

L'enregistrement magnétique

Vers la bande magnétique et le magnétophone

par André Rémond

Cet exposé constitue un résumé de l'évolution de l'enregistrement magnétique depuis l'invention de Poulsen jusqu'à nos jours.

Les Marconi-Stille type 2 ont fait les beaux jours de la BBC qui en avait besoin pour la diffusion de ses programmes dans les pays du Common Wealth, notamment pour l'Australie et le Canada, à des heures différentes de celles de l'Angleterre. Mais la qualité de reproduction était encore en dessous de celle du disque, avec des appareils extrêmement lourds et une bande en acier, ainsi que du fil difficilement exploitables.

This article provides a resume of the evolution of magnetic recording, from its invention by Poulsen up to the present day.

The Marconi-Stille type 2 did sterling service with the BBC who needed them to broadcast its programmes to the Commonwealth countries, notably for Australia and Canada, at different times from those in the UK. But the sound reproduction quality was still inferior to that of disc, with extremely heavy equipment and a steel ribbon, as well as wire, which were difficult to use.

Ce matériel fut utilisé pendant la guerre 1939-1945 et jusqu'en 1955. Cette machine a été également utilisée en France au Poste Parisien avenue des Champs-Élysées, ainsi qu'en Belgique. On peut voir, dans un documentaire sur l'histoire de la radio belge, un appareil Marconi-Stille en fonctionnement dans un car de reportage. Il y a quelques années, un de ces appareils était encore exposé dans le musée du Conservatoire des Arts et Métiers (figure 17).

Il n'y avait pas que la société Marconi qui travaillait sur l'enregistrement magnétique. En Allemagne on s'intéresse de très près à ce procédé qui présente l'avantage, par rapport au disque et à l'enregistrement sonore sur film photographique, d'être utilisable immédiatement, car le support est effaçable pour un nouvel enregistrement et la durée est nettement supérieure à celle du disque.

C'est donc en Allemagne que les études, les essais et les réalisations

ont été le plus poussés. Les États-Unis, avant la guerre, se sont peu intéressés à ce type d'enregistrement, la comparaison de la liste des brevets américains avec les brevets allemands est significative à ce sujet. En France, les descriptions dans les revues de vulgarisation peuvent se compter sur les doigts d'une main.

Bizarrement, la bande magnétique de la dernière génération, celle que nous avons connue, est née grâce au papier à cigarettes ; cela mérite une explication.

Vers 1925 un papetier allemand nommé Fritz Pfelemer, spécialiste de la fabrication du

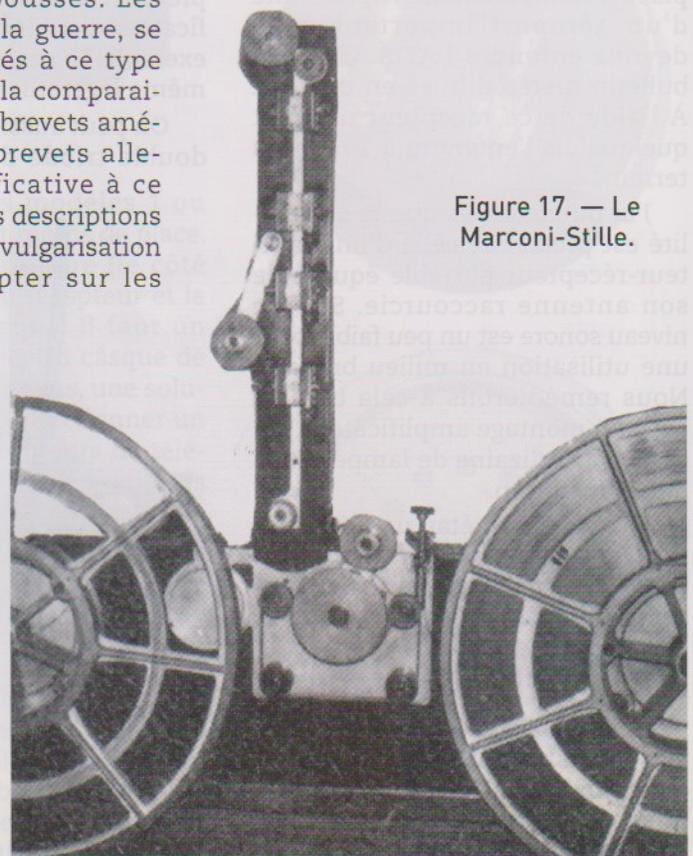


Figure 17. — Le Marconi-Stille.

