

Phonocapteur à cellule photo-électrique

Après que la firme japonaise **Stax** eut utilisé, avec succès, dans le phonocapteur CPS40E, un principe analogue à celui du microphone à condensateur, la firme **Toshiba** vient de mettre au point un transducteur photo-électrique, fondé sur l'emploi de photo-transistors associés à un système optique d'une remarquable simplicité. Cette réalisation prouve que l'on est tout à fait décidé, au Japon, à s'écarter des sentiers battus et à appliquer aux têtes de lecture des principes différents de ceux qui furent utilisés jusqu'ici.

Malheureusement, ces phonocapteurs ne sont pas encore disponibles en France ; mais on en trouve dans quelques pays d'Europe, en Allemagne notamment, où ils ont fait l'objet d'études et de mesures très sérieuses. Les résultats de celles-ci ont été publiés dans diverses revues allemandes (« *Funkschau* » et « *Hi-Fi stéréophonie* » — à ne pas confondre avec l'édition haute-fidélité du *Haut-Parleur*, « *Hi-Fi stéréo* »). Ces résultats sont particulièrement intéressants et on pourra le constater à la lecture de cet article qui fait la synthèse des informations parues dans les colonnes de nos confrères d'outre-Rhin.

Dans le phonocapteur **Toshiba C-100 P**, on emploie des photo-transistors pour convertir les variations d'intensité d'un faisceau lumineux en variations de tension électrique. Pour éviter tout malentendu possible, précisons que, bien que l'on ait affaire à un transducteur photo-électronique, il ne s'agit pas, contrairement à ce que son nom pourrait laisser croire, d'un décodage des informations musicales gravées dans les sillons, ce qui rendrait le diamant superflu. La tête de lecture est bien pourvue d'un tube porte-pointe et d'un diamant. Elle ne se distingue donc pas, sous ce rapport, des autres phonocapteurs et la modulation des sillons est lue selon le procédé classique. En revanche, ce sont les oscillations mécaniques du porte-pointe qui provoquent, par l'intermédiaire d'un dispositif d'interception, des variations d'intensité lumineuse transformées en oscillations électriques.

Structure et principe de la cellule lectrice à phototransistors

L'âme du système est le dispositif permettant de transformer les oscillations mécaniques du tube porte-pointe en variations d'intensité lumineuse. Pour cela, la lumière produite par une petite lampe à filament incandescent, focalisée par un miroir, est projetée sur un petit écran opaque, pourvu de deux fines fentes derrière chacune desquelles est placé un phototransistor (fig. 1). Le tube porte-pointe est suspendu sur un support en caoutchouc (ou en matière plastique) ; et sur l'extrémité opposée à la pointe, est fixée une petite plaquette, également opaque, pourvue de deux fentes qui sont en regard de celles de l'écran. Celle-ci, très légère, constitue, en fait, un « masque » mobile. Le support en caoutchouc présente une viscosité, qui est déterminante pour la « compliance » de la pointe et pour l'amortissement.

Le fonctionnement est facile à comprendre. Lorsque la pointe est placée dans le sillon d'un disque et que celui-ci tourne, les

méandres du sillon la font osciller mécaniquement. Ces oscillations modifient plus ou moins la position des deux fentes du « masque » par rapport aux deux fentes de l'écran fixe derrière chacune desquelles, nous l'avons vu, se trouve un phototransistor. Il en résulte une interception plus ou moins grande de la lumière émise par la petite lampe, c'est-à-dire une variation de l'intensité lumineuse reçue par chaque phototransistor, et par conséquent, une variation de la tension produite par ceux-ci.

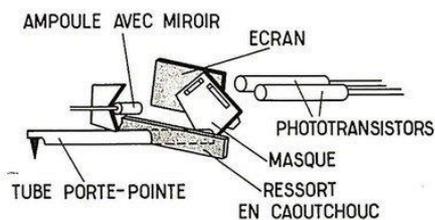
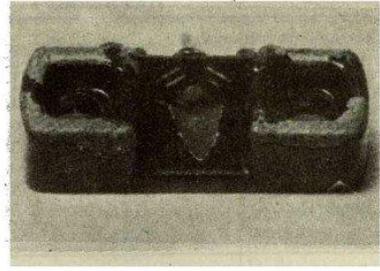
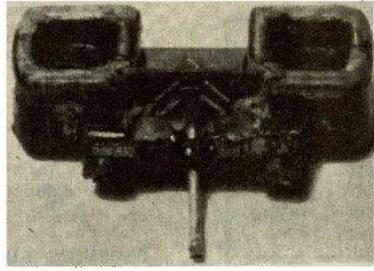
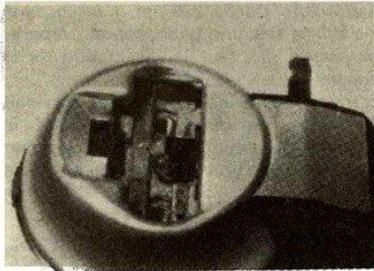


Fig. 1. — Principe du système photo-électronique incorporé dans la tête de lecture. Afin de ne pas alourdir le dessin, les fentes de l'écran fixe n'ont pas été représentées.

En résumé, les variations mécaniques de la pointe de lecture sont transformées en variations d'intensité lumineuse, lesquelles sont à leur tour converties en variations de tension. Bien entendu, chacun des phototransistors correspond à un canal, droite et gauche, de la reproduction stéréophonique.

Il convient d'ajouter que les oscillations du « masque » correspondent aux variations des sillons de la gravure stéréophonique à 45°. La séparation des canaux est obtenue par la dispo-



Trois vues de la tête de lecture démontée. A gauche, le dispositif porte-pointe ayant été ôté, on voit les phototransistors. Au centre et à droite, vues du dispositif porte-pointe sur lesquelles on distingue nettement le masque mobile et les fentes dont il est pourvu.

sition des deux fentes à 45° par rapport à la verticale et par la longueur de celles-ci, qui est plus grande que celle des fentes de l'écran fixe. De la sorte, l'élargissement ou le rétrécissement du flux lumineux qui est obtenu, correspond à une variation de l'intensité lumineuse reçue par chaque phototransistor.

Circuit électronique

Dans le boîtier de la tête de lecture, à l'avant, est logée la lampe, dont la lumière est orientée par un petit miroir, de manière qu'elle atteigne les fentes du « masque », puis celle de l'écran fixe et, finalement, les deux phototransistors. Ceux-ci sont pourvus, sur leur face frontale, d'une lentille fortement convergente, de diamètre inférieur à celui de la tête d'une épingle, de sorte que leur élément photosensible reçoive un minuscule trait lumineux. Les variations d'intensité lumineuse qu'ils reçoivent sont converties en variations de courant, d'amplitude proportionnelle et de fréquence identique à celles qui sont produites par le sillon du disque.

Les phototransistors sont connectés en montage symétrique (fig. 2). Leur émetteur est à la masse (pôle positif de l'alimentation) ; leur collecteur est relié, par l'intermédiaire d'une résistance de charge, au pôle négatif de celle-ci. Les variations d'intensité lumineuse qu'ils reçoivent chacun produisent donc, aux bornes de cette résistance, une variation de tension amplifiée.

Ces deux photo-éléments sont appariés. Dans leur plage de fonctionnement, ils présentent une linéarité telle que, pour la première fois avec un phonocapteur, le coefficient de distorsion non-linéaire à 1 000 Hz est inférieur à 0,65 %.

Il y a lieu de noter que, lorsque le changement de la pointe lectrice s'avère nécessaire, tout l'équipage mobile (tube porte-pointe, « masque » et écran fixe) est à remplacer. Cette opération ne soulève aucune difficulté de la part de l'utilisateur.

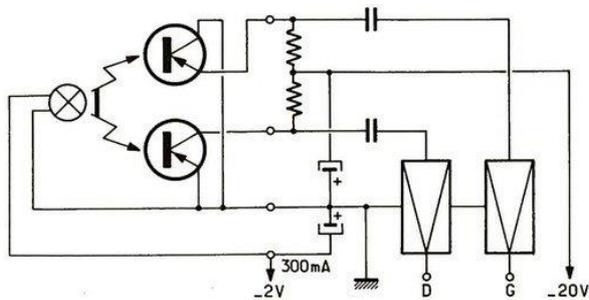


Fig. 2. — L'ensemble électronique comprend l'ampoule éclairant deux phototransistors en montage symétrique, attaquant chacun un préamplificateur à transistors à effet de champ. Les deux préamplificateurs correspondent aux voies droite (D) et gauche (G).

Dispositifs annexes

Les phototransistors exigent pour leur fonctionnement une tension continue de 20 V ; la lampe en requiert une de 2 V. Elles sont obtenues toutes deux grâce à une petite alimentation stabilisée. Par ailleurs, les signaux produits par les phototransistors sont d'amplitude trop faible pour attaquer un amplificateur stéréophonique. Un préamplificateur double est donc nécessaire ; il a été réalisé avec des transistors à effet de champ et il est pourvu de circuits correcteurs, afin de tenir compte de la caractéristique de gravure des disques. D'autre part, il est conçu de sorte que les légères dissymétries du transducteur puissent être compensées par la correction de l'un des canaux stéréophoniques.

L'ensemble est logé dans un coffret spécial ou peut être disposé sous le châssis de la table de lecture. Il contient, en outre, un correcteur qui agit sur les signaux afin qu'ils puissent être appliqués à l'entrée « phono » pour transducteur magnétique d'un amplificateur. Par ailleurs, la tension du phonocapteur Toshiba est amplifiée, de sorte qu'elle puisse être appliquée à toute entrée d'amplificateur à niveau élevé et n'introduisant pas de distorsion.

Le coffret d'alimentation est équipé sur son panneau avant d'un appareil indicateur et d'un commutateur à bascule. Lorsqu'on place ce dernier dans la position « mesure » (« meter »), on peut alors procéder à deux contrôles :

1° De la force d'appui la meilleure, qui est indiquée par l'aiguille de l'instrument lorsqu'elle se situe dans la zone verte. La position des fentes du « masque » par rapport à celles de l'écran fixe dépend, évidemment, de la force d'appui. Le système est construit de sorte qu'on obtienne la superposition complète et égale de celles-ci, donc le flux lumineux maximal, lorsque la force d'appui est d'environ 3 p (pond, équivalent à 1 g/poids). Si l'aiguille se déplace dans la zone verte, cela correspond à une force d'appui optimale de 1,2 à 1,7 p.

2° De l'égalité du niveau des deux canaux, qui est vérifiée en manœuvrant le commutateur, de sorte que l'aiguille de l'instrument indique la même déviation pour le canal gauche et le canal droit.

Ajoutons que, au-dessous du coffret, sont accessibles trois boutons qui servent, l'un à régler le niveau de sortie de la cellule photo-électrique, les deux autres à réaliser l'égalisation du niveau des deux canaux.

Caractéristiques techniques

Les caractéristiques techniques de ce phonocapteur, extraites d'un exposé publié, par un responsable de la firme Toshiba en Allemagne, dans *Funkschau*, sont résumées par le tableau I. Elles permettent d'apprécier les avantages présentés par ce système.

En premier, le coefficient de transmission (sensibilité) élevé est à noter. Celui-ci, de 14,5 mV/cm/s, est plus de dix fois supérieur à celui d'autres capteurs de grande classe. En sortie du préamplificateur, ce coefficient passe à 40 mV/cm/s, de sorte que l'on peut attaquer directement un amplificateur haute-fidélité.

TABLEAU I

Gamme de fréquences	20 - 40 000 Hz
Atténuation de diaphonie à 1 kHz	32 dB
Sensibilité	14,5 mV/cm
Sensibilité après le préamplificateur	40 mV/cm
Masse effective	0,3 mg
Elasticité (compliance)	30×10^{-6} cm/dyne
Force d'appui minimale	0,5 p environ
Poids du système	11,5 g
Pointe	Elliptique avec rayons 20,3 μ m et 7,6 μ m

Plus intéressante encore que le coefficient de transmission est la large gamme linéaire de fréquences du dispositif. Grâce à la grande légèreté du « masque » et à la rigidité du tube porte-pointe, la limite supérieure des fréquences est de 40 kHz. La « compliance » (élasticité) de $30 \cdot 10^{-6}$ cm/dyne, dans les sens horizontal et vertical, permet une lecture impeccable jusque vers 20 kHz, pour des forces d'appui égales ou inférieures à 1 p.

Force d'appui

Nous avons vu précédemment que la superposition des fentes, donc le flux lumineux maximal reçu par les phototransistors, est obtenue pour une force d'appui de l'ordre de 3 p. Le courant de repos des phototransistors, qui est fonction de celle-ci, est, nous l'avons également vu, mesurable ; et il correspond à la position de l'aiguille de l'instrument de mesure dans la zone verte, laquelle s'étend de 1,2 à 1,7 p et constitue l'appui optimal pour la lecture des disques normaux. Toutefois, il convient d'ajouter que, pour une force d'appui de 0,5 p, on peut encore obtenir un bon résultat avec des disques normalement gravés.

Montage de la cellule

Les dimensions de ce phonocapteur sont conformes à la norme internationale. La cellule peut être montée sur nombre de bras de fabrication courante, car son embout correspond aux normes

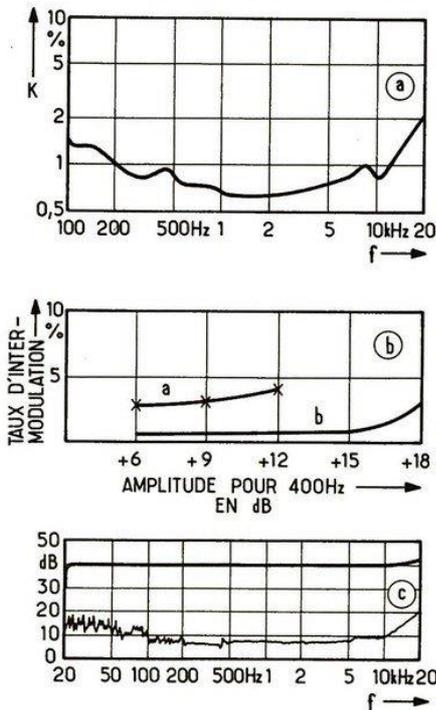
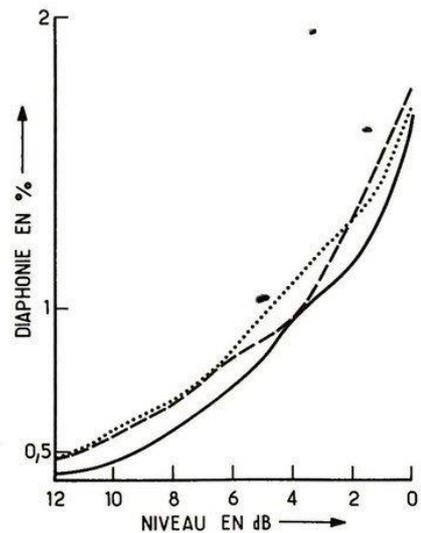


Fig. 3 (à gauche). — Ces trois courbes relevées avec le phonocapteur à phototransistors représentent : la valeur du coefficient de distorsion non-linéaire en fonction de la fréquence (a); le taux d'intermodulation en pour cent pour 400 et 4 000 Hz, la référence étant une amplitude de 0 dB pour 4 000 Hz correspondant à $1,12 \cdot 10^{-3}$ cm (b); la bande passante (en haut) et la diaphonie entre 20 Hz et 20 kHz (c).

Fig. 4 (à droite). — Intermodulation (diaphonie) en fonction de la force d'appui en pond et du niveau, pour les fréquences 300 et 3 000 Hz.



E.I.A. Le boîtier, malgré son diamètre de 2,6 cm, n'est occupé qu'au quart de son volume par le système phonocapteur proprement dit, les trois autres quarts assurant la dissipation de la chaleur produite par la petite ampoule à incandescence.

Comme nous l'avons précédemment indiqué, lorsque l'on doit changer la pointe après usure, on remplace également le « masque » et l'écran fixe. Cette opération permet de conserver une étanchéité complète et, par là, une bonne protection contre la lumière extérieure.

Mesures sur le phonocapteur Toshiba C-100 P

Le tableau II et les appréciations qui suivent sont extraits de la revue allemande « Hi-Fi Stereophonie ». Il en ressort que le système présente un comportement excellent dans la lecture et de bonnes caractéristiques de transmission, ce que confirment les courbes des figures 3 a, b et c. Dans l'essai d'audition musicale, il se révèle comme appartenant à la catégorie des phonocapteurs de haute qualité.

Le phonocapteur est logé dans un boîtier placé à l'extrémité d'une embase amovible. Il fut monté sur un bras SME 3009, à faible inertie. Ce bras de lecture universel représente une combinaison de tous les raffinements que les mélomanes ont pu demander pour l'utilisation de n'importe quelle cellule actuelle. Ont été mesurées la bande passante et l'atténuation de diaphonie à l'aide du disque d'essai Bruel et Kjaer Qr 2009. La « courbe 3 » fut choisie sur le modulateur B & K pour obtenir la représentation usuelle de la courbe de fréquences.

Le résultat apparaît dans les courbes de la figure 5. L'affaiblissement de la bande passante au-dessous de 40 Hz est très probablement à attribuer au correcteur incorporé dans le coffret d'alimentation.

Il est intéressant de noter que Toshiba n'a pas réussi à éviter l'accentuation de résonance entre 6 et 15 kHz, en dépit du transducteur photo-électrique et de la faible masse de la tête lectrice. Au-dessus de 15 kHz se présente une pente d'atténuation assez raide. Par conséquent, la donnée fournie par le fabricant selon laquelle la bande passante s'étend jusqu'à 40 kHz semble assez douteuse. L'atténuation d'intermodulation dans le domaine de 200 à 5 000 Hz est excellente. Le taux de diaphonie atteint de gauche à droite 30 dB et même 35 dB de droite à gauche.

On aurait volontiers mesuré la bande passante du phonocapteur sur les bornes de la « sortie magnétique » qui équipe le coffret d'alimentation. Cependant, quoique le fabricant mentionne une

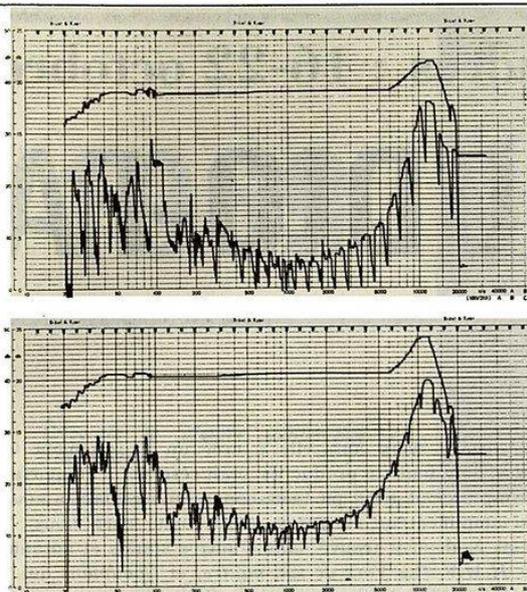


Fig. 5. — Bande passante et diaphonie dans les canaux gauche (en haut) et droite (en bas).

sensibilité (coefficient de transmission) de 14 mV/cm/s en chiffre rond, il était impossible d'obtenir sur cette sortie autre chose qu'un signal qui, par rapport à une vitesse d'enregistrement de 5,7 cm/s, était situé au-dessous de 0,1 mV. Par manque de documents, il a été impossible d'éclaircir si cela était normal ou si quelque chose était déréglé dans la borne de « sortie magnétique » de l'appareil. La tension sur cette sortie n'est toutefois pas suffisante pour effectuer la lecture de disques par le moyen de l'entrée « phono » d'un amplificateur **McIntosh C 24**, qui possède une sensibilité de 2 mV. En revanche, le coefficient de transmission sur la « sortie photo » est considérablement plus élevé que celui indiqué par le fabricant. Dans la position la plus sensible de la commande de réglage, le coefficient de transmission obtenu était : gauche 401 mV/cm/s, droite 380 mV/cm/s.

Le comportement du phonocapteur dans la lecture, à l'aide du bras court du type **SME**, est résumé dans le tableau II. On y voit que des disques dont la commande est normale, peuvent déjà être lus avec une **force d'appui** à partir de 0,5 p. Toutefois, le système nécessite une force d'appui de 2 p pour pouvoir lire le « niveau 4 des cloches d'orchestre » sur le disque-étalon **Shure**.

La figure 4 montre le niveau d'intermodulation en fonction de la force d'appui pour les fréquences de 300 et 3 000 Hz. Sous ce rapport, le système n'est pas meilleur que les transducteurs magnétiques ou dynamiques de haute qualité. Mais son avantage principal réside dans le fait qu'on dispose d'une tension complète-

TABLEAU II

Force d'appui en pond*	Disq. Hi-Fi n° 2		Shure : An audio obstacle course
	Horizontal	Vertical	
0,3	40 μ net	50 μ presque net	Niveaux
0,5	50 μ net	50 μ net	1 net
0,8	60 μ net	50 μ net	2 presque net
1	80 μ net	50 μ net	3 presque net
1,3	90 μ net	50 μ net	3 presque net
1,5	90 μ presque net	50 μ net	3 net
1,8	100 μ net	50 μ net	4 presque net
2	100 μ net	—	4 net

* 1 pond = 1 gramme-poids.

ment exempte de ronflement et suffisamment élevée qui permet de raccorder le phonocapteur directement à l'entrée « tuner » des amplificateurs.

Essai d'audition musicale

Le phonocapteur **Toshiba C 100 P** a été comparé au modèle Mk 4 de **Decca** en écoutant divers enregistrements avec les enceintes Brigantin de **Cabasse**. Les aigus sont un peu plus « durs » qu'avec le phonocapteur **Decca**, mais ils sont très limpides. En outre, la reproduction des impulsions est très correcte. Avec des enceintes qui accentuent quelque peu les fréquences élevées, le C 100 P fournit des signaux peut-être un peu trop « durs ».

CONCLUSION

En quoi consistent essentiellement les avantages de ce transducteur photo-électronique ? En bref, dans l'extrême rapidité de la réponse mécanique de l'équipage mobile et dans l'absence totale de ronflement. Comme on le sait, de nombreux efforts sont déployés de nos jours pour développer des phonocapteurs fonctionnant avec le maximum de souplesse et avec des forces d'appui minimales. Mais ce n'est possible qu'à condition de diminuer en même temps la masse de la tête lectrice. La diminution de celle-ci doit aller de pair avec la diminution de la masse des aimants permanents ou des bobines. Or, dans le cas du C 100 P, on n'a besoin, en dehors du tube porte-pointe inévitable, que d'une plaquette (« masque ») de masse très faible. Ainsi, ce transducteur travaille avec un bon degré d'efficacité fournissant un facteur de transmission élevé. Un deuxième avantage réside dans le fait qu'il n'y a plus, dans le boîtier, de circuits électromagnétiques plus ou moins sensibles aux champs magnétiques parasites. C'est dire que le système **Toshiba** est dépourvu de ronflement. Enfin, le fait que les signaux de sortie soient d'amplitude élevée est également un avantage à porter au crédit de cette nouvelle tête de lecture.