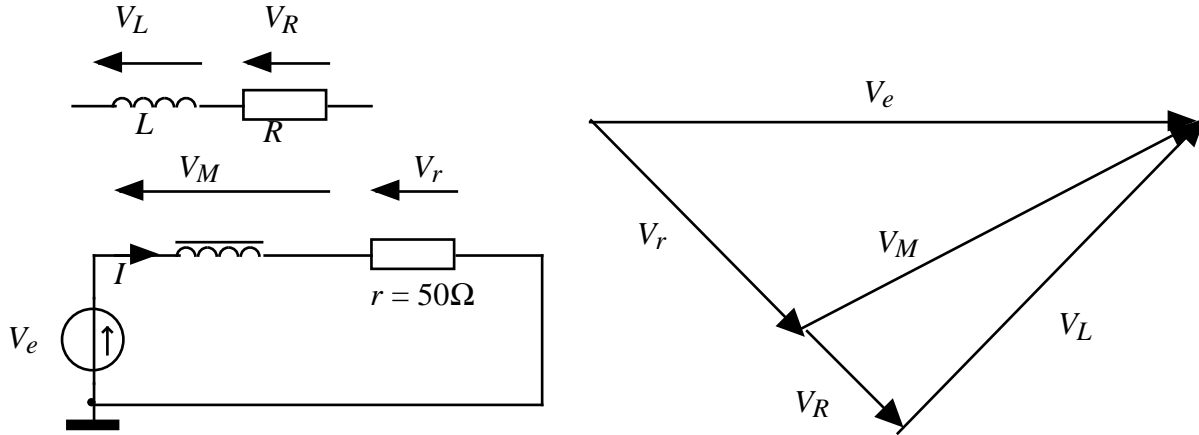
Remplir le tableau en faisant varier la fréquence, de 20 Hz à 2000 Hz, pour différentes bobines (enroulement de moteur, bobine à noyau, à air, torique,...). Tracer à l'aide du module graphique les courbes  $R(f)$ ,  $L(f)$  et  $|Z|(f)$ . Conclusion : quel est le bobinage dont les caractéristiques se rapprochent le plus d'un circuit RL idéal ? Que dire des autres bobinages ?

| F (Hz) | Ve (V)  | VM (V) | Vr (V) | VR (V) | VL (V) | R (Ω) | L (H)    | Z (Ω) |  |
|--------|---|--------|--------|--------|--------|-------|----------|-------|--|
| 20     | 1,55  | 0,47   | 1,13   | 0,40   | 0,246  | 17,71 | 8,672e-2 | 20,8  |  |
| etc... | <i>(ceci est un exemple, qui permet de vérifier le bon fonctionnement des formules saisies)</i> |        |        |        |        |       |          |       |  |

## Commentaires

### Etude des variations de la résistance et de l'inductance de différentes bobines en fonction de la fréquence

#### 1. Méthode de mesure & calculs



$$\left\{ \begin{array}{l} V_M^2 = V_R^2 + V_L^2 \\ V_e^2 = (V_R + V_r)^2 + V_L^2 \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} V_R = \frac{V_e^2 - V_M^2 - V_r^2}{2V_r} \\ V_L = \sqrt{V_M^2 - V_R^2} \end{array} \right. \text{ et } \left\{ \begin{array}{l} I = \frac{V_r}{r} \\ V_R = RI \\ V_L = L\omega I \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} R = r \frac{V_R}{V_r} \\ L = \frac{r}{2\pi f} \frac{V_L}{V_r} \\ Z = \sqrt{R^2 + (L2\pi f)^2} \end{array} \right.$$

Cette méthode de mesure permet d'étudier facilement l'évolution de la résistance et de l'inductance d'une bobine en fonction de la fréquence. Sur le papier, les valeurs de celles-ci devraient être constantes et indépendantes de la fréquence ! En pratique il n'en est rien, à cause de l'influence prépondérante du noyau (s'il y en a un, bien sûr) : l'échauffement de celui-ci se traduit par des pertes Joule équivalant à une résistance apparente venant s'ajouter à la résistance électrique du fil bobiné. Il faut également tenir compte de l'effet de peau : en courant alternatif, la densité d'électrons dans le conducteur diminue de la surface vers le centre de celui-ci, ce qui diminue sa section utile et augmente d'autant sa résistance :  $R = \frac{\rho \cdot l}{S} \Rightarrow$  si  $S$  diminue,  $R$  augmente. Cet effet est important en haute fréquence.

Exemples pages suivantes.

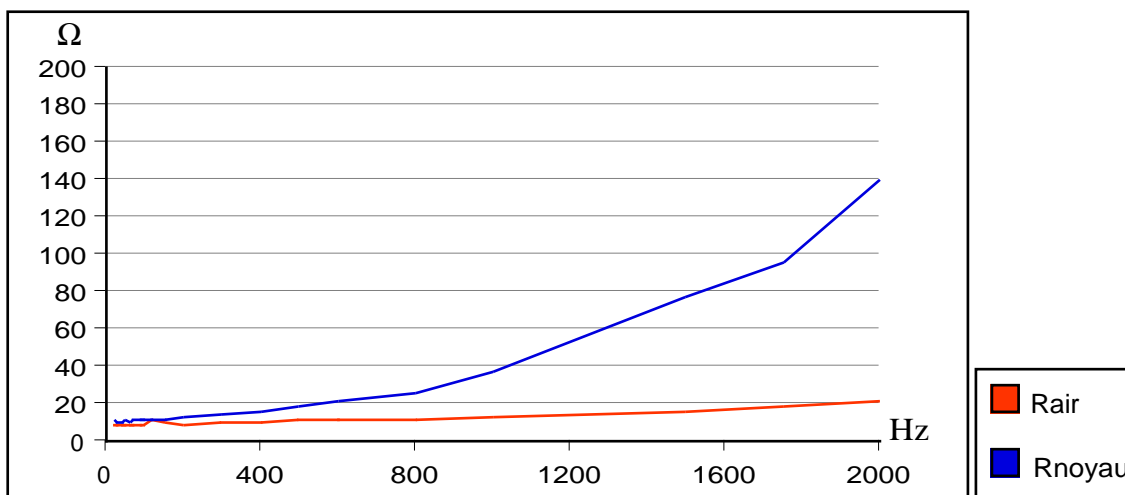
## 2. Une bobine 1000 spires avec ou sans noyau Fer

Mesures : bobine sans noyau

| F [Hz] | Ve   | VM [V] | Vr [V] | VR [V] | VL [V] | Rair [ $\Omega$ ] | Lair [H] | Zair [ $\Omega$ ] |
|--------|------|--------|--------|--------|--------|-------------------|----------|-------------------|
| 20     | 1,64 | 0,28   | 1,40   | 0,23   | 0,15   | 8,4               | 0,042    | 10                |
| 30     | 1,65 | 0,32   | 1,40   | 0,24   | 0,22   | 8,4               | 0,042    | 12                |
| 40     | 1,66 | 0,38   | 1,40   | 0,23   | 0,30   | 8,3               | 0,043    | 14                |
| 50     | 1,67 | 0,44   | 1,39   | 0,24   | 0,37   | 8,7               | 0,042    | 16                |
| 60     | 1,69 | 0,51   | 1,39   | 0,24   | 0,45   | 8,5               | 0,043    | 18                |
| 70     | 1,70 | 0,57   | 1,38   | 0,24   | 0,52   | 8,5               | 0,043    | 21                |
| 90     | 1,74 | 0,70   | 1,37   | 0,24   | 0,66   | 8,7               | 0,043    | 26                |
| 100    | 1,76 | 0,77   | 1,35   | 0,25   | 0,73   | 9,1               | 0,043    | 29                |
| 120    | 1,82 | 0,90   | 1,31   | 0,29   | 0,85   | 11,2              | 0,043    | 34                |
| 150    | 1,88 | 1,08   | 1,30   | 0,26   | 1,05   | 10,1              | 0,043    | 42                |
| 200    | 2,00 | 1,38   | 1,25   | 0,21   | 1,36   | 8,5               | 0,043    | 55                |
| 300    | 2,24 | 1,81   | 1,10   | 0,23   | 1,79   | 10,5              | 0,043    | 82                |
| 400    | 2,42 | 2,12   | 0,98   | 0,20   | 2,11   | 10,3              | 0,043    | 109               |
| 500    | 2,56 | 2,34   | 0,86   | 0,19   | 2,33   | 10,8              | 0,043    | 136               |
| 600    | 2,65 | 2,49   | 0,77   | 0,17   | 2,48   | 10,9              | 0,043    | 163               |
| 800    | 2,78 | 2,67   | 0,62   | 0,14   | 2,67   | 11,3              | 0,043    | 217               |
| 1000   | 2,84 | 2,77   | 0,51   | 0,13   | 2,77   | 12,7              | 0,043    | 271               |
| 1500   | 2,92 | 2,88   | 0,35   | 0,11   | 2,88   | 15,5              | 0,043    | 407               |
| 1750   | 2,94 | 2,91   | 0,31   | 0,11   | 2,91   | 18,7              | 0,043    | 475               |
| 2000   | 2,95 | 2,92   | 0,27   | 0,12   | 2,92   | 21,7              | 0,043    | 543               |

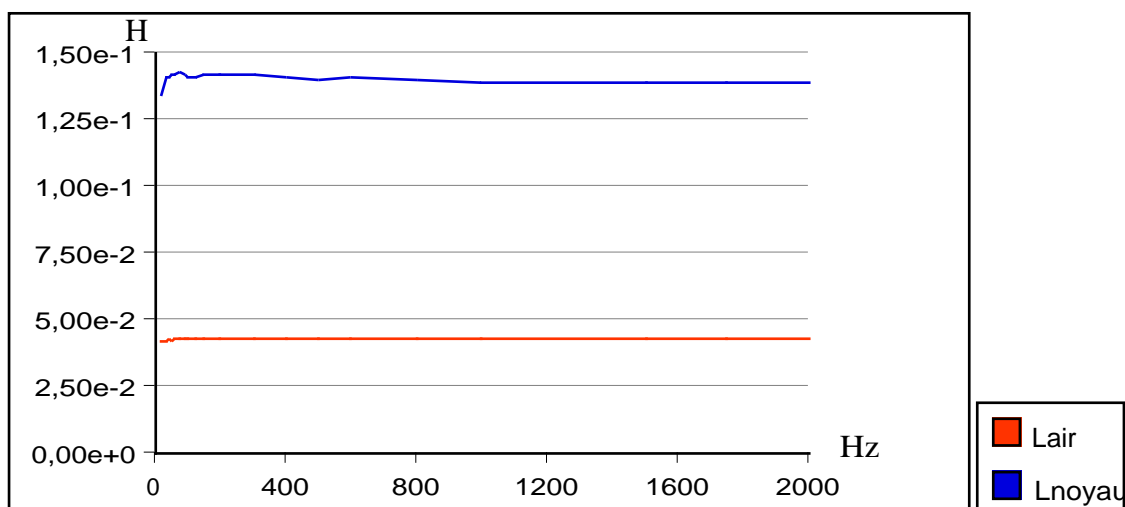
Mesures : bobine avec noyau

| F [Hz] | Ve   | VM [V] | Vr [V] | VR [V] | VL [V] | Rnoy [ $\Omega$ ] | Lnoy [H] | Znoy [ $\Omega$ ] |
|--------|------|--------|--------|--------|--------|-------------------|----------|-------------------|
| 20     | 1,73 | 0,56   | 1,34   | 0,33   | 0,45   | 12,1              | 0,134    | 21                |
| 30     | 1,76 | 0,76   | 1,34   | 0,28   | 0,71   | 10,4              | 0,141    | 29                |
| 40     | 1,84 | 0,97   | 1,31   | 0,27   | 0,93   | 10,4              | 0,141    | 37                |
| 50     | 1,92 | 1,17   | 1,27   | 0,28   | 1,13   | 11,0              | 0,142    | 46                |
| 60     | 2,00 | 1,35   | 1,24   | 0,26   | 1,32   | 10,6              | 0,142    | 54                |
| 70     | 2,09 | 1,52   | 1,19   | 0,27   | 1,49   | 11,3              | 0,143    | 64                |
| 90     | 2,23 | 1,79   | 1,10   | 0,26   | 1,77   | 11,8              | 0,142    | 81                |
| 100    | 2,29 | 1,90   | 1,06   | 0,25   | 1,88   | 11,7              | 0,141    | 90                |
| 120    | 2,41 | 2,10   | 0,98   | 0,23   | 2,08   | 11,9              | 0,141    | 107               |
| 150    | 2,55 | 2,32   | 0,86   | 0,21   | 2,31   | 12,1              | 0,142    | 134               |
| 200    | 2,69 | 2,55   | 0,71   | 0,18   | 2,54   | 12,8              | 0,142    | 178               |
| 300    | 2,84 | 2,76   | 0,52   | 0,15   | 2,76   | 14,3              | 0,142    | 267               |
| 400    | 2,90 | 2,85   | 0,40   | 0,13   | 2,85   | 16,1              | 0,141    | 356               |
| 500    | 2,93 | 2,90   | 0,33   | 0,12   | 2,89   | 18,3              | 0,140    | 441               |
| 600    | 2,95 | 2,92   | 0,28   | 0,12   | 2,92   | 21,6              | 0,141    | 531               |
| 800    | 2,96 | 2,95   | 0,21   | 0,11   | 2,95   | 25,8              | 0,140    | 706               |
| 1000   | 2,97 | 2,96   | 0,17   | 0,13   | 2,96   | 37,3              | 0,139    | 876               |
| 1500   | 2,98 | 2,97   | 0,11   | 0,18   | 2,97   | 77,6              | 0,139    | 1315              |
| 1750   | 2,98 | 2,98   | 0,10   | 0,18   | 2,97   | 95,3              | 0,139    | 1534              |
| 2000   | 2,98 | 2,98   | 0,09   | 0,24   | 2,97   | 140,0             | 0,139    | 1751              |

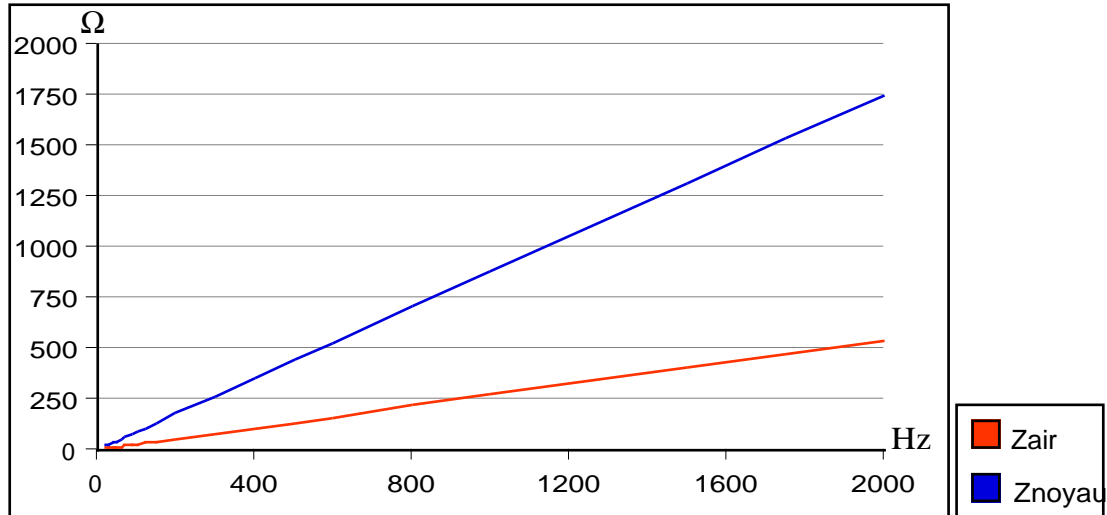
Résistance  $R$ 

Résistance mesurée à l'ohmmètre :  $R_0 = 8,5\Omega$

Résistance mesurée en alternatif : la résistance de la bobine à air est sensiblement constante (encore qu'il faille tenir compte de l'effet de peau, par lequel la section utile du conducteur diminue avec la fréquence). En revanche, la résistance mesurée de la bobine avec noyau métallique augmente nettement avec la fréquence.

Inductance  $L$ 

On constate que l'inductance de la bobine est quasi indépendante de la fréquence : l'influence du noyau est négligeable, sauf bien entendu en ce qui concerne la valeur de l'inductance proprement dite ( $L$  est plus grande s'il y a un noyau).

Impédance  $Z$ 

La quantité  $L\omega$  étant rapidement très supérieur à  $R$ , l'impédance est pratiquement proportionnelle à la fréquence.

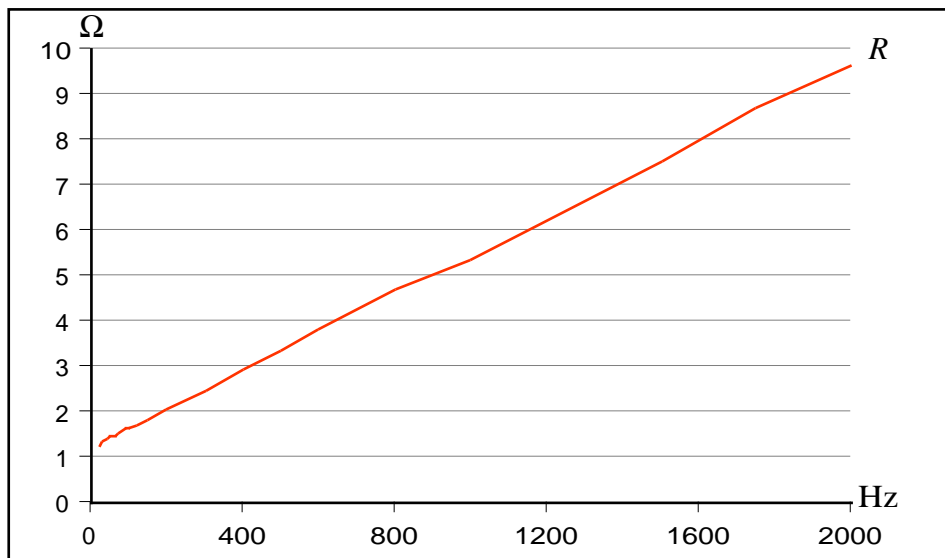
### 3. Une bobine torique de filtrage pour alimentation AC/DC

Constatation similaire au cas d'une bobine avec noyau :

#### Mesures

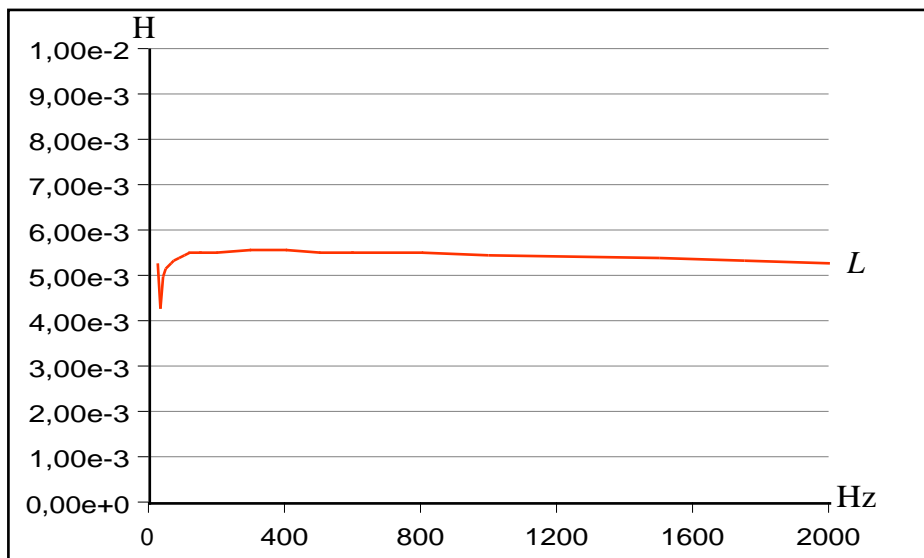
| F [Hz] | Ve   | VM [V] | Vr [V] | VR [V] | VL [V] | r [Ω] | L [H]  | Z [Ω] |
|--------|------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|
| 20     | 1,55 | 0,04   | 1,51   | 0,04   | 0,02   | 1,22  | 0,0053 | 1,4   |
| 30     | 1,55 | 0,05   | 1,51   | 0,04   | 0,02   | 1,37  | 0,0043 | 1,6   |
| 40     | 1,55 | 0,06   | 1,51   | 0,04   | 0,04   | 1,41  | 0,0050 | 1,9   |
| 50     | 1,56 | 0,07   | 1,51   | 0,04   | 0,05   | 1,46  | 0,0052 | 2,2   |
| 60     | 1,56 | 0,07   | 1,51   | 0,04   | 0,06   | 1,48  | 0,0053 | 2,5   |
| 70     | 1,56 | 0,09   | 1,51   | 0,05   | 0,07   | 1,52  | 0,0054 | 2,8   |
| 90     | 1,56 | 0,10   | 1,51   | 0,05   | 0,09   | 1,63  | 0,0054 | 3,5   |
| 100    | 1,56 | 0,12   | 1,51   | 0,05   | 0,10   | 1,68  | 0,0054 | 3,8   |
| 120    | 1,56 | 0,14   | 1,51   | 0,05   | 0,13   | 1,72  | 0,0055 | 4,5   |
| 150    | 1,57 | 0,17   | 1,51   | 0,06   | 0,16   | 1,83  | 0,0056 | 5,5   |
| 200    | 1,58 | 0,22   | 1,50   | 0,06   | 0,21   | 2,07  | 0,0055 | 7,3   |
| 300    | 1,59 | 0,32   | 1,49   | 0,07   | 0,31   | 2,49  | 0,0056 | 10,8  |
| 400    | 1,62 | 0,42   | 1,48   | 0,09   | 0,41   | 2,91  | 0,0056 | 14,3  |
| 500    | 1,64 | 0,52   | 1,46   | 0,10   | 0,51   | 3,35  | 0,0055 | 17,7  |
| 600    | 1,67 | 0,62   | 1,45   | 0,11   | 0,61   | 3,81  | 0,0055 | 21,3  |
| 800    | 1,74 | 0,80   | 1,42   | 0,13   | 0,78   | 4,71  | 0,0055 | 28,1  |
| 1000   | 1,80 | 0,96   | 1,38   | 0,15   | 0,95   | 5,38  | 0,0055 | 35,0  |
| 1500   | 1,97 | 1,32   | 1,28   | 0,19   | 1,30   | 7,56  | 0,0054 | 51,4  |
| 1750   | 2,05 | 1,47   | 1,23   | 0,21   | 1,45   | 8,71  | 0,0053 | 59,4  |
| 2000   | 2,12 | 1,60   | 1,19   | 0,23   | 1,58   | 9,66  | 0,0053 | 67,2  |

Résistance  $R$

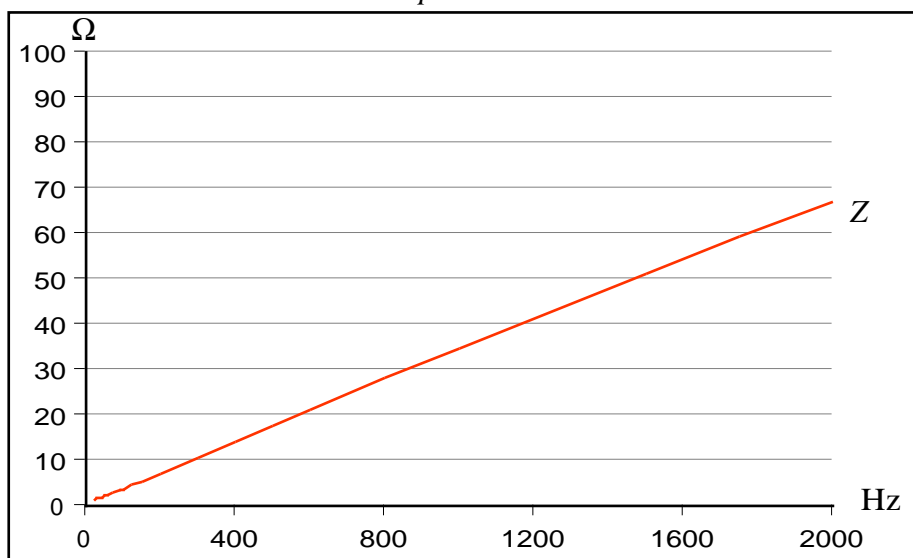


Résistance mesurée à l'ohmmètre :  $R_0 = 1\Omega$

Inductance  $L$



Impédance  $Z$

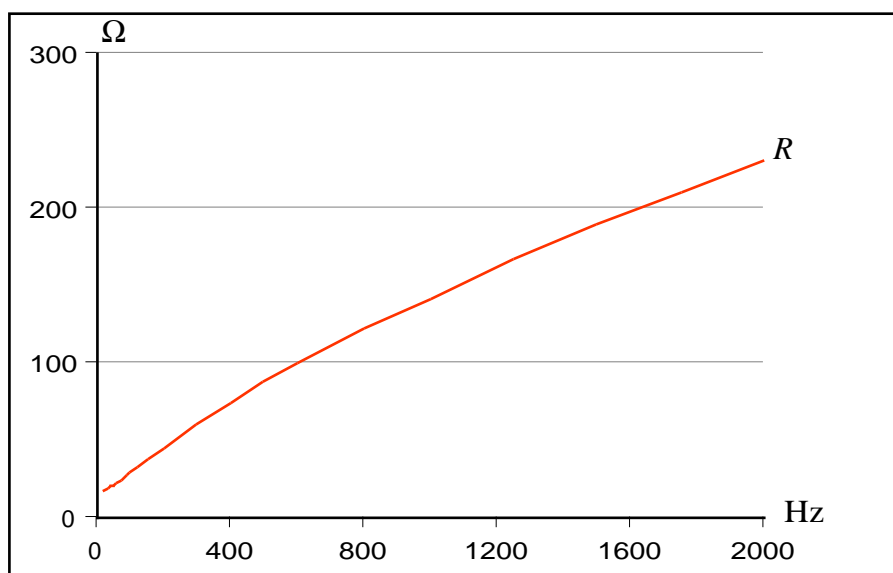


#### 4. Un enroulement de moteur pas-à-pas

##### Mesures

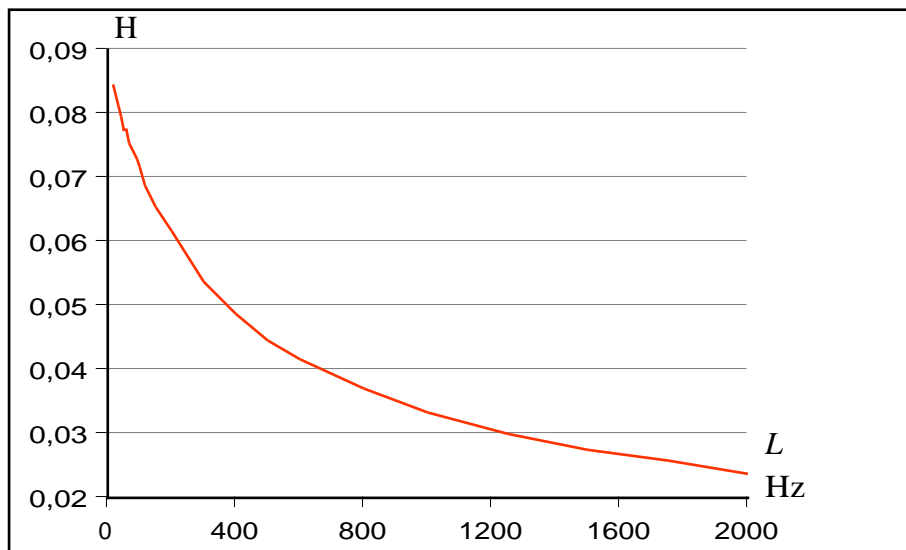
| F [Hz] | Ve   | VM [V] | Vr [V] | VR [V] | VL [V] | r [ $\Omega$ ] | L [H] | Z [ $\Omega$ ] |
|--------|------|--------|--------|--------|--------|----------------|-------|----------------|
| 20     | 1,55 | 0,47   | 1,13   | 0,40   | 0,24   | 18             | 0,085 | 21             |
| 30     | 1,58 | 0,54   | 1,12   | 0,42   | 0,34   | 19             | 0,081 | 24             |
| 40     | 1,62 | 0,63   | 1,11   | 0,45   | 0,44   | 20             | 0,080 | 28             |
| 50     | 1,62 | 0,70   | 1,08   | 0,46   | 0,52   | 21             | 0,077 | 32             |
| 60     | 1,69 | 0,80   | 1,08   | 0,49   | 0,63   | 23             | 0,077 | 37             |
| 70     | 1,72 | 0,87   | 1,06   | 0,51   | 0,70   | 24             | 0,075 | 41             |
| 90     | 1,78 | 1,01   | 1,02   | 0,56   | 0,84   | 27             | 0,073 | 49             |
| 100    | 1,81 | 1,07   | 0,99   | 0,58   | 0,90   | 29             | 0,072 | 54             |
| 120    | 1,86 | 1,17   | 0,95   | 0,62   | 0,99   | 33             | 0,069 | 61             |
| 150    | 1,93 | 1,30   | 0,90   | 0,68   | 1,11   | 38             | 0,065 | 72             |
| 200    | 2,00 | 1,46   | 0,81   | 0,74   | 1,26   | 46             | 0,062 | 90             |
| 300    | 2,13 | 1,68   | 0,71   | 0,87   | 1,44   | 61             | 0,054 | 118            |
| 400    | 2,21 | 1,81   | 0,63   | 0,95   | 1,55   | 75             | 0,049 | 143            |
| 500    | 2,27 | 1,91   | 0,58   | 1,01   | 1,62   | 87             | 0,045 | 165            |
| 600    | 2,31 | 1,98   | 0,53   | 1,06   | 1,67   | 100            | 0,042 | 186            |
| 800    | 2,36 | 2,07   | 0,47   | 1,14   | 1,73   | 122            | 0,037 | 222            |
| 1000   | 2,40 | 2,13   | 0,42   | 1,19   | 1,77   | 142            | 0,033 | 254            |
| 1250   | 2,43 | 2,19   | 0,38   | 1,26   | 1,79   | 167            | 0,030 | 290            |
| 1500   | 2,46 | 2,23   | 0,35   | 1,31   | 1,81   | 189            | 0,028 | 322            |
| 1750   | 2,47 | 2,27   | 0,32   | 1,36   | 1,82   | 211            | 0,026 | 352            |
| 2000   | 2,49 | 2,29   | 0,30   | 1,40   | 1,81   | 232            | 0,024 | 379            |

##### Résistance R



Résistance mesurée à l'ohmètre :  $R_0 = 17\Omega$

Inductance  $L$



On constate ici que le rotor en fer doux du moteur exerce une influence prépondérante (et complexe) sur la valeur des paramètres  $R$  et  $L$ .

Impédance  $Z$