papier à cigarettes, a l'idée d'en fabriquer avec des bouts dorés. Pour cela, il enduit le bout du tube de papier avec de très fines particules de métal, du bronze semble-t-il, l'histoire ne le dit pas. Mais Pfleumer devait avoir connaissance des enregistreurs à bande d'acier et peut-être aussi du système d'Oberlin Smith dont le support était un fil de soie enduit de poudre d'acier, et aussi connaissance du brevet français de Poulsen du 26 avril 1899, qui prévoyait que « le corps magnétisable peut être constitué d'un ruban de matière isolante, du papier par exemple, recouvert d'une poussière magnétisable ».

C'est certainement cela qui l'a conduit à fabriquer une bande de papier recouverte d'oxyde de fer associé à un liant, pour remplacer le ruban d'acier. Pour se protéger des inventeurs futurs il prit en Allemagne le brevet n° 500900 le 31 janvier 1928 complété par les n°s 543563 et 544302 ainsi que du français 669443 du 30 janvier 1929.

Il insistait sur les avantages de son procédé meilleur marché avec des bobines plus petites et plus légères. Cette bande avait une largeur de 6,5 mm. Par la suite, le standard américain adoptera 6,35 mm, soit 1/4 de pouce.

Personne ne s'intéresse à cette invention jusqu'au début de 1932 où l'AEГ (*Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft*), envisageant la possibilité de construire un enregistreur reproducteur magnétique susceptible d'une fabrication de masse, pense que l'idée paraît intéressante et à toutes fins utiles engage Pfleumer. Pour mettre au point cette bande, AEG s'adresse à la BASF (*Badische Anilin und Soda Fabrik, Badisch* signifiant se situant dans la province de Bade).

Une collaboration s'établit entre le Dr Hermann Bücher de l'AEГ et le Dr Wilhelm Gaus de BASF, qui décident d'utiliser de la poudre de fer sous la forme carbonyle, un produit industriel employé depuis 1920 pour les bobines des circuits téléphoniques ou comme noyau magnétique des bobinages radio. Bücher proposa la cellophane comme support du liant nécessaire

pour fixer les pigments de fer carbonyle.

Les premiers essais commencèrent en novembre 1932 avec Eduard Schüller, ingénieur de l'AEГ et Friedlich Matthias de la BASF. Après deux années d'expérimentation sur 15 supports différents, on adopta l'acétate de cellulose produit par Bayer, au lieu de la cellophane qui s'était révélée trop hygroscopique. Le 1^{er} juin 1934, 5000 mètres de bande furent envoyés à l'AEГ et les jours suivants 50 km pour la présentation au Salon de la radio de Berlin de l'appareil que l'AEГ baptisa « Magnetophon ».

Malheureusement, au dernier moment des problèmes techniques survinrent et l'on dut reporter la présentation en 1935. À cette occasion l'appareil fut revu et amélioré, ce qui permit à BASF de produire 300 km d'une bande appelée « Magnetophonband » type C (C pour Cellit, marque commerciale de l'acétate de cellulose de Bayer).

Magnetophon ou Magnétophone est une marque déposée de l'AEГ, ce nom est devenu par la tradition populaire le magnétophone, désignant tous les appareils enregistreurs/lecteurs de son sur bande magnétique.

Ce premier magnétophone nommé K1, voyait sa bande défilé devant ses têtes à la vitesse de 1 m par seconde. Elle était entraînée par trois moteurs :

- un sur la bobine débitrice qui était freiné en défilement enregistrement/lecture et qui passait en vitesse maximum pour le rembobinage ;
- un sur la bobine réceptrice destiné à faire le bobinage pendant l'enregistrement/lecture et qui était freiné pendant le rembobinage de la bobine débitrice ;
- enfin le moteur principal dont l'axe entraîne le défilement de la bande grâce à un galet appuyant la

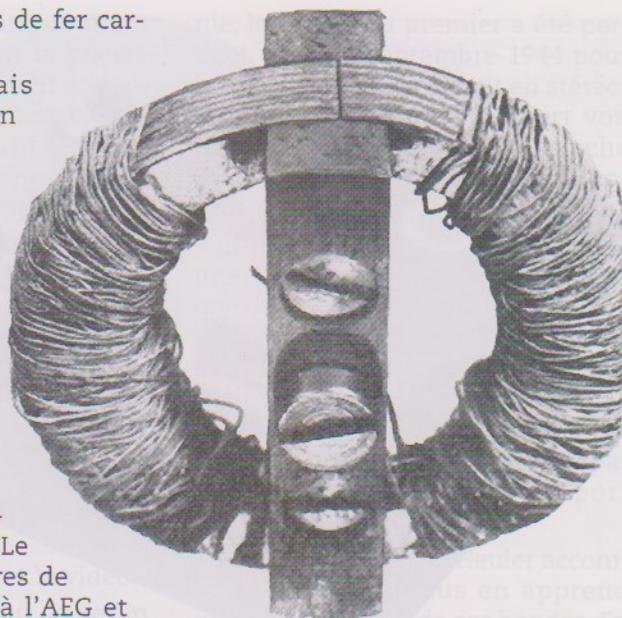


Figure 18. — Une tête d'enregistrement et de lecture Eduard Schüller.

bande contre cet axe. C'est cette même disposition que l'on trouvait encore sur les derniers magnétophones analogiques de haut de gamme.

Le défilement des 600 m de la bande de 6,5 mm de large se faisait à la vitesse de 1 m/s d'où 600 s d'utilisation, c'est-à-dire 10 minutes.

Alors que BASF perfectionnait les bandes, Eduard Schüller mettait au point de nouveaux types de têtes d'enregistrement et de lecture, avec un noyau magnétique en anneau, une fente de magnétisation à l'avant et une à l'arrière, afin de pouvoir concentrer le flux magnétique sur la largeur exclusive de l'entrefer avant (figure 18).

Dans le brevet allemand de l'AEГ n° 660377 déposé le 24 décembre 1933 et publié le 21-05-1938 par l'inventeur Edouard Schüller, elles étaient au nombre de trois :

- une pour l'effacement, alimentée en courant continu, avec un entrefer important ;
- une pour l'enregistrement alimentée par le courant de modulation à travers une résistance pour avoir un courant constant en fonction de la fréquence, avec la superposition sur la modulation d'un courant continu pour assurer la polarisation de la bande ;



Figures 19, 20 et 21. — Un Magnetophon AEG, son amplificateur et son haut-parleur.

— une pour la lecture avec un entrefer de 0,1 mm (100 μm). Un circuit de correction devait permettre de compenser les pertes aux fréquences basses.

La bande passante s'étendait de 50 à 5 000 Hz, ce qui impliquait une longueur d'onde minimale d'enregistrement à la vitesse de 1 m/s qui était de 1 000 000 μm / 5 000 Hz = 200 μm , c'est-à-dire la longueur d'une période, il fallait donc un entrefer de 100 μm pour lire la partie positive et la partie négative de celle-ci (à titre de comparaison, un cheveu fait 50 à 65 μm).

En 1936 AEG présente le modèle K2 avec une bande au Fe_3O_4 à la place du fer carbonyle.

La vitesse passe de 1 m/s à 77 cm/s et la bande passante s'étend toujours de 50 à 5 000 Hz, mais la dynamique passe de 30 à 37 dB et la durée de 10 à 13 mn. Puisque la bande passante est identique, la longueur d'onde devient : 770 000 μm / 5 000 Hz = 154 μm .

Il faudrait avoir accès à la fiche des caractéristiques de cet appareil pour en connaître la masse, mais en fonction des composants de l'époque, elle devait se situer entre

40 et 50 kg, à comparer aux 200 kg du Blattnerphone.

Il pouvait être transporté grâce à trois valises : une pour le magnétophone, une pour l'amplification avec l'alimentation et une pour le haut-parleur (figures 19, 20 et 21).

C'est sur ce magnétophone que le 19 novembre 1936 Sir Thomas Beecham a enregistré, à Ludwigs-hafen, avec l'Orchestre Philharmonique de Londres, le premier concert sur bande magnétique. Bien que ce fut un exploit, la restitution était entachée d'un souffle important dû à l'effacement et à la polarisation par courant continu, malgré l'utilisation, d'une nouvelle bande au Fe_2O_4 . En 1940 BASF remplace l'acétate de cellulose par le chlorure de polyvinyle.

C'est également en 1940 que les docteurs Braunmuhl et Weber inventent l'effacement et la polarisation par courant haute fréquence (brevet n° 714123 déposé le 27 mars 1940 et publié le 21 novembre 1941).

Pour éviter toute interférence avec le signal de modulation, cette fréquence doit être égale à au moins 5 fois la plus haute fréquence à

reproduire, c'est-à-dire 5 fois 15 000 Hz, soit 75 kHz. Ce serait par hasard qu'ils auraient découvert ce procédé à la suite de l'auto-oscillation de l'amplificateur d'enregistrement. Mais en fait ce n'était qu'une redécouverte puisqu'on peut citer dans l'ordre :

— Alverson en 1931 propose d'enregistrer un courant HF saturant modulé par le courant basse fréquence (ce procédé sera utilisé plus tard pour l'enregistrement vidéo) ;

— en 1937 les japonais Nagai, Sasaki et Endo préconisent aussi l'utilisation de la polarisation HF.

Ainsi, à l'aube de la guerre, le magnétophone tel que nous le connaissons est né. Evidemment il a bénéficié au fil des années de nombreux perfectionnements tech-

nologiques, tant sur les bandes, que sur les têtes et l'électronique.

Une question vient à l'esprit pourquoi 77 cm/s ?

L'utilisation d'un moteur asynchrone tournant à la vitesse de 25 tours par seconde, en admettant que ce soit l'axe du moteur, c'est-à-dire le cabestan, qui entraîne directement la bande et qu'il fasse 1 cm de diamètre, sa circonférence est de une fois π et sa longueur développée par seconde $3,1416 \times 25$ t/s, ce qui donne une vitesse à vide de 78,534 cm, qui tombe à 77 cm/s en charge.

Quand les Américains ont commencé à construire des magnétophones, ils ne pouvaient adopter 77 cm/s, car transformés en pouces, cela n'aurait pas donné une valeur exacte ($77/2,54 = 30,31$), ils ont donc adopté 30 pouces ($30 \times 2,54 = 76,2$ cm/s).

C'est à partir de cette valeur que l'on a les vitesses de 38,1 - 19,05 - 9,525 et 4,76 cm/s. Excepté sur quelques appareils, le plus souvent le moteur entraîne, par l'intermédiaire d'une courroie, le cabestan qui est solidaire d'un lourd volant.

Curieusement, le principe de l'enregistrement magnétique n'intéresse que très peu de techniciens en France, un peu en Angleterre avec la bande d'acier et l'appareil Marconi-Stille. En Amérique on ne s'intéresse qu'à l'enregistrement sur fil. La démonstration du « Magnetophon K2 » aux USA en 1936 n'avait pas captivé les professionnels de l'enregistrement, mais quelle ne fut pas la surprise des techniciens des troupes américaines lorsqu'ils investirent en 1945 la station de Radio Luxembourg avec des « Magnetophons » intacts.

L'ingénieur en chef des services de la radio Herbert Orr découvre « trois grosses caisses contenant un système mécanique avec des bobines de rubans en matière plastique ». Ces « caisses » sont expédiées à Londres pour identification et l'on découvre enfin qu'il s'agit du « Magnetophon ». Celui-ci va être mis en démonstration devant un groupe de techniciens qui vont se rendre compte de l'avance du matériel allemand.

Dès lors les américains donnent à Jack Mullin, qui avant la guerre s'occupait d'enregistrement sonore pour le cinéma à San Francisco, l'autorisation de récupérer en Allemagne deux « Magnetophons ».

Ce dernier, avec Harold Lindsay, deviendront les principaux collaborateurs de la firme Ampex, société créée par Alexander Mathew Poniatoff.

La stéréophonie

Les « Magnetophons » décortiqués et analysés vont être le point de départ des fameux magnétophones Ampex pour le son, puis pour l'instrumentation et la vidéo.

Du fait de l'occupation de Berlin en quatre zones, il se trouve que la maison de la radio est en zone soviétique et Herbert Orr ignorera que dès 1943, les techniciens de la RRG (*Reich Rundfunk Gesellschaft*) à Berlin avaient exploré la possibilité d'enregistrer deux pistes parallèles sur la bande, afin d'obtenir un effet stéréophonique de la reproduction musicale.

En 1943, l'ingénieur Helmut Krüger avait réalisé des enregistrements du Philharmonique de Berlin, dirigé par Herbert von Karajan, avec un prototype et deux microphones judicieusement disposés. Bien que les archives de la RRG fussent détruites pendant l'invasion de l'Allemagne, quelques bandes avaient été sauvegardées. Lors de la convention de l'AES à Berlin, en 1993, un hommage fut rendu à Helmut Krüger âgé alors de 88 ans. À cette occasion l'AES (*Audio Engineering Society*) lui décerna une médaille et un CD à tirage très limité fut édité à partir de ces bandes copiées sans aucune correction, pour les cinquante ans de la stéréophonie.

Il y a eu beaucoup d'enregistrements en stéréo jusqu'à la fin de 1944.

Une confirmation nous en est donnée grâce à la publication d'un CD en 1994 par la firme Koch Schwann en Autriche de la 8^e symphonie de Bruckner enregistrée le 28 juin 1944 (les deuxième et troisième mouvements en monopho-

nie, la bande du premier a été perdue), et le 29 septembre 1944 pour le quatrième mouvement en stéréophonie. Le chef était Herbert von Karajan dirigeant le *Preussische Staatskapelle* (orchestre de l'état prussien).

On a peine à croire, à l'écoute sur une vraie chaîne de haute fidélité, que cette prise de son date de l'aube de l'enregistrement musical sur bande magnétique. La qualité est vraiment stupéfiante, par rapport aux 78 tours de la même époque, tant par la bande passante que par la dynamique et le rapport signal/bruit.

Un texte de Dieter Heuler accompagnant le CD, nous en apprend plus sur l'odyssée de ces bandes. En voici le résumé : « En mai 1945, les troupes russes ont occupé la maison de la radio à Berlin, mais ils n'en feront l'inventaire qu'en 1947 et 1948. Ils ont découvert dans cette phonothèque de la RRG des enregistrements de Fischer, Furtwängler, Karajan, Knapperbusch et Richard Strauss, réalisés dans la salle de l'ancienne Philharmonie de Berlin et à l'opéra d'État. Des centaines de bandes furent emportées à l'époque en URSS ».

En 1960, la firme soviétique Melodia a gravé des enregistrements de Furtwängler réalisés en 1943-1944 dans l'ancienne Philharmonie de Berlin, ce qui permit de constater que ces bandes n'avaient pas disparu. C'est ainsi qu'en 1983, Klaus Lang, rédacteur musical à la *Sender Freies Berlin (SFB)*, trouva dans un magasin de Leningrad un disque de la 5^e symphonie de Bruckner et un autre du concerto pour violoncelle de Schuman enregistré en 1942 par Furtwängler. C'est alors qu'il se rendit à Moscou pour tenter de retrouver les originaux. En fait, ils étaient entreposés à 25 km de Moscou, après de difficiles négociations, le 14 décembre 1990, le vice-président de la radio de Moscou, Valentin Lazoukine, restituait à la SFB 1462 bandes musicales.

Cependant, on n'a pas retrouvé les deux cents à trois cents bandes des enregistrements stéréophoniques que Helmut Kiliger avait réalisés à partir de 1943. On ne retrouva



Figure 22. — Magnétophone Erfil.

que trois bandes, et parmi celles-ci la 8^e symphonie d'Anton Bruckner. Historiquement il semble que ce 4^e mouvement soit un des premiers enregistrements stéréophoniques par un procédé purement magnétique.

Si nous savons que ces enregistrements existent, nous ne savons rien des appareils. Il est fort possible que ce soit un « Magnétophon » de dernière génération de l'AEG de 1943 modifié. Un prototype de « Magnétophon », défilant à 77 cm/s, a été construit par Braunmuhl et Weber, certainement à la suite d'une étude de Schüller sur une tête pouvant enregistrer sur deux pistes. Curieusement, Schuh et Mikhne-witch, dans leur ouvrage *L'enregistrement magnétique*, ne mentionnent aucun brevet de ceux-ci en Allemagne, mais en citent un en France sous le n° SS4 SS1 du 30 août 1943 et qui avait été déposé en Allemagne le 15 août 1941 concernant un dispositif d'enregistrement magnétique pour la reproduction stéréophonique.

Marie-France Calas et J.-M. Fontaine indiquent dans *La conservation des documents sonores*, que la BASF a construit un appareil spécialement conçu pour lire les bandes enregistrées entre 1935 et 1948, ce qui laisse supposer que ceux d'origine n'existent plus.

Bien que disposant du « Magnétophon », les Américains manquent de bandes magnétiques vierges, mais un incident allait les mettre sur la voie de la fabrication. Au début de l'occupation de l'Allemagne, Eisenhower voulant s'adresser aux auditeurs de la radio allemande et ayant eu connaissance du « Magnétophon », demande à Herbert Orr de l'utiliser pour diffuser son message en différé. On enregistre et Eisenhower s'écouter pendant la diffusion. Au début tout est parfait, mais après quelques minutes, on entend une autre voix,

celle de Hitler, ce qui courrouce Eisenhower :

— Mon général, lui explique Orr, c'est la bande récupérée qui ne s'est pas effacée complètement.

— À partir d'aujourd'hui, rétorque Eisenhower, je n'enregistrerai que sur des bandes américaines.

Oui, mais encore faudrait-il en avoir et le général d'exiger rien moins que les plans d'une chaîne complète de fabrication.

Herbert Orr se met en campagne et arrive à prendre contact avec Pfleumer à la BASF à qui il explique son problème. Ne pouvant certainement faire autrement en tant que vaincu, Karl Pfleumer lui donne, sinon le moyen de faire des bandes de qualité, du moins la méthode la plus rapide. Quelques semaines plus tard commence dans le Minnesota la fabrication des bandes 3M (*Minnesota Mining and Manufacturing*).

Lorsque Herbert Orr quitte l'Allemagne, à la suite d'un grave accident de voiture, Pfleumer vient le voir avant son départ et lui donne une enveloppe contenant le procédé pour faire des bandes de haute qualité, il le fera quelques années plus tard en produisant les bandes « Irish Tape ».

Comme il en a été question plus haut, aux États-Unis jusqu'en 1945, l'enregistrement magnétique ne

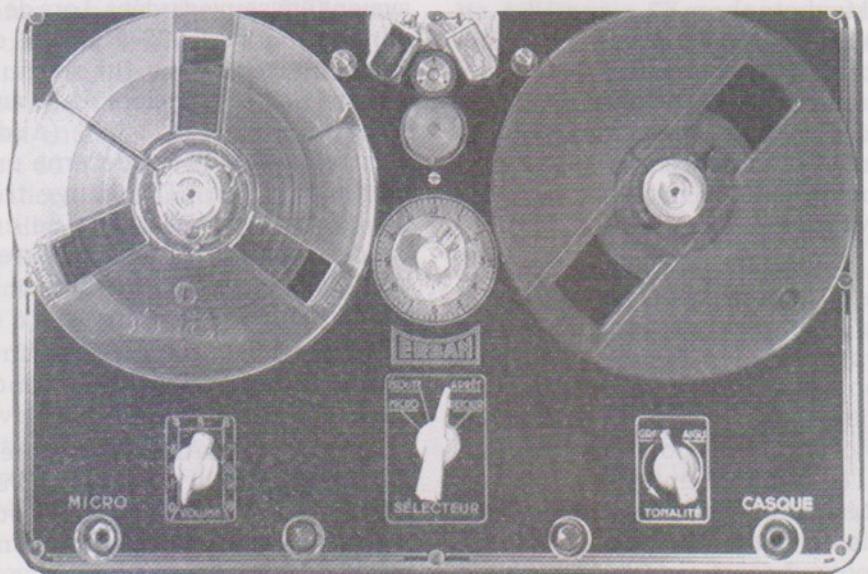


Figure 23. — Magnétophone Erband.

concerne que le fil et rarement la bande d'acier. En fait, il semble que l'on perpétue le système Tiffