

1 – DESCRIPTION

1.1 – GÉNÉRALITES

Le voltmètre vectoriel X & Y TE 9602 est destiné à mesurer les phénomènes physiques de façon complète, c'est-à-dire sous leur double aspect :

- composante active (terme réel en coïncidence de phase avec le signal d'excitation),
- composante réactive (terme imaginaire en quadrature de phase).

Ce voltmètre, utilisant le principe de la détection synchrone avec une référence, est donc apte à mesurer des très faibles signaux noyés dans le bruit, les perturbations et les interférences.

Il fournit directement par affichage simultané :

- le résultat de la mesure des deux composantes orthogonales X & Y d'un signal sinusoïdal.
- le résultat des mesures de l'amplitude et de l'angle de phase par rapport à la référence de ce signal, en effectuant un accord manuel de phase en deux gammes de 180° qui permet de couvrir tout le cercle trigonométrique.

Ce voltmètre se caractérise principalement :

- par sa grande sensibilité - 1 μ V eff pleine échelle - allée à un faible bruit propre, 10 nV eff/ $\sqrt{\text{Hz}}$,
- par un réglage des gains et des constantes de temps indépendant sur les deux voies X et Y (gain relatif 1, 10, 100 et constante de temps de 500 μ s à 10 s en 5 grammes),
- par une lecture directe des angles de - 180° à + 180°, sans qu'il soit nécessaire d'effectuer une correction de lecture de 90°, comme cela est le cas généralement.

Les qualités opérationnelles et les performances du voltmètre vectoriel X & Y justifient son intérêt aussi bien dans les laboratoires de recherche et l'enseignement, que dans les laboratoires industriels.

1.2 – RÉCEPTION ET CONTROLE

A la réception du matériel, examiner l'état extérieur de l'emballage d'expédition; en cas de détérioration ou de dégât apparent, le signaler au transporteur. Enlever avec précaution tous les matériaux de calage et s'assurer que l'appareil n'est pas endommagé.

Le plus rapidement possible, effectuer un contrôle des caractéristiques électriques de l'appareil; pour faire des essais de réception, on pourra appliquer le mode opératoire indiqué au paragraphe 2.3.

1.3 – INSTALLATION

L'appareil peut soit s'utiliser sur table, soit être monté dans un rack au standard 19 pouces à l'aide des deux oreilles de montage livrées avec l'appareil. L'appareil est équipé de deux poignées, qui en facilitent le transport, et de deux béquilles, qui permettent de l'incliner pour avoir la meilleure vision du panneau avant.

Cet appareil, entièrement transistorisé, ne requiert aucun dispositif de refroidissement spécial s'il est utilisé dans les limites de température spécifiées au paragraphe 1.7.5.

1.4 – RÉEXPÉDITION

Un appareil endommagé doit être retourné au Service Après-Vente de TEKELEC à Sèvres pour y être vérifié et réparé. Prévenir le représentant local de TEKELEC-INSTRUMENTS qui donnera toutes les instructions de réexpédition. Cette façon de procéder garantit le meilleur service.

1.5 – RÉEMBALLAGE

S'il est nécessaire de réexpédier l'appareil, on pourra le réexpédier dans l'emballage d'origine ou si l'on ne dispose plus de celui-ci, l'emballer de la manière suivante :

- a. Fixer à l'appareil une étiquette portant le nom, l'adresse et le numéro de téléphone du propriétaire et donnant brièvement le motif de la réexpédition, ainsi que la date souhaitée de renvoi.
- b. Envelopper l'appareil de papier ou de plastique et le placer dans une première caisse en carton.
- c. A l'intérieur de la première caisse, caler soigneusement l'appareil sur toutes ses faces à l'aide de matériaux mous.
- d. Mettre cette première caisse dans une deuxième caisse solide, en bois ou en carton, et la caler de manière à éviter tout mouvement. Fermer la deuxième caisse à l'aide de ruban adhésif ou métallique.
- e. Porter sur l'emballage l'adresse du destinataire et apposer des étiquettes "FRAGILE".

1.6 – ALIMENTATION

L'appareil fonctionne à partir d'une alimentation alternative de 127 V ou 220 V eff 50/60 Hz. Un sélecteur situé sur le panneau arrière permet d'adapter l'appareil à la tension du réseau d'alimentation choisi. Le fusible se trouve dans un logement spécial ; il doit être choisi en fonction de la tension d'alimentation utilisée. Pour un changement de tension secteur se reporter au paragraphe 2.3.1.

Avec l'appareil est fourni un câble trifilaire qui permet de raccorder le boîtier du TE 9602 à la masse de l'installation (terre).

1.7 – CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES

1.7.1 – Modes de fonctionnement

- X Y : mesure simultanée des composantes en coïncidence et en quadrature de phase avec la référence.
- MODULE-PHASE : mesure du module de l'amplitude et de l'angle de phase du signal par rapport à la référence.
- F et 2F : Fonctionnement sur la fréquence fondamentale ou l'harmonique deux de la fréquence de référence.

1.7.2 – Voie Signal

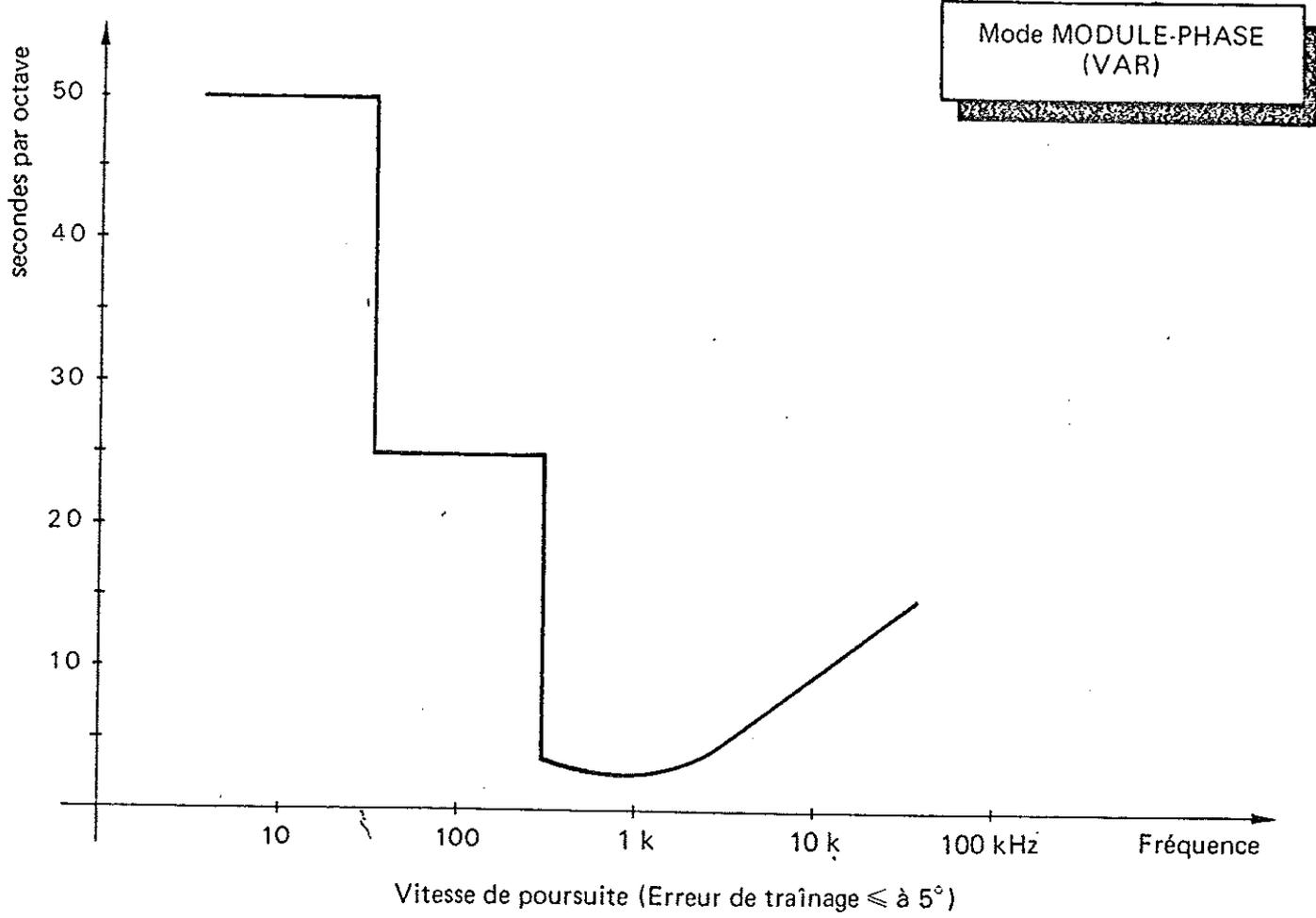
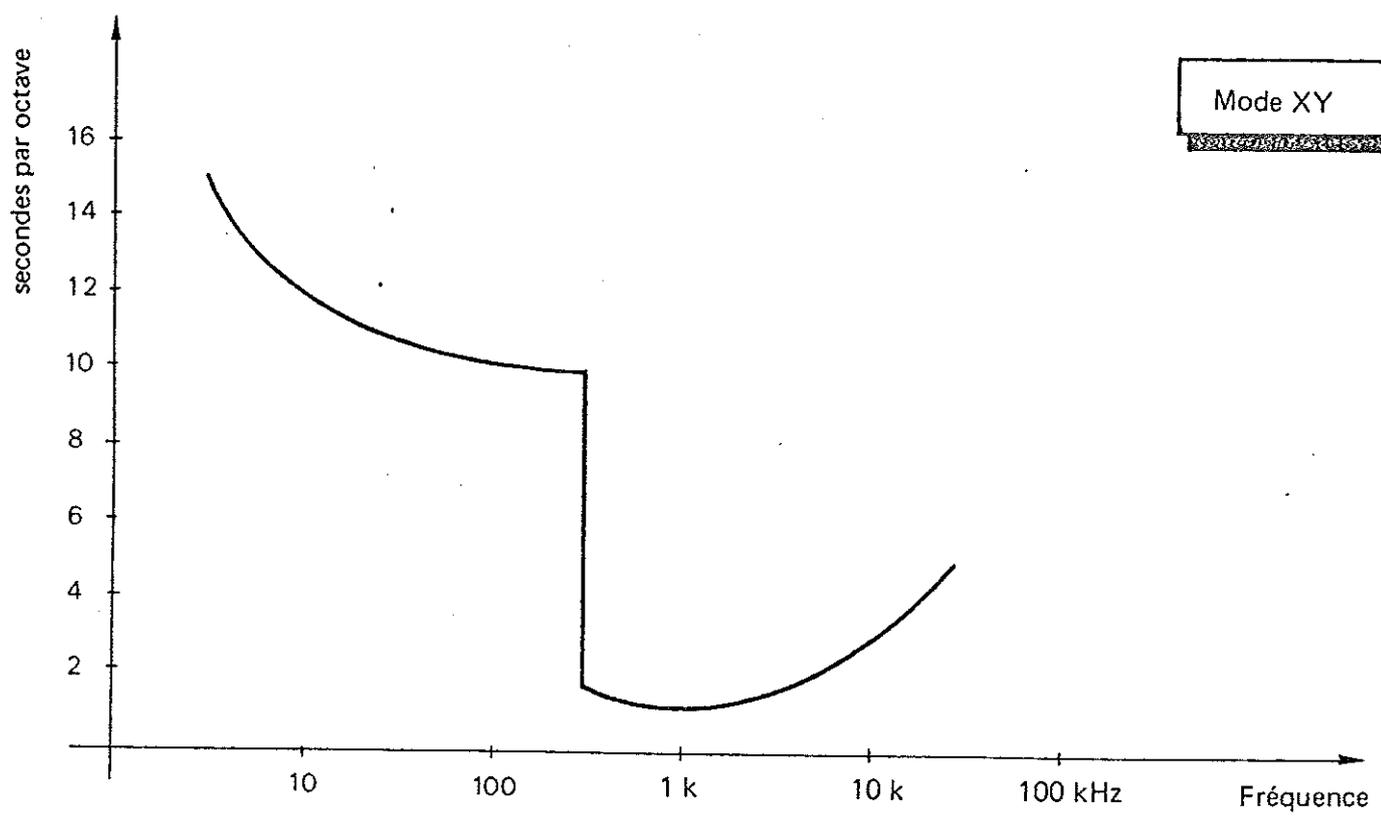
- Entrée : pseudo-différentielle (la partie externe de la prise BNC est flottante par rapport à la masse électrique avec une résistance de 100 Ω ; elle peut être aussi totalement isolée du châssis).
- Impédance d'entrée : 10 M Ω avec 25 pF en parallèle.
- Gamme de tension : 10 gammes de 100 μ V eff à 3 V eff pleine échelle. La sensibilité des voies X et Y peut être augmentée d'un facteur 1, 10, 100 d'une façon indépendante, ce qui permet d'étendre la gamme d'utilisation à 1 μ V eff pleine échelle.

- Gamme de fréquence : 3 Hz à 30 kHz
- Signal d'entrée max : 30 V crête à crête
50 V crête à crête sur les gammes 0,3 Veff à 3 Veff
- Bruit : entrée en court-circuit ou fermée sur une charge blindée de 50 Ω, 10 nVeff/√ Hz à 1 kHz (sur option : 5 nVeff/√ Hz à 1 kHz).
- Indicateur de surcharge : un témoin lumineux situé sur le panneau avant indique si le signal, augmenté éventuellement du bruit superposé, entraîne une saturation de l'amplificateur alternatif.
- Stabilité du gain : 0,1 %/°C
- Linéarité du gain : 0,05 %
- Précision totale d'amplitude :
 - ± 2 % de la pleine échelle en l'absence de bruit de 3 Hz à 30 kHz et sur les positions X 1 et X 0,1 des deux multiplicateurs de sensibilité des voies X et Y.
 - ± 3 % de la pleine échelle en l'absence de bruit de 3 Hz à 30 kHz et sur la position X 0,01 (sauf gamme 0,1 mVeff et 10 mVeff : ± 5 %).
- Lecture de l'amplitude sur galvanomètre avec échelles linéaires 0-3 et 0-10 (échelle supplémentaire en dB sur la voie X).
- Tension de polarisation : Un réseau interne permet d'appliquer sur l'entrée une tension continue de polarisation pour faciliter l'utilisation de l'appareil dans certains cas d'application (alimentation de photo-diodes par exemple). Ajustable entre - 18 V et + 18 V.
- Sortie amplificateur alternatif : 45 mVeff pour la pleine échelle (impédance interne 1 kΩ)

1.7.3 – Voie Référence

La voie référence du TE9602 s'accroche automatiquement et suit le signal servant de référence dans la gamme totale de fréquence de l'appareil sans modification interne d'éléments. En conséquence, l'appareil est insensible aux changements de phase et de fréquence à condition que le signal et la référence varient de la même manière.

- Gamme de fréquence : 3 Hz à 30 kHz
- Modes de fonctionnement : F et 2 F. Ces deux modes peuvent être choisis au moyen d'un inverseur situé à l'intérieur de l'appareil. En position F, le détecteur de phase est commandé à la même fréquence que celle appliquée à l'entrée. En position 2 F, le détecteur de phase est commandé à la fréquence double de celle appliquée à l'entrée pour la mesure de l'harmonique deux.
- Entrée asymétrique : par fiche coaxiale BNC isolée du châssis.
 - Impédance d'entrée : 10 MΩ avec 25 pF en parallèle
 - Mode de couplage : alternatif avec une constante de temps de 1 s.
- Nature du signal de synchronisation : (origine des angles de phase)
 - Onde périodique quelconque ne présentant que deux passages par sa valeur moyenne par cycle.
- Tension minimale de déclenchement : 200 mV crête à crête
Un voyant lumineux situé sur le panneau avant signale la présence d'un signal de niveau insuffisant entraînant une dégradation de la précision de phase. Néanmoins, la voie référence reste accrochée sur le signal appliqué jusqu'à un niveau de 30 mV crête à crête. A fréquence basse et malgré la présence d'un niveau de signal correct, le voyant peut clignoter à la fréquence d'utilisation (entre 3 Hz et 10 Hz).
- Tension maximale de déclenchement : 8,5 V crête à crête
- Tension d'entrée maximale : 100 V crête à crête
Impédance d'entrée en saturation 10 kΩ
- Temps d'acquisition : (pour une constante de temps ≤ 1 s)
 - en mode X Y : ≤ 2 s
 - en mode MODULE-PHASE (VAR) : ≤ 20 s de 3 Hz à 30 Hz
≤ 5 s de 30 Hz à 30 kHz
- Vitesse de poursuite : est essentiellement fonction de la fréquence de travail et du mode de fonctionnement, comme l'indiquent les courbes ci-après. La non linéarité des courbes correspond au changement automatique de fréquence donnant ainsi des performances optimales.



– Phase :

- . Plage de réglage : + 190° à – 190° en 2 gammes avec recouvrement de gammes sur $\pm 10^\circ$, réglage effectué à l'aide d'un potentiomètre multitours résolution 0,2°.
- . Lecture de phase affichée sur galvanomètre (échelle linéaire)
- . Précision de phase.

Mode X Y : $\pm 2^\circ$ de 3 Hz à 30 kHz

Mode MODULE-PHASE (VAR) $\pm 2^\circ$, (sauf : $\pm 4^\circ$ à 3 Hz et $\pm 6^\circ$ à 30 kHz)
consulter la courbe d'incertitude de phase du paragraphe 2.5.4.2.

- . Précision de quadrature : meilleure que $\pm 0,2^\circ$
- . Stabilité de la phase : $0,1^\circ/\text{C}$
- . Bruit de phase : $\leq 0,1^\circ$ sur une constante de temps de 0,1 s

1.7.4 – Démodulateur et Amplificateur continu

- Stabilité du zéro après 30 minutes de stabilisation : $0,1 \text{ \%/}^\circ\text{C. TYP. ; } 0,3 \text{ \%/}^\circ\text{C Max.}$
- Réserve Dynamique : Celle-ci est définie comme étant le rapport du signal non cohérent crête à crête que l'on peut appliquer à l'entrée du TE9602, sans provoquer de surcharge dans la chaîne d'amplification, au signal cohérent crête à crête nécessaire pour obtenir la pleine échelle en sortie de l'appareil.

Gammes	Multiplicateur de sensibilité	Sans pré-filtre	Avec pré-filtre
100 μVeff à 300 mVeff	1 0,1 0,01	10 dB 30 dB 50 dB	30 dB 50 dB 70 dB
1 Veff	1 0,1 0,01	10 dB 30 dB 50 dB	20 dB 40 dB 60 dB
3 Veff	1 0,1 0,01	10 dB 30 dB 50 dB	10 dB 40 dB 50 dB

- Réjection du bruit non cohérent : 10 % maximum de la pleine échelle pour une surcharge de 70 dB (60 dB pour un signal de référence à 30 kHz). Cette réjection est définie comme étant le décalage de zéro provoqué par un signal non cohérent appliqué à l'entrée du TE9602.
- Constante de temps : réglable directement sur le panneau avant et séparément sur chaque voie X et Y (pente – 6 dB par octave).
 - Min (< 0,5 ms); 10 ms; 0,1 s; 1 s et 10 s.
 - Un pré-filtrage de 0,3 s peut être mis en œuvre sur chaque voie par modification interne.
- Décalage de zéro : ± 10 fois la pleine échelle commutable sur la voie X ou sur la voie Y. La lecture directe du décalage est effectuée sur le galvanomètre de la voie X avec un coefficient multiplicatif de 10 : précision de lecture 5 %.
- Sorties :
 - Amplitude : au moyen de deux prises BNC situées sur le panneau arrière correspondant aux voies X et Y.
 - $\pm 1 \text{ V}$ pleine échelle sur gammes : 1 Veff , 100 mVeff , 10 mVeff , 1 mVeff , 0,1 mVeff , 10 μVeff , 1 μVeff .

± 950 mV pleine échelle sur gammes : 3 Veff, 300 mVeff, 30 mVeff, 3 mVeff, 0,3 mVeff, 30 μ Veff, 3 μ Veff.

Valeur théorique : $3/\sqrt{10} = 0,948$ V ; la tension continue de sortie de 1 V correspond à une pleine échelle de 3,16 pour faciliter les mesures en décibels.

Impédance de charge : ≥ 100 k Ω

– Phase : 10 mV par degré d'angle, précision 2 % (référence OV = 90°)

Impédance de charge : ≥ 500 k Ω

1.7.5 – Caractéristiques Générales

- Affichage par deux galvanomètres à zéro central, classe 1 %, longueur d'échelles 95 mm.
- Alimentation : 127 Veff ou 220 Veff (± 10 %) 50/60 Hz 15 VA.
- Temps de stabilisation : 30 minutes
- Température de fonctionnement : + 10° à + 45°C. Les caractéristiques sont spécifiées à 23°C.
- Dimensions et masse : Coffret standard 3 U :
L = 444, H = 132, P = 322 mm. Masse : 7 kg
- Deux équerrres sont fournies pour montage en rack standard 19 pouces.

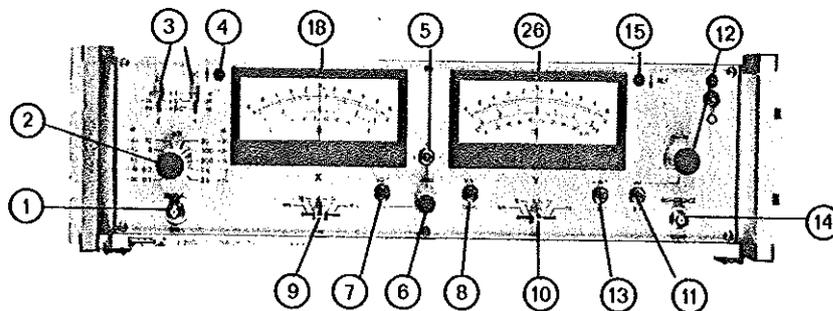
1.7.6 – Options

- Filtre interne : Une carte interne est délivrée sur option pour fournir un filtre réglable en passe-bande ou en réjecteur de facteur de qualité de 5. La fréquence centrale du filtre peut être ajustée dans un rapport 1 à 2,5 au moyen d'un potentiomètre accessible sur le panneau arrière. La gamme de fréquence de 3 Hz à 30 kHz est couverte en modifiant la valeur de deux condensateurs soudés sur picots accessibles sur la carte.
- Oscillateur interne : Un oscillateur interne est délivré également sur option et fournit un signal sinusoïdal de 0 à 10 V crête à crête sur charge 600 Ω . La fréquence d'oscillation est réglable dans un rapport 1 à 2,5 au moyen d'un potentiomètre accessible sur le panneau arrière. La gamme de fréquence est couverte également en modifiant la valeur de deux condensateurs soudés sur picots et accessibles sur la carte.
- Amplificateur d'entrée « faible bruit » :
Le TE9602 peut être livré avec un amplificateur d'entrée de caractéristiques identiques à celles précisées dans le paragraphe 1.7.2, à l'exception du bruit d'entrée. Bruit entrée en court-circuit ou fermée sur charge blindée de 50 Ω suivant tableau ci-dessous :

Fréquence	10 Hz	100 Hz	1 kHz	10 kHz
Densité Spectrale	25 nVeff/ $\sqrt{\text{Hz}}$	10 nVeff/ $\sqrt{\text{Hz}}$	5 nVeff/ $\sqrt{\text{Hz}}$	5 nVeff/ $\sqrt{\text{Hz}}$

AIDE-MÉMOIRE D'EMPLOI DU TE9602

- A) Entrée référence (14) 10 MΩ – Tension nécessaire entre 70 mV eff. et 3 V eff.; maximum 100 V crête à crête – Sinus, carré ou triangle.
Le voyant de niveau référence (15) éteint indique que le niveau de référence est suffisant.
- B) Entrée signal (1) 10 MΩ – Maximum 30 V crête à crête sur les gammes 0,1 mV à 100 mV, 50 V sur les gammes 300 mV à 3 V – 100 Ω entre le corps de la prise et la masse électrique de la prise (14) (masse électrique et masse châssis peuvent être reliées par un cavalier placé sur le panneau arrière).
- C) Sensibilité (2) exprimée en volt ou dB (référence 1 volt); atténuateur d'entrée.
Le voyant de saturation signal (4) doit être éteint; sinon diminuer la sensibilité.
- D) Multiplicateurs d'échelles (3) : ils permettent de régler indépendamment le gain des amplificateurs continus X et Y après détection. Au départ, placer ces commutateurs sur la position X 1 (la position X 0,01 permet d'atteindre la sensibilité maximale de 1 microvolt pleine échelle).



• **MESURE DES COMPOSANTES EN PHASE ET EN QUADRATURE**

Inverseur (7) sur VOLT
Inverseur (8) sur VOLT

Inverseur (11) sur X-Y
Inverseur (5) sur 0

Les galvanomètre X (18) et Y (26) affichent la valeur des composantes du signal en phase et en quadrature par rapport à la référence.

Une tension de décalage peut être appliquée (5), soit sur la voie X, soit sur la voie Y, le réglage de cette tension étant effectué en positif ou en négatif grâce au potentiomètre multitour (6). On affiche la tension de décalage en abaissant l'inverseur (7); la valeur de la tension s'obtient alors en multipliant par 10 la valeur lue sur (18).

• **MESURE DU MODULE ET DE L'ANGLE DE PHASE**

Inverseur (7) sur VOLT
Inverseur (8) sur VOLT
Inverseur (13), selon le cas, sur + ou - 180°

Inverseur (11) sur VAR
Inverseur (5) sur 0

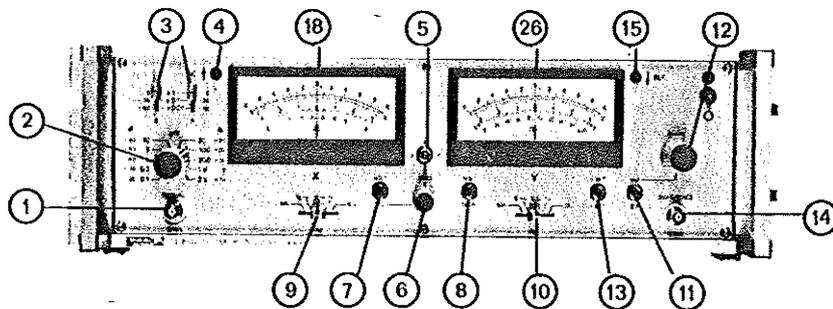
Le décalage de phase se fait par l'intermédiaire du potentiomètre multitour (12). En réglant la phase pour annuler Y (26) et en faisant attention (en agissant sur (13)) d'obtenir une valeur positive sur X (18), on lit alors, sur ce dernier, le module de la tension d'entrée.

Inverseur (8), mis sur DEG, permet de lire sur Y (26) l'angle en degrés avec son signe ($\pm 180^\circ$ (13)).

Constantes de temps (9) et (10) généralement réglées sur 0,1 s; on peut améliorer le rapport signal-à-bruit, en augmentant la constante de temps (maximum 10 s). Sur les sorties arrières, on peut obtenir les tensions après détection (valeur minimale de la constante de temps de l'ordre de 500 μs).

AIDE-MÉMOIRE D'EMPLOI DU TE9602

- A) Entrée référence (14) $10\text{ M}\Omega$ – Tension nécessaire entre 70 mV eff. et 3 V eff.; maximum 100 V crête à crête – Sinus, carré ou triangle.
Le voyant de niveau référence (15) éteint indique que le niveau de référence est suffisant.
- B) Entrée signal (1) $10\text{ M}\Omega$ – Maximum 30 V crête à crête sur les gammes 0,1 mV à 100 mV, 50 V sur les gammes 300 mV à 3 V – $100\ \Omega$ entre le corps de la prise et la masse électrique de la prise (14) (masse électrique et masse châssis peuvent être reliées par un cavalier placé sur le panneau arrière).
- C) Sensibilité (2) exprimée en volt ou dB (référence 1 volt); atténuateur d'entrée.
Le voyant de saturation signal (4) doit être éteint; sinon diminuer la sensibilité.
- D) Multiplicateurs d'échelles (3) : ils permettent de régler indépendamment le gain des amplificateurs continus X et Y après détection. Au départ, placer ces commutateurs sur la position X 1 (la position X 0,01 permet d'atteindre la sensibilité maximale de 1 microvolt pleine échelle).



• MESURE DES COMPOSANTES EN PHASE ET EN QUADRATURE

Inverseur (7) sur VOLT
Inverseur (8) sur VOLT

Inverseur (11) sur X-Y
Inverseur (5) sur 0

Les galvanomètre X (18) et Y (26) affichent la valeur des composantes du signal en phase et en quadrature par rapport à la référence.

Une tension de décalage peut être appliquée (5), soit sur la voie X, soit sur la voie Y, le réglage de cette tension étant effectué en positif ou en négatif grâce au potentiomètre multitour (6). On affiche la tension de décalage en abaissant l'inverseur (7); la valeur de la tension s'obtient alors en multipliant par 10 la valeur lue sur (18).

• MESURE DU MODULE ET DE L'ANGLE DE PHASE

Inverseur (7) sur VOLT
Inverseur (8) sur VOLT
Inverseur (13), selon le cas, sur + ou -180°

Inverseur (11) sur VAR
Inverseur (5) sur 0

Le décalage de phase se fait par l'intermédiaire du potentiomètre multitour (12). En réglant la phase pour annuler Y (26) et en faisant attention (en agissant sur (13)) d'obtenir une valeur positive sur X (18), on lit alors, sur ce dernier, le module de la tension d'entrée.

Inverseur (8), mis sur DEGRE, permet de lire sur Y (26) l'angle en degrés avec son signe ($\pm 180^\circ$ (13)).

Constantes de temps (9) et (10) généralement réglées sur 0,1 s; on peut améliorer le rapport signal-à-bruit, en augmentant la constante de temps (maximum 10 s). Sur les sorties arrières, on peut obtenir les tensions après détection (valeur minimale de la constante de temps de l'ordre de 500 μs).

- Avec pré-filtrage de 0,3 s (cf. § 2.4.1.4)
Largeur de bande du bruit blanc d'entrée : $\Delta F = 30 \text{ kHz}$

Constante de temps	MIN	10 ms	0,1 s	1 s	10 s
Largeur de bande équivalente Δf	0,8 Hz	0,8 Hz	0,6 Hz	0,2 Hz	0,02 Hz
Amélioration du rapport signal-à-bruit	46 dB	46 dB	47 dB	52 dB	60 dB

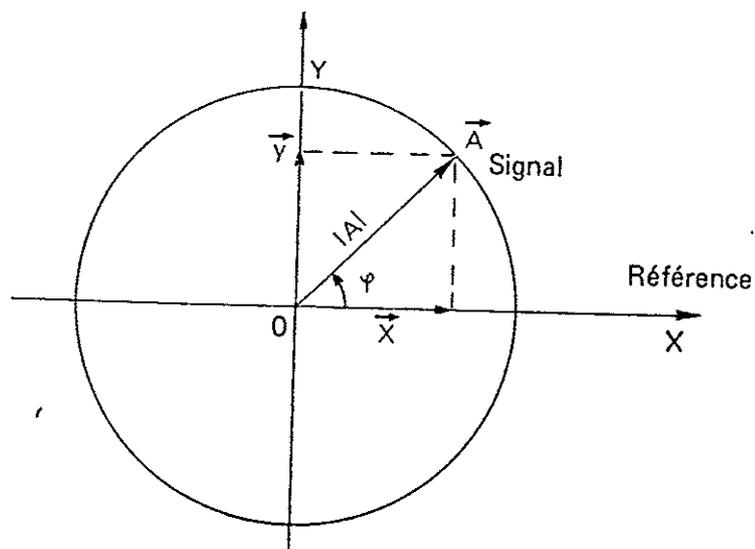
On constate, avec les valeurs ci-dessus, que l'augmentation du rapport signal-à-bruit varie avec la racine carrée de la constante de temps, alors que le temps de mesure est directement proportionnel à cette constante.

En pratique, on choisira donc la constante de temps qui réduit le bruit à un niveau acceptable et qui fournit un temps de mesure adapté à l'expérimentation.

2.4.1.4 – Nécessité d'utilisation du pré-filtrage

Par modification interne, un pré-filtrage de 0,3 s peut être ajouté sur chaque voie continue au niveau du 1er étage d'amplification (voir chapitre 2.4.5 pour sa mise en œuvre). L'effet de ce filtrage supplémentaire agit comme précédemment sur le temps de mesure et sur l'amélioration du rapport signal-à-bruit. En général un pré-filtrage n'est pas nécessaire pour réduire le bruit à un niveau tolérable. Cependant, si le bruit est suffisamment important pour entraîner une surcharge, et donc une saturation du 1er étage d'amplification continue, il sera nécessaire d'ajouter ce pré-filtrage ; comme on l'indique dans les spécifications, la réserve dynamique en sera améliorée. Ce pré-filtrage peut être également utile dans le cas où l'on utilise un enregistreur en sortie de l'appareil sur chaque voie "X" et "Y". La résiduelle de démodulation (surtout aux fréquences basses), sans effet sur l'aiguille d'un galvanomètre du fait de son inertie, peut être visible sur un enregistreur. La présence du pré-filtrage contribuera à éliminer cette oscillation résiduelle.

2.4.2 – Mesure des composantes réelle et imaginaire d'un signal non bruité



Dans ce cas d'utilisation, le voltmètre vectoriel fournit la composante X du signal mesuré en concordance de phase avec le signal de référence et la composante Y en quadrature de phase avec la référence (voir figure ci-dessus).

Pour ce faire :

- Mettre l'interrupteur (5) sur la position "0".
- Mettre les deux commutateurs (3) sur la position X 1.
- Mettre les deux interrupteurs (7) et (8) sur la position "Volt".
- Mettre l'interrupteur (11) sur la position "X Y".
- Appliquer le signal de référence sur l'entrée référence (14) compris entre 200 mV crête à crête et 3 V crête à crête.
- Appliquer sur l'entrée signal (1) le signal inconnu à mesurer.
- Régler le commutateur de gain (2) pour obtenir une lecture ne provoquant aucune surcharge sur les galvanomètres.
- Choisir les constantes de temps (9) et (10) adaptées au mieux au temps de réponse désiré et à la fréquence d'utilisation.
- Les valeurs lues correspondent à la mesure des deux composantes X et Y. Dans le cas de la figure précédente, ces deux composantes doivent être positives (1er quadrant).

Remarque 1 :

- Si l'une des composantes est inférieure à 10 % de la pleine échelle, il est possible d'augmenter la précision de la lecture en plaçant le commutateur de gain continu (3) correspondant à cette composante sur la position 0,1 ou X 0,01 selon le cas. On risque malgré tout, principalement sur la position X 0,01, d'être perturbé par le bruit de phase propre à l'appareil variable selon la fréquence d'utilisation.
- Dans le cas d'un signal bruité, le commutateur de gain (2) sera réglé de telle sorte que le voyant de surcharge ne s'allume pas. Ensuite on pourra agir sur les commutateurs de gain continu (3) pour avoir une mesure située dans la bonne plage de lecture des galvanomètres.

Remarque 2 :

Pour un signal sinusoïdal \vec{A} en coïncidence de phase sur la référence, les signaux démodulés, observables sur la prise de sortie (23) ou sur les sorties X et Y (21) (voir paragraphe 2.5.7) sont de la forme figurée sur le tableau du paragraphe 5.2.2.7 :

Composante en phase \vec{X} : PT1 "voie X"

Composante en quadrature \vec{Y} : PT1 "voie Y"

Les variations de tension sont respectivement (si A représente l'amplitude crête du signal d'entrée) :

$$U_x = \frac{2A}{\Pi} \left(1 - \frac{2}{3} \cos 2\omega t - \frac{2}{15} \cos 4\omega t - \frac{2}{35} \cos 6\omega t - \dots \right)$$

$$U_y = \frac{2A}{\Pi} \left(\frac{4}{3} \sin 2\omega t + \frac{8}{15} \sin 4\omega t + \frac{12}{35} \sin 6\omega t + \dots \right)$$

A la composante continue, est donc superposé un signal alternatif résiduel, dont l'amplitude varie avec les constantes de temps de filtrage. A titre indicatif, les tableaux suivants fournissent l'amplitude de ce signal résiduel pour une déviation pleine échelle sur la voie "X" et nulle sur la voie "Y" en fonction de la fréquence d'utilisation F et des constantes de temps de filtrage T.

A) Composante en phase : signal résiduel crête à crête observable sur oscilloscope à la sortie X.

T \ F	3 Hz	30 Hz	300 Hz	3 kHz	30 kHz
MIN	1,4 V	1,3 V	600 mV	30 mV	3 mV
10 ms	1,2 V	300 mV	30 mV	3 mV	1 mV
0,1 s	300 mV	30 mV	3 mV	1 mV	1 mV
1 s	30 mV	3 mV	1 mV	1 mV	1 mV
10 s	3 mV	1 mV	1 mV	1 mV	1 mV

B) Composante en quadrature : signal résiduel crête à crête observable sur oscilloscope à la sortie Y.

T \ F	3 Hz	30 Hz	300 Hz	3 kHz	30 kHz
MIN	2,8 V	2,6 V	130 mV	64 mV	20mV
10 ms	2,4 V	640 mV	64 mV	2 mV	2 mV
0,1 s	640 mV	64 mV	6,4 mV	2 mV	2 mV
1 s	64 mV	6,4 mV	2 mV	2 mV	2 mV
10 s	6,4 mV	2 mV	2 mV	2 mV	2 mV

2.4.3 – Mesure du module et de la phase d'un signal non bruité

Dans ce cas d'utilisation, le voltmètre vectoriel fournit le module du signal mesuré et son déphasage par rapport au signal de référence. En se reportant à la figure précédente, cela revient à mesurer :

$$|A| = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

$$\varphi = \text{Arc tg } \frac{Y}{X}$$

Pour ce faire, et à partir des positions des interrupteurs et commutateurs décrites précédemment :

– Mettre l'interrupteur (11) sur "VAR".

- Agir sur le bouton de phase (12) de manière à annuler la valeur lue sur le galvanomètre de la voie Y, mais de façon à obtenir simultanément une valeur positive sur le galvanomètre de la voie X. Si cela est impossible, mettre l'interrupteur (13) sur l'autre position et agir de même. De façon à obtenir une bonne précision de mesure, agir éventuellement sur le commutateur de gain (2) pour que la mesure de la voie "X" soit dans une bonne plage de lecture du galvanomètre, puis mettre le commutateur de gain continu (3) de la voie "Y" sur X 0,1 pour augmenter la sensibilité de cette voie et déterminer un meilleur "zéro".
- Placer ensuite l'interrupteur (8) sur la position "degré".
- La lecture effectuée sur le galvanomètre de la voie "X" correspond au module $|A|$.
- La lecture effectuée sur l'échelle en degrés du galvanomètre de la voie Y correspond au déphasage du signal par rapport à la référence. Le signe de ce déphasage est fonction de la plage de variation choisie inscrite sur les 2 positions de l'interrupteur (13) : $0/+ 180^\circ$ ou $0/- 180^\circ$.

Remarque 1 :

Dans le cas d'un signal bruité, agir de la même façon que celle décrite dans la remarque du paragraphe 2.4.2.

Remarque 2 :

Pour juger de l'acuité du réglage du bouton de phase (12), il est utile de connaître les variations, en pourcentage de la pleine échelle, entraînées par un dérèglement de phase déterminé :

Angle de phase φ	Variation sur X en $\cos \varphi$	Variation sur Y en $\sin \varphi$
0,2°	0,0006 %	0,35 %
1°	0,015 %	1,75 %
2°	0,06 %	3,5 %
5°	0,4 %	8,7 %
10°	1,5 %	17,4 %

2.4.4 – Fonctionnement en "2 F"

Le voltmètre vectoriel TE 9602 est livré pour fonctionner avec une démodulation à la fréquence "F" d'utilisation. Si l'on veut démoduler le signal à la fréquence double de celle de travail pour l'étude du second harmonique, il est nécessaire de commuter l'interrupteur F - 2F, situé dans l'appareil, et donc non accessible sur le panneau avant. Pour cela, il faut procéder au démontage du capot supérieur (voir chapitre 4.2) et à l'aide de l'étiquette de la localisation (planche 7.10), collée sur le revers de ce capot, on repère la position de cet interrupteur sur le circuit imprimé central. Il suffit de basculer le levier de l'interrupteur en position 2 F pour que la démodulation du signal d'entrée s'effectue à fréquence double. Dans cette position, le bouton de réglage de phase (12) permet sur une seule gamme de faire varier le déphasage de 0 à 360° (au lieu de 0 à 180°), les mesures de phase effectuées étant alors à multiplier par un facteur 2.

2.4.5 – Fonctionnement avec les "Pré-Filtres"

Pour les raisons explicitées au chapitre 2.4.1, il est parfois nécessaire d'ajouter un pré-filtrage sur les deux voies continues. Cette modification s'effectue d'une façon interne sur les deux cartes de circuits imprimés correspondant à chaque voie X et Y.

Comme précédemment, il faut procéder au démontage du capot supérieur. On a alors accès aux deux circuits imprimés situés en regard le long des deux cloisons transversales de l'appareil. Après avoir sorti ces cartes de leur logement et en se reportant à l'étiquette collée sur le revers du capot, il suffit de réaliser la connexion entre les deux picots situés juste au-dessus du condensateur de $1 \mu\text{F}$. Un filtrage de constante de temps de 0,3 s et de pente 6 dB/octave est ainsi inséré sur chaque voie continue et vient s'ajouter aux filtrages réalisés de façon externe par les commutateurs ⑨ et ⑩.

2.4.6 – Fonctionnement avec l'oscillateur interne

Dans certaines applications, on ne dispose pas d'un générateur extérieur pour fournir le signal de référence. Dans ce cas, le voltmètre vectoriel TE 9602 peut être équipé, sur option, d'un oscillateur interne sinusoïdal qui fournira d'une part un signal interne pour commander les circuits de la voie de référence et d'autre part un signal externe d'amplitude variable destiné à l'excitation du dispositif en cours d'essai. Ce signal est alors disponible sur la prise BNC ⑭ d'entrée référence, utilisée, dans ce cas particulier, comme prise de sortie (résistance interne 600Ω). L'utilisation du voltmètre vectoriel reste par ailleurs identique aux descriptions précédentes.

2.4.6.1 – Installation de cet oscillateur

Lorsque le voltmètre vectoriel est livré pour un fonctionnement avec un générateur externe, il est nécessaire de procéder tout d'abord au démontage du capot supérieur (voir chapitre 4.2). Une fois le capot retiré, et si l'appareil n'est pas muni d'une carte oscillateur, installer cette carte au préalable en la faisant glisser entre les deux glissières situées à l'arrière de la cloison de droite, de telle sorte que son connecteur vienne s'enficher sur le connecteur situé sur le circuit imprimé de la voie référence (circuit de droite). Une fois installé, l'oscillateur est prêt à être utilisé. Pour que celui-ci devienne opérationnel, il suffit de se reporter à l'étiquette collée sur le revers du capot et de commuter l'interrupteur, comme indiqué, sur la position "INT". Le signal de sortie de l'oscillateur est alors disponible sur la prise d'entrée "Référence" et un signal d'environ $100 \text{ mV}_{\text{eff}}$ est appliqué sur les circuits internes de la voie référence.

2.4.6.2 – Utilisation de l'oscillateur interne

L'accès aux potentiomètres de réglage de l'amplitude de sortie et de la fréquence d'oscillation s'effectue à travers les deux trous prévus à cet effet sur le panneau arrière.

La fréquence d'oscillation peut varier sur une plage de 1 à 2,5 environ autour de la fréquence fixée par la valeur de deux condensateurs montés sur la carte oscillateur. Le tableau ci-après indique la gamme de fréquences couverte par le réglage de ce potentiomètre, en fonction de la valeur de la capacité de ces condensateurs.

Gamme de fréquence approximative	Valeur des Capacités	Référence TEKELEC de l'option	
		oscillateur interne	filtre interne
3 Hz à 7 Hz	2,2 µF	02 A	01 A
6 Hz à 15 Hz	1 µF	02 B	01 B
12 Hz à 33 Hz	0,47 µF	02 C	01 C
30 Hz à 70 Hz	0,22 µF	02 D	01 D
60 Hz à 150 Hz	0,1 µF	02 E	01 E
120 Hz à 330 Hz	0,47 µF	02 F	01 F
300 Hz à 700 Hz	0,022 µF	02 H	01 H
600 Hz à 1,5 kHz	0,01 µF	02 K	01 K
1,2 kHz à 3,3 kHz	4.700 pF	02 L	01 L
3 kHz à 7 kHz	2.200 pF	02 M	01 M
6 kHz à 15 kHz	1.000 pF	02 N	01 N
12 kHz à 33 kHz	470 pF	02 P	01 P

Ces condensateurs peuvent être facilement changés ; il suffit de retirer la carte de son logement et de souder les deux condensateurs sur les picots prévus à cet effet. Ces condensateurs doivent être à faible courant de fuite, avariés à mieux que ± 5 % et être du type Mylar, polystyrène, polycarbonate, de tension d'essai de l'ordre de 50 V minimum. Les condensateurs au tantale ou électrolytiques ne doivent pas être utilisés. Toute variation de fréquence, obtenue au moyen du potentiomètre de réglage, doit être effectuée lentement. Dans le cas contraire, l'oscillateur risque de s'arrêter, et il faudra attendre quelques secondes pour obtenir de nouveau un signal d'oscillation.

L'amplitude du signal sinusoïdal disponible sur la prise "REFERENCE" situé sur le panneau avant peut être ajustée de 0 V à 10 V crête à crête (résistance interne 600 Ω). L'amplitude du signal appliquée à la voie Référence reste constante.

Enfin, il est possible, si l'utilisateur le juge nécessaire, de diminuer le taux de distorsion harmonique du signal délivré en suivant les indications ci-après :

- Appliquer le signal de sortie de l'oscillateur sur l'entrée signal ① .
- Mettre l'interrupteur ⑪ sur la position "X Y".
- Régler le potentiomètre d'amplitude accessible à travers le panneau arrière ⑫ pour obtenir une déviation pleine échelle de 1 V_{eff} par exemple, sur le galvanomètre de la voie X (commutateur de gain alternatif ② sur 1 V_{eff} et les commutateurs de gain continu ③ sur X 1).
- Passer le commutateur "F-2 F" sur la position 2 F (voir paragraphe précédent 2.4.4).
- Augmenter les gains continus des voies X et Y - commutateurs ③ sur la position X 0,1 ou X 0,01.

- Chercher à réduire au maximum les déviations éventuelles lues sur les galvanomètres en jouant sur l'un des petits potentiomètres (RV 451) accessible de l'intérieur de l'appareil et situé le plus près du panneau avant (se référer aussi au plan d'équipement de la carte, planche 7-8). Agir doucement sur ce potentiomètre pour ne pas provoquer de décrochement de l'oscillateur, l'arrêt de l'oscillation étant indiqué immédiatement par l'allumage du voyant référence repéré par une flèche descendante.

Remarque :

Lorsque l'oscillateur interne est installé dans l'appareil, mais sans être utilisé (commutateur sur la position "EXT"), celui-ci est malgré tout en fonctionnement. Pour éviter toutes perturbations éventuelles des mesures (battement avec la fréquence de l'oscillateur), il est recommandé de diminuer au maximum l'amplitude de sortie de l'oscillateur au moyen du potentiomètre accessible à travers le panneau arrière (25).

2.4.7 – Fonctionnement avec filtre interne

Dans certaines applications, où des signaux parasites interfèrent avec le signal utile, il est nécessaire soit de réduire la bande équivalente de bruit avant la démodulation, soit de rejeter une fréquence particulière du signal d'entrée. L'utilisation d'un filtre interne, fourni sur option, mis en série dans la chaîne d'amplification alternative, permet d'effectuer de tels traitements. Une fois ce circuit mis en place dans l'appareil, l'utilisateur dispose d'un filtre passe bande, ou d'un filtre rejeteur de facteur de qualité $Q = 5$ ajustable en 12 sous-gammes dans la bande de fréquence de l'appareil.

2.4.7.1 – Installation du filtre interne

La procédure pour l'installation du filtre interne est identique à celle de l'oscillateur interne.

Le filtre interne est fourni sous forme d'une carte séparée qui vient se loger dans les glissières prévues à cet effet sur la partie postérieure de la cloison de gauche. Une fois que la prise de la carte a été enfoncée dans le connecteur, situé sur le circuit imprimé de gauche, et que le petit commutateur situé sur le même circuit a été placé sur la position "AVEC" (se reporter à l'étiquette collée sur le revers du capot supérieur de l'appareil), le filtre interne est prêt à être utilisé.

2.4.7.2 – Utilisation du filtre interne

La carte filtre interne est équipée de deux potentiomètres d'ajustage, de deux interrupteurs et de deux condensateurs soudés sur picots pour le choix de la gamme de fréquence de réglage.

Le potentiomètre accessible à travers le panneau arrière règle la fréquence centrale du filtre sélectif. Le petit potentiomètre accessible de l'intérieur de l'appareil règle le facteur de surtension et l'amplitude de sortie du filtre. Les deux interrupteurs déterminent le fonctionnement du filtre (se reporter à l'étiquette précédemment citée, reproduite sur la planche 7-10).

Le premier interrupteur permet à l'opérateur de choisir entre le fonctionnement en "filtrage" ou le fonctionnement en "passe-tout". Dans ce dernier cas, les circuits du filtre interne sont tout simplement mis en court-circuit et, dans cette position, le deuxième interrupteur n'a aucun effet. Le deuxième interrupteur réalise le choix entre la configuration de filtre passe-bande ou de filtre rejeteur.

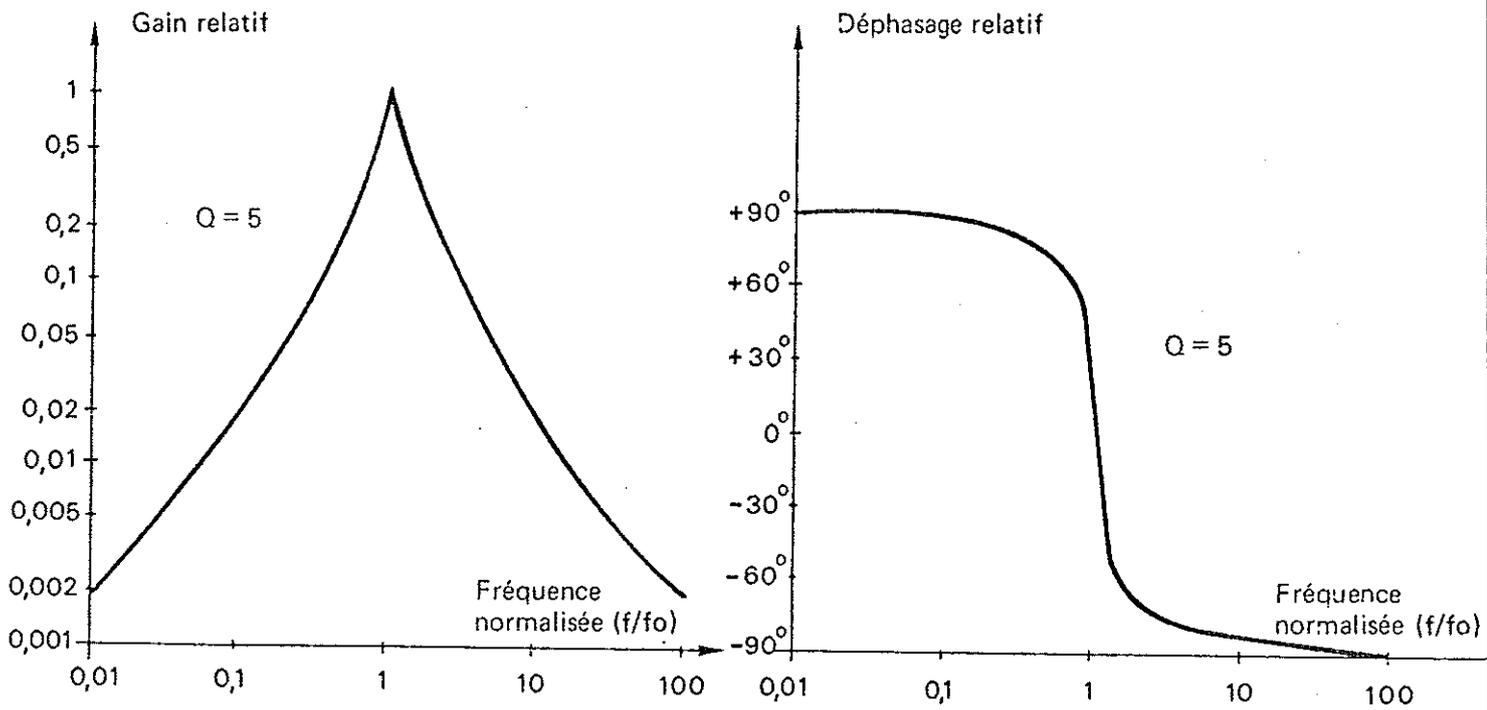
De la même manière que pour l'oscillateur interne, la fréquence centrale de filtrage peut sur une plage de rapport 1 à 2.5 autour de la fréquence fixée par la valeur des deux condensateurs nés sur la carte (se reporter au tableau du paragraphe 2.4.6.2 pour déterminer les plages de réglage). restrictions indiquées dans le chapitre précédent sur le type des condensateurs à utiliser sont également applicables ici.

Le réglage de cette carte filtre interne peut s'effectuer de la façon suivante :

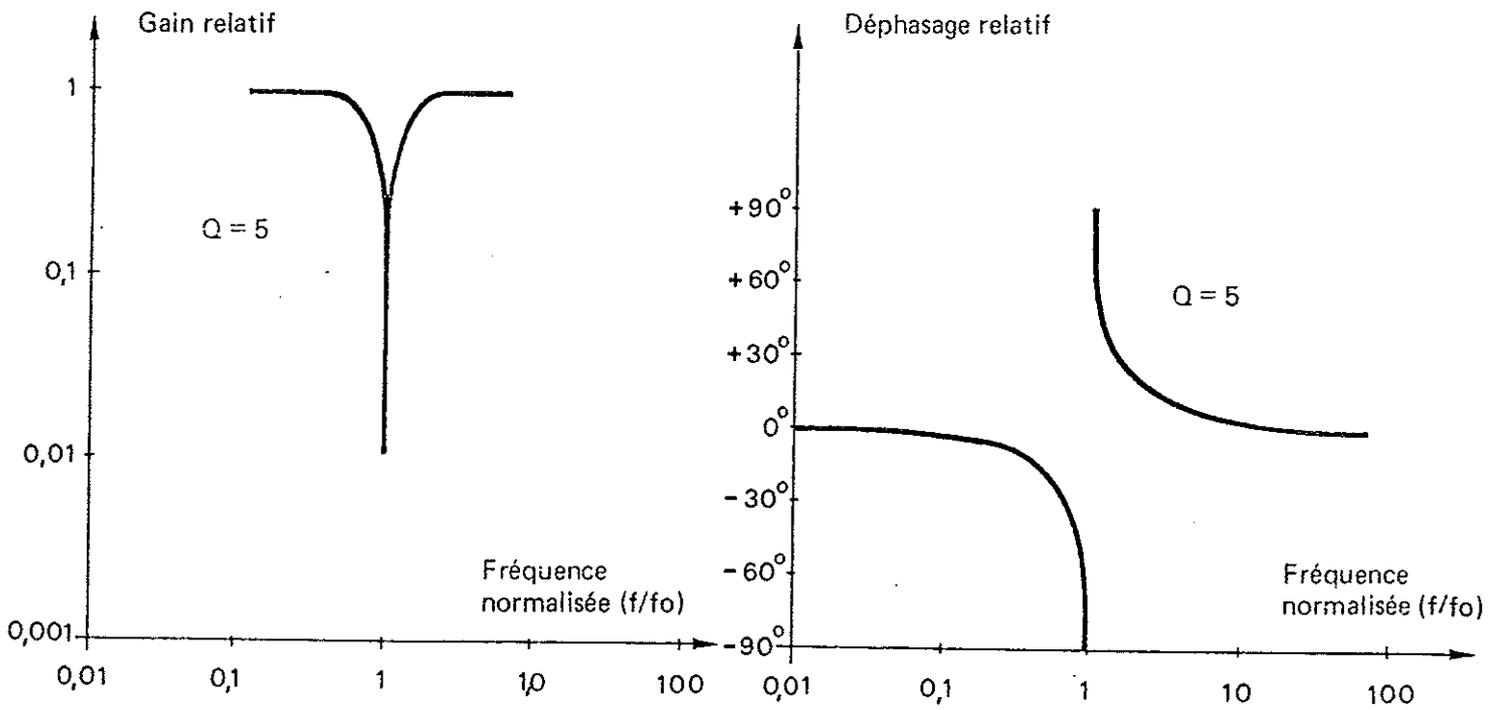
- Interrupteurs (7) et (8) placés sur volt
- Interrupteur (5) placé sur "0"
- Interrupteur (11) placé sur "X Y"
- Commutateurs (9) et (10) mis sur la position 0,1 s.
- Appliquer sur l'entrée "Réf" (14) et sur l'entrée "signal" (1) le même signal dans la plage d'utilisation en fréquence du filtre interne déterminé par la valeur des capacités des condensateurs installés sur la carte.
- Régler le commutateur du filtre interne sur la position "passe-tout"
- Régler les gains (2) et (3) et l'amplitude du signal appliqué de façon à avoir une déviation pleine échelle du galvanomètre de la voie "X". (la mesure du vecteur Y doit être nulle, puisque référence et signal sont en concordance de phase).
- Placer les commutateurs de la carte "filtre interne" sur les positions "SELECTIF" et "PASSE BANDE".
- Au moyen du potentiomètre accessible à travers le panneau arrière, annuler la lecture faite sur le galvanomètre de la voie "Y" et qui correspond à un maximum sur la voie "X".
- Au moyen du petit potentiomètre accessible de l'intérieur de l'appareil, rendre la lecture faite sur la voie "X" égale à celle obtenue sans filtre, soit la pleine échelle.
- Placer le commutateur sur la position "REJECTEUR", la lecture faite sur le galvanomètre de la voie X doit être nulle à mieux que $\pm 2\%$, retoucher éventuellement au réglage du potentiomètre précédent.

Le voltmètre vectoriel est alors prêt à fonctionner avec sa carte filtre interne et à la fréquence de travail choisie. On peut éventuellement faire varier la fréquence centrale du filtre sans retoucher au réglage du facteur de surtension, si l'on ne cherche pas à mesurer la valeur exacte du signal.

Les figures ci-dessous donnent les réponses en fréquence et en phase du filtre interne en position "passe bande" et en position "rejecteur". Il faut toutefois préciser qu'en position rejecteur le circuit du filtre est tel qu'un déphasage de $- 180^\circ$ est introduit en permanence dans la chaîne d'amplification.



Filtre Passe-Bande



Filtre Rejeteur

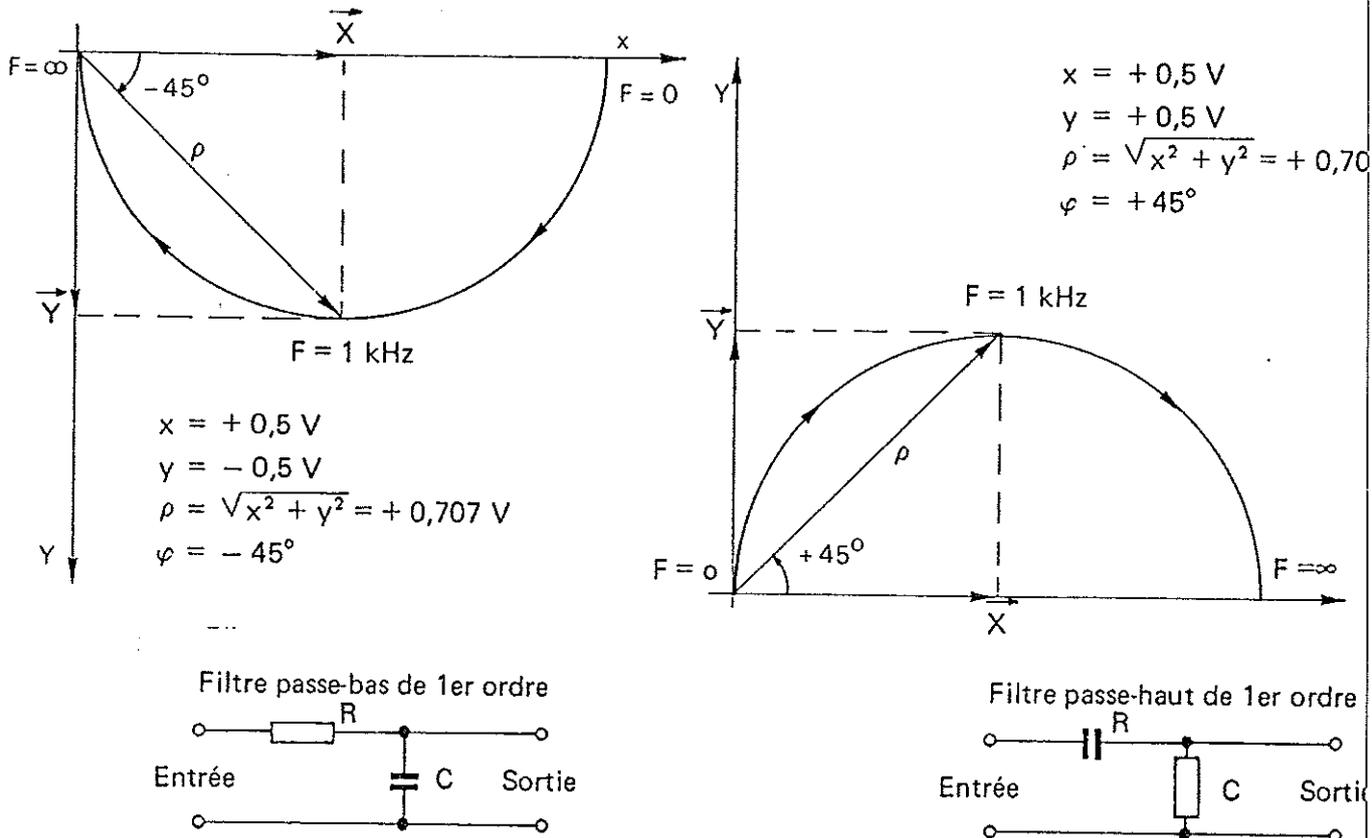
2.5 – CAS D'APPLICATION PARTICULIERS

2.5.1 – Mesures sur filtre passe-bas et passe-haut du 1er ordre

Pour bien montrer à l'utilisateur toute la souplesse d'emploi du voltmètre vectoriel TE 9602, prenons le cas particulier de l'étude d'un filtre du 1er ordre dans la configuration passe-bas, puis passe-haut, et dont le point de coupure se situe par exemple à 1 kHz.

A l'aide d'un générateur externe, appliquons 1 V_{eff} à l'entrée du filtre à tester et également sur l'entrée référence (14), le signal de sortie du filtre étant appliqué sur l'entrée signal (1).

On sait d'autre part, que dans le plan de NYQUIST, les courbes de réponse de tels filtres sont les suivantes :



Pour des éléments tels que : résistance $R = 7,2 \text{ k}\Omega$ et capacité $C = 22 \text{ nF}$, la fréquence de coupure est située à $f = 1/2 \pi RC = 1 \text{ kHz}$.

A cette fréquence, l'amplitude, qui est, par exemple, de 1 V dans la bande passante non atténuée, est réduite à 0,707 V (soit -3 dB). L'angle de phase est égal à 45°; son signe dépend du type de filtre : négatif pour le passe-bas et positif pour le passe-haut.

Vérifions alors ces mesures théoriques à l'aide du voltmètre vectoriel.

- Mettre le commutateur de gain alternatif (2) sur 1 V_{eff}.
- Mettre les commutateurs de gain continu (3) sur X 1
- Régler les constantes de temps (9) et (10) sur 0,1 s
- Mettre les interrupteurs (7) et (8) sur VOLT
- Mettre l'interrupteur (5) sur la position "0".
- Mettre l'interrupteur (11) sur "X Y"

- Appliquer la sortie du générateur sur l'entrée Référence (14)
- Appliquer la sortie du filtre à tester sur l'entrée signal (1)

Dans le cas du filtre passe-bas, la mesure faite sur la voie X doit être de $+ 0,5 \text{ V} \pm 4 \%$ et sur la voie Y de $- 0,5 \text{ V} \pm 4 \%$ respectant ainsi les valeurs et les signes théoriques calculés.

Dans le cas du filtre passe-haut, la mesure faite sur la voie "X" doit être de $+ 0,5 \text{ V}$ et sur la voie "Y" de $+ 0,5 \text{ V}$ respectant ainsi les valeurs et les signes théoriques calculés.

- Passer l'interrupteur (11) sur la position "VAR".
- Régler le bouton de phase (12) de telle sorte que la valeur lue sur la voie "Y" devienne nulle et que la valeur lue sur la voie "X" devienne maximale, mais positive si cela n'est pas possible, inverser de position le commutateur (13)
- Une fois le réglage effectué, passer l'interrupteur (8) sur "DEGRE".
- Que ce soit dans le cas du filtre passe-haut ou passe-bas, la lecture faite sur la voie "X" doit être de $+ 0,71 V_{\text{eff}} \pm 3 \%$ et la lecture de phase sur la voie Y de $45^\circ \pm 2^\circ$; mais dans le cas du filtre passe-haut, l'interrupteur doit être sur la position $+ 180^\circ$, indiquant une lecture positive de phase soit $+ 45^\circ$ et dans le cas du filtre passe-bas l'interrupteur doit être sur la position $- 180^\circ$, indiquant une lecture négative de phase soit $- 45^\circ$, conformément aux valeurs théoriques.

2.5.2. Mesures identiques au cas précédent avec balayage en fréquence et inscription des résultats sur table traçante

Le voltmètre vectoriel permet de relever directement la réponse de filtres dans le plan de Nyquist en travaillant, cette fois-ci, en balayage de fréquence et en enregistrant les résultats sur table traçante.

2.5.2.1 – Mise en œuvre et étalonnage de la table traçante

- Relier les sorties X et Y situées sur le panneau arrière aux entrées respectives de la table traçante.
- Fermer l'entrée signal du voltmètre vectoriel sur 50Ω de façon à afficher 0 volt sur les deux galvanomètres.
- Placer l'interrupteur (5) de décalage de zéro sur la position "X".
- A l'aide du bouton de décalage (6), afficher successivement un décalage pleine échelle en positif et en négatif sur le galvanomètre de la voie "X" et ajuster le gain correspondant de la table traçante pour avoir une échelle adaptée sur l'axe "X". Repérer alors sur la table traçante les 2 positions "pleine échelle".
- Passer l'interrupteur (5) sur la position "Y" et étalonner de la même manière l'axe "Y" de la table traçante.

Remarque :

Cet étalonnage est indépendant des gains alternatifs et continus du voltmètre vectoriel. Seule la valeur réelle de l'étalonnage dépend du choix des gains utilisés pour l'expérimentation.

- Revenir sur la position "0" de l'interrupteur ⑤ et repérer cette position sur la table traçante.

2.5.2.2 – Mesures réalisées en balayage de fréquence

- Mettre les commutateurs et interrupteurs comme indiqués dans le chapitre 2.5.1 précédent, en particulier l'interrupteur ⑪ en position X Y.
- Appliquer le signal de sortie du filtre sur l'entrée signal ①.
- Effectuer un balayage en fréquence de 10 Hz à 10 kHz par exemple.
- Régler la vitesse de balayage conformément aux spécifications. Pour cela, se reporter à la courbe donnée dans le chapitre 1.7.3 et précisant la vitesse de balayage maximum admissible pour une erreur de traînage $\leq 5^\circ$. Dans le cas de la mesure proposée, on voit que pour une excursion de fréquence de 10 Hz à 300 Hz ($\cong 5$ octaves), la durée du balayage ne peut pas être inférieure à 60 secondes; par contre, pour une excursion de fréquence de 300 Hz à 10 kHz ($\cong 5$ octaves également) la durée du balayage peut être ramenée à 25 secondes. En pratique, et pour ne pas modifier la vitesse en cours de balayage, un temps de 2 mn sera donc nécessaire pour être adapté à toute fréquence et réaliser l'excursion 10 Hz - 10 kHz ($\cong 10$ octaves).
- Relever les courbes correspondantes sur table traçante, ces courbes doivent être conformes aux courbes théoriques.
- Le même essai peut être également effectué en position "VAR" de l'interrupteur ⑪ mais dans ce cas, le voltmètre vectoriel ne réalisant pas une poursuite automatique de la phase, il faudrait à tout instant et à l'aide du bouton de phase, chercher à annuler la composante "Y" pour pouvoir enregistrer en permanence la valeur du module sur la voie "X".

Remarque :

La vitesse de poursuite du voltmètre vectoriel dépend uniquement des circuits de la voie Référence; en particulier, la vitesse maximale donnée dans les spécifications est indépendante des constantes de temps utilisées. Malgré tout, lorsque l'on effectue un balayage, l'utilisateur doit adapter ses constantes de temps à la vitesse de variation d'amplitude rencontrée au cours de son balayage.

2.5.3 – Utilisation du voltmètre vectoriel avec tension de polarisation pour capteur externe

Les connexions nécessaires pour la mise en place éventuelle de 4 résistances sur l'entrée SIGNAL sont prévues sur le circuit imprimé pour constituer un réseau de polarisation (voir schéma planche 7.1). Ce réseau est constitué au gré de l'utilisateur et permet d'alimenter un capteur nécessitant une tension de polarisation (alimentation d'une photodiode par exemple).

2.5.4 – Utilisation du voltmètre vectoriel en phasemètre

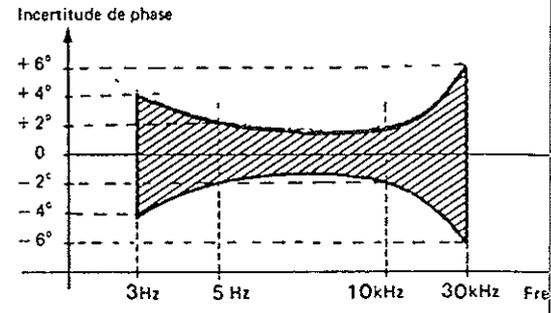
Le voltmètre vectoriel X & Y est par principe capable de faire des mesures d'angle de phase. Cet appareil peut donc être utilisé comme un phasemètre classique en respectant les conditions et la procédure suivantes :

2.5.4.1 – Conditions de mesures

- Nature des signaux d'entrée : sinusoïdal ou carré
- Gamme de fréquence : de 3 Hz à 30 kHz
- Amplitude des signaux
 - Voie signal → 100 μ Veff à 3 Veff avec réglage de gain
 - Voie référence → 70 mVeff à 3 Veff sans aucun réglage

2.5.4.2 – Précision de la mesure

- $\pm 2^\circ$ de 5 Hz à 10 kHz
- $\pm 4^\circ$ à 3 Hz et $\pm 6^\circ$ à 30 kHz



2.5.4.3 – Procédure à suivre

- Mettre l'appareil dans les conditions d'utilisation suivantes :
 - Interrupteur (11) sur "VAR"
 - Interrupteurs (7) et (8) sur "VOLT"
 - Commutateurs (9) et (10) sur 0,1 s
 - Interrupteur (5) sur "0".
 - Commutateur (3) sur "X 1"
- Appliquer les deux signaux sur les entrées "Signal" et "Référence"
- Régler le commutateur de gain (2), de telle sorte que l'aiguille du galvanomètre de la voie "X" indique une déviation quelconque mais qui ne provoque pas de saturation et donc pas d'allumage du voyant (4) de surcharge.
- Avec le bouton de réglage de phase (12), chercher à annuler la mesure faite sur le galvanomètre de la voie "Y", en s'assurant que la déviation observée sur le galvanomètre de voie "X" soit positive. Si cette condition est impossible, inverser la position de l'interrupteur (13) ($\pm 180^\circ$) et refaire le réglage indiqué ci-dessus.
- Abaisser l'interrupteur (8) sur "DEGRE" et lire le déphasage sur l'échelle inférieure rouge du galvanomètre de la voie Y, la lecture est positive si l'interrupteur (13) est sur $+ 180^\circ$, négative s'il se trouve sur $- 180^\circ$.

Remarque :

Une variante d'utilisation en phasemètre consiste à mesurer des très faibles différences de fréquence entre deux signaux stationnaires. A cet effet, on applique l'un des signaux sur l'entrée RÉFÉRENCE, l'autre sur l'entrée SIGNAL.

Le battement $\Delta f = 1/\theta$ se traduit sur un enregistrement en coordonnées XY (sorties (21) par un cercle, dont le cycle du tracé dure θ secondes.

Cela provient du fait que, lorsque les fréquences sont très proches, la différence de fréquence peut être assimilée à une différence de phase φ :

$$\Delta f = \frac{\varphi}{2\pi\theta}$$

Et chaque fois que $\varphi = 2\pi$, on a $\Delta f = 1/\theta$.

Si, par exemple, $f_1 = 1000,1$ Hz et $f_2 = 1000$ Hz, on observe une rotation de la trace effectuant sur un tour complet en $\theta = 1/0,1 = 10$ secondes.

2.5.5 – Utilisation du voltmètre vectoriel en microvoltmètre alternatif

Dans le cas où l'on ne s'intéresse pas à la mesure de phase, mais que l'on désire seulement connaître l'amplitude d'un signal inconnu, le voltmètre vectoriel peut être utilisé comme voltmètre alternatif sans nécessiter de signal de référence, en respectant les conditions et la procédure suivantes :

2.5.5.1 – Conditions de mesure

- gammes de mesure : $100 \mu\text{V}_{\text{eff}}$ à 3V_{eff} pleine échelle. (La mesure est possible jusqu'au $1/10$ de la pleine échelle, avec les commutateurs de gain continu ③ toujours placés sur la position "X1").
- gamme de fréquence de 3 Hz à 30 kHz.
- nature du signal : Si le signal est entaché d'un bruit, le rapport signal à bruit doit être supérieur à 20 dB pour que la mesure soit possible.

2.5.5.2 – Précision de la mesure

$\pm 2\%$ de la pleine échelle de 3 Hz à 30 kHz.

2.5.5.3 – Procédure à suivre

- S'assurer que le signal de sortie disponible sur la prise ②③, située sur le panneau arrière, corresponde bien à l'amplificateur alternatif. En effet, comme il est indiqué au paragraphe 2.5.7, cette prise de sortie est susceptible de délivrer d'autres signaux de contrôle (en particulier, signal de démodulation non moyenné).
- Mettre l'appareil dans les conditions d'utilisation suivantes :
 - Interrupteur ① sur "X Y"
 - Interrupteurs ⑦ et ⑧ sur "VOLT"
 - Interrupteur ⑤ sur "0"
 - Commutateurs ⑨ et ⑩ sur 0,1 s.
 - Commutateur ③ sur "X 1"
- Relier la sortie de l'amplificateur alternatif ②③, située sur le panneau arrière, à l'entrée référence ⑭, située sur le panneau avant.
- Appliquer sur l'entrée "signal" ①, le signal à mesurer.