

MESURE DE LA PUISSANCE

I- INTRODUCTION :

La mesure de la puissance fait appel à un appareil de type électrodynamique, qui est le wattmètre.

Sur le cadran d'un wattmètre, on trouve :

- la classe de précision ,
- nature du courant AC ou DC, dans la cas général, une seule échelle utilisable en AC et en DC,
- la consommation en courant du circuit tension.

Le wattmètre est un appareil astatique (insensible aux champs extérieurs), il est constitué essentiellement par :

- un circuit courant : on trouve deux calibres directs dans un rapport de 1 à 2 (exemple : 0.5 A et 1 A ou 1.25 A et 2.5 A),
- un circuit tension : on trouve de nombreux calibres (de 15 V à 600 V),
- Une échelle à graduations régulières.

La consommation du circuit tension permet de déterminer la résistance du circuit tension.

La constante du wattmètre est définie par $K = \frac{\text{calibre } U \cdot \text{calibre } I}{\text{echelle}}$ qui représente la puissance par division de l'échelle.

Le circuit courant se branche en série et le circuit tension se branche en dérivation selon deux modes différent (montage amont et montage aval).

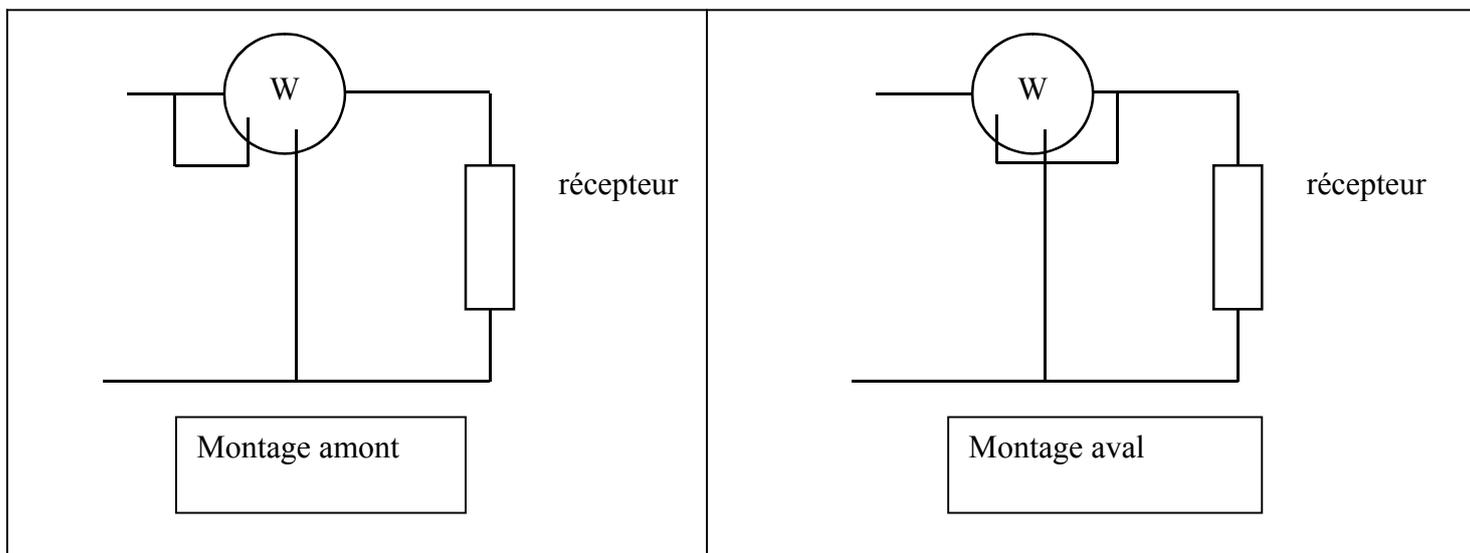


Figure 44 : schémas de branchement d'un wattmètre.

II- PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN WATTMETRE :

Par construction un wattmètre indique la valeur moyenne du produit de l'intensité $i(t)$ du courant traversant son circuit intensité par la différence de potentiel (ddp) $u(t)$ aux bornes de son circuit tension.

Dans le cas où les deux grandeurs sont sinusoïdales et de même fréquence,

$$\begin{cases} i(t)=I\sqrt{2}\cos(\omega t) \\ u(t)=U\sqrt{2}\cos(\omega t-\varphi) \end{cases}$$

la puissance indiquée par le wattmètre est $P=\frac{1}{T}\int_0^T u(t).i(t)dt$.

En courant continu $P=U.I$ et en courant alternatif $P=U.I.\cos(\varphi)$

En courant alternatif, si $\varphi \geq \frac{\pi}{2}$ la puissance P indiquée par le wattmètre est négative et l'aiguille dévie dans le sens négatif de l'échelle. Dans cette situation, il faut permuter les deux bornes du circuit tension.

III- MESURE DE LA PUISSANCE EN COURANT CONTINU :

III-1- Méthode volt-ampérométrique :

La puissance fournie à une portion de circuit AB, ou un récepteur est exprimée par la relation $P = U.I$. \Rightarrow Donc pour mesurer cette puissance on utilise un ampèremètre pour mesurer I et un voltmètre pour mesurer U selon deux cas de montages (montage amont et montage aval) :

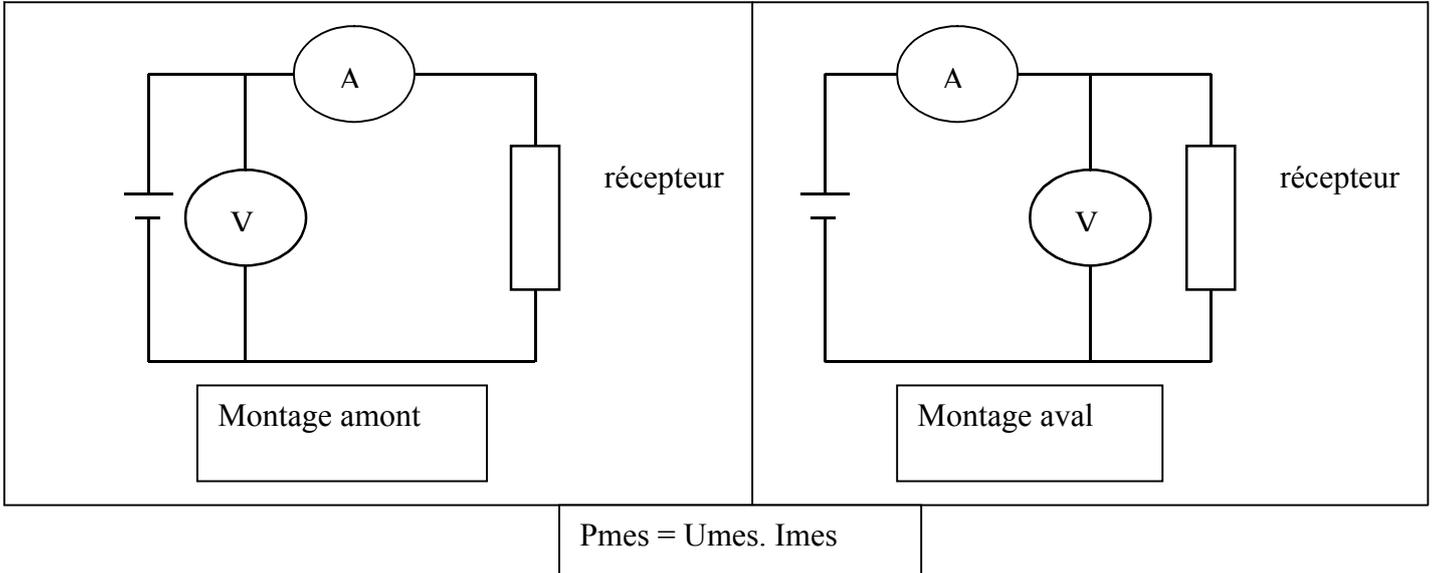


Figure 45 : montages de mesure de la puissance en courant continu.

La précision de cette méthode dépend de la précision des appareils de mesure et du mode du branchement de ces appareils (montage amont et montage aval). En effet :

<u>Pour le montage amont</u>	<u>Pour le montage aval</u>
$P_{mes} = U_{mes}.I_{mes} = P + r_a.I^2 \Rightarrow \Delta P_{méthode} = r_a.I^2$	$P_{mes} = U_{mes}.I_{mes} = P + \frac{U^2}{R_v} \Rightarrow \Delta P_{méthode} = \frac{U^2}{R_v}$

Ra et Rv : résistances internes de l'ampèremètre et du voltmètre.

L'incertitude instrumentale de la puissance est $\Delta P_{\text{instrument}} = \left(\frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I} \right) \cdot P_{\text{mes}}$

L'incertitude totale sur la puissance est $\Delta P_{\text{tot}} = \Delta p_{\text{methode}} + \Delta P_{\text{instrument}}$

III-2- Méthode directe :

Pour cette méthode on utilise un wattmètre pour mesurer la puissance selon deux cas de montages (montage amont et montage aval) :

- pour le montage amont : $\Delta P_{\text{tot}} = (\text{classe.calibreU.calibreI}/100) + r'a.I^2$,
- pour le montage aval : $\Delta P_{\text{tot}} = (\text{classe.calibreU.calibreI}/100) + \frac{U^2}{R'v}$,

avec r'a et R'v : résistances internes du circuit intensité et circuit tension du wattmètre.

IV- MESURE DE LA PUISSANCE EN COURANT ALTERNATIF MONOPHASE :

Les expressions des puissances en courant alternatif sont données par les relations suivantes :

$S = V.I$ [VA] : puissance apparente,

$P = V.I.\cos(\varphi)$ [W] : puissance active et

$Q = V.I.\sin(\varphi)$ [VAR] : puissance réactive

avec V et I : valeurs efficace de la tension simple (entre phase et neutre) et du courant absorbé par le récepteur, φ étant le déphasage entre le courant et la tension.

IV-1- Mesure de S :

Pour mesurer la puissance apparente S, il faut utiliser un ampèremètre et un voltmètre pour mesurer les valeurs efficaces du courant et de la tension selon le schéma de montage suivant (voir figure 46).

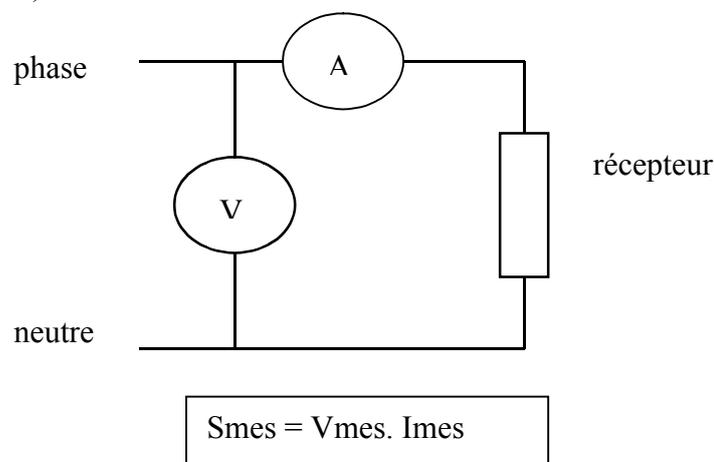


Figure 46 : schéma de principe de mesure de la puissance apparente S.

La précision de mesure de cette méthode dépend de la précision des appareils de mesure.

IV-2- Mesure de P :

IV-2-1-méthode directe :

Pour mesurer P, il suffit de brancher un wattmètre selon le montage aval (voir figure 47).

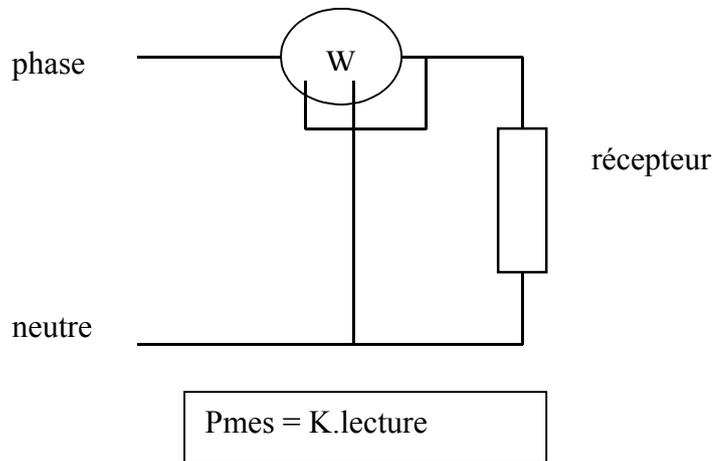


Figure 47 : schéma de principe de mesure de la puissance active P par la méthode directe

La précision de cette méthode dépend de la précision du wattmètre utilisé.

IV-2-2- méthode de trois ampèremètres :

Le principe de cette méthode consiste à brancher trois ampèremètres suivant la configuration de la figure 48 où R représente une résistance étalon de grande précision.

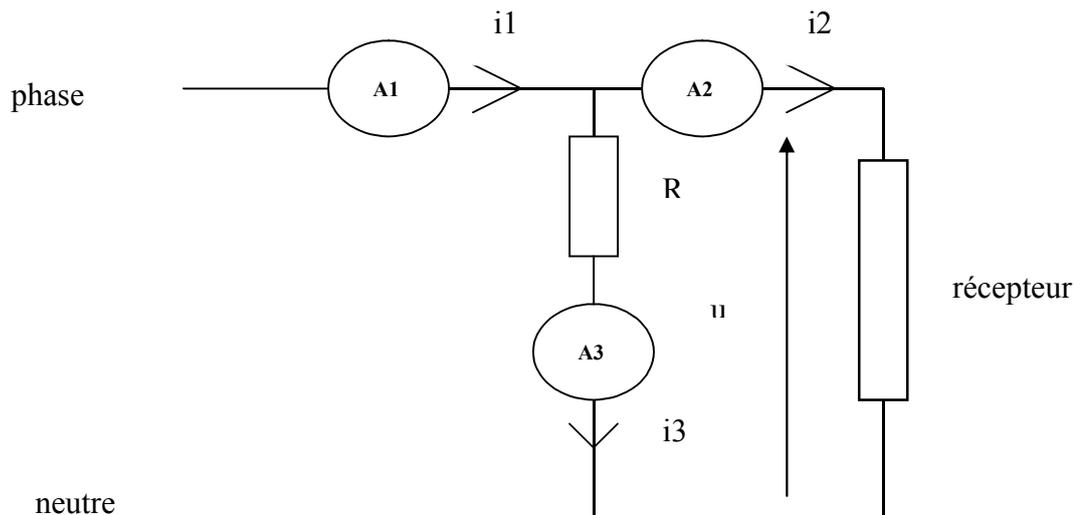


Figure 48 : schéma de principe de la méthode de trois ampèremètres

Si i_1 , i_2 et i_3 désignent les valeurs instantanées des courants circulant dans les trois ampèremètres, on peut écrire :

$$\begin{cases} p = u \cdot i_3 \\ i_1 = i_2 + i_3 \\ i_2 = \frac{u}{R} \end{cases} \text{ et } i_1^2 = (i_2 + i_3)^2 = i_2^2 + i_3^2 + 2i_2 \cdot i_3 = i_2^2 + i_3^2 + 2i_3 \cdot \frac{u}{R} = i_2^2 + i_3^2 + 2 \frac{p}{R}$$

$$\Rightarrow p = \frac{R}{2} (i_1^2 - i_2^2 - i_3^2)$$

Or la puissance active d'un récepteur est donnée par $P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{R}{2T} \int_0^T (i_1^2 - i_2^2 - i_3^2) dt$

$P = \frac{R}{2} (I_1^2 - I_2^2 - I_3^2)$ avec I_1 , I_2 et I_3 les valeurs efficaces des courants i_1 , i_2 et i_3 .

La précision de cette méthode dépend de la précision des appareils de mesure utilisés et de la résistance étalon R , ce qui rend cette méthode peut précise. En effet :

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta R}{R} + \frac{2I_1^2}{I_1^2 - I_2^2 - I_3^2} \cdot \frac{\Delta I_1}{I_1} + \frac{2I_2^2}{I_1^2 - I_2^2 - I_3^2} \cdot \frac{\Delta I_2}{I_2} + \frac{2I_3^2}{I_1^2 - I_2^2 - I_3^2} \cdot \frac{\Delta I_3}{I_3}$$

L'avantage de cette méthode est la mesure de la puissance en haute fréquence et pour des charges de faible facteur de puissance.

IV-2-2- méthode de trois voltmètres :

Cette méthode est analogue à la précédente. Les voltmètres sont branchés selon la figure 49 où R représente une résistance étalon de grande précision.

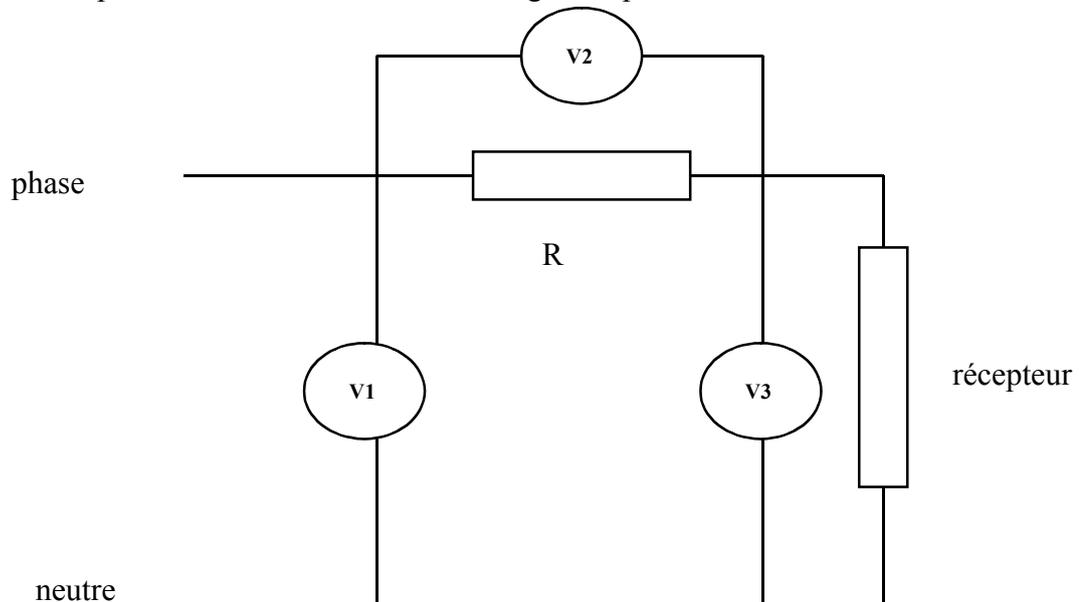


Figure 49: schéma de principe de la méthode de trois voltmètres

Si u_1 , u_2 et u_3 désignent les valeurs instantanées des tensions aux bornes des trois voltmètres, on peut écrire :

$$p = u_3 \cdot \frac{u_2}{R} \quad \text{et}$$

$$u_1 = u_2 + u_3 \Rightarrow u_1^2 = (u_2 + u_3)^2 = u_2^2 + u_3^2 + 2u_2 \cdot u_3 \Rightarrow u_2 \cdot u_3 = \frac{1}{2}(u_1^2 - u_2^2 - u_3^2)$$

Or la puissance active d'un récepteur est donnée par $P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{2 \cdot R \cdot T} \int_0^T (u_1^2 - u_2^2 - u_3^2) dt$

$P = \frac{1}{2R} \cdot (U_1^2 - U_2^2 - U_3^2)$ avec U_1 , U_2 et U_3 les valeurs efficaces des tensions u_1 , u_2 et u_3 .

La précision de cette méthode dépend de la précision des appareils de mesure utilisés et de la résistance étalon R , ce qui rend cette méthode peut précise. En effet :

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta R}{R} + \frac{2U_1^2}{|U_1^2 - U_2^2 - U_3^2|} \cdot \frac{\Delta U_1}{U_1} + \frac{2U_2^2}{|U_1^2 - U_2^2 - U_3^2|} \cdot \frac{\Delta U_2}{U_2} + \frac{2U_3^2}{|U_1^2 - U_2^2 - U_3^2|} \cdot \frac{\Delta U_3}{U_3}$$

Ces deux méthodes de mesures de la puissance active permettent également la détermination de la valeur de l'impédance et du facteur de puissance du récepteur.

IV-3- Mesure de Q :

Pour mesurer la puissance réactive Q , il suffit de brancher un ampèremètre, un voltmètre et un wattmètre puis calculer $Q = \pm \sqrt{S^2 - P^2}$ en tenant compte du type du récepteur ($Q = 0$ pour un récepteur résistif, $Q > 0$ pour un récepteur inductif et $Q < 0$ pour un récepteur capacitif).

V- MESURE DE LA PUISSANCE EN TRIPHASÉ :

Quelque soit le type de couplage du récepteur, les puissances en triphasé s'expriment de la manière suivante :

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = 3 \cdot V \cdot I \quad [\text{VA}] : \text{puissance apparente,}$$

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos(\varphi) = 3 \cdot V \cdot I \cdot \cos(\varphi) \quad [\text{W}] : \text{puissance active et}$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin(\varphi) = 3 \cdot V \cdot I \cdot \sin(\varphi) \quad [\text{VAR}] : \text{puissance réactive}$$

avec V et I : valeurs efficace de la tension simple (entre phase et neutre) et du courant absorbé par le récepteur, φ étant le déphasage entre le courant et la tension et U la tension efficace composée (entre deux phases).

V-1- Mesure de S :

Pour mesurer S, il suffit de mesurer la tension simple ou composé et le courant I traversant une ligne d'alimentation (on suppose que le système triphasé disponible est équilibré direct) selon la figure 50.

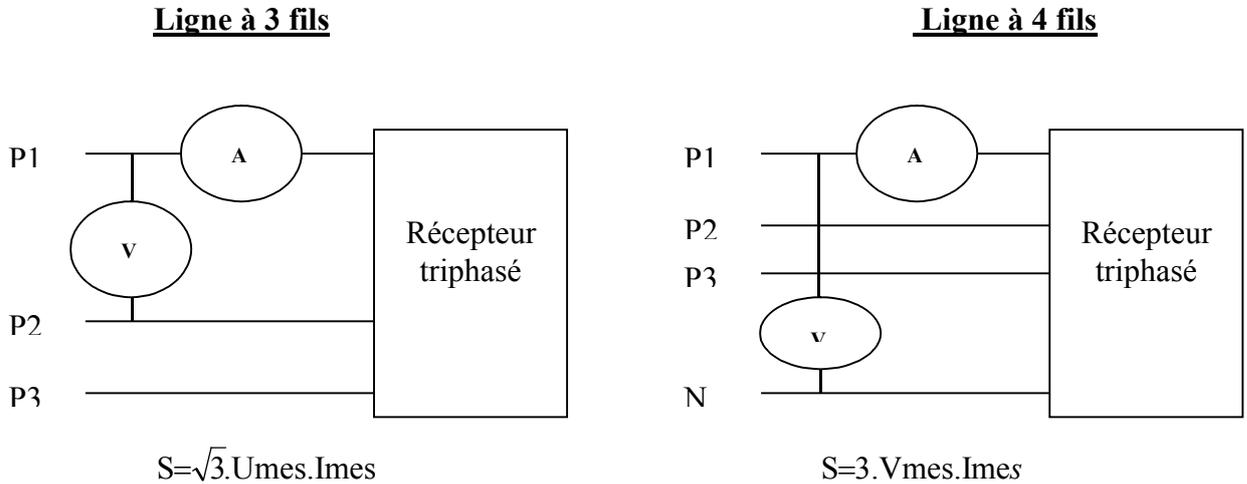


Figure 50 : mesure de la puissance apparente en triphasé.

V-2-Mesure de P et Q :

Pour mesurer les puissances active et réactive on fait appel aux wattmètres.

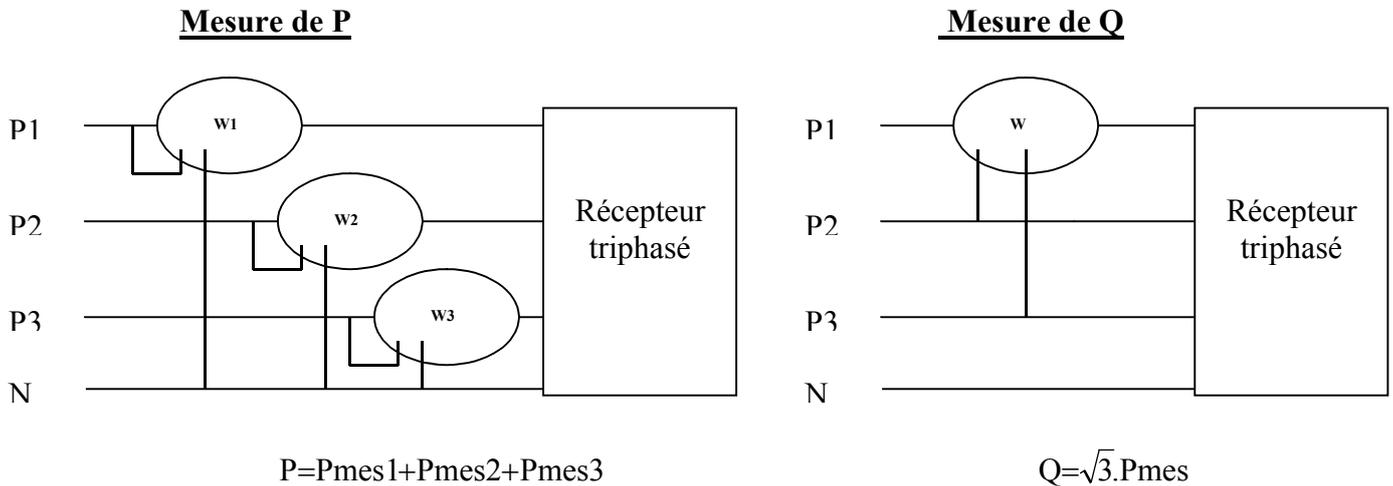
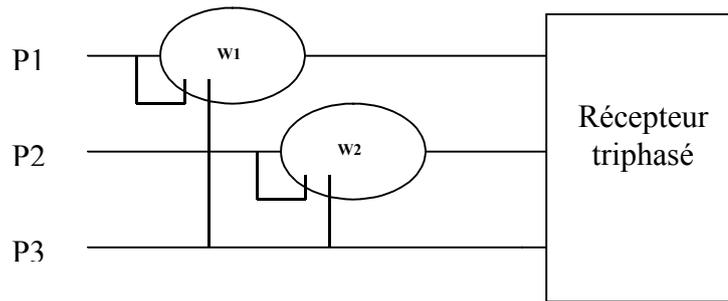


Figure 51 : mesure des puissances P et Q en ligne triphasée à 4 fils.

Dans le cas ou on dispose d'une ligne triphasée à 3fils (trois phases uniquement), on utilise la méthode des deux wattmètres selon la figure 52 .



$$P = P_{mes1} + P_{mes2} \quad \text{et} \quad Q = \sqrt{3} \cdot (P_{mes1} - P_{mes2})$$

Figure 52 : mesure des puissances P et Q en ligne triphasée à 3 fils.

Remarques :

- La méthode des deux wattmètres ne permet de déterminer la puissance réactive que dans le cas d'un système équilibré en tension et en courant, alors qu'elle fournit la puissance active dans tous les cas de fonctionnement.
- L'application de cette méthode, nécessite de repérer l'ordre de succession des phases (opération non évidente) \Rightarrow il suffit alors de se placer dans le cas de fonctionnement pour lequel le signe de Q est connue et observer les indications des deux wattmètres. ($Q > 0$ pour une charge inductive et $Q < 0$ pour une charge capacitive).
- Si le calibre I de l'un des deux wattmètres ne permet pas de supporter le courant I \Rightarrow on alimente le circuit d'intensité du wattmètre par un transformateur de courant.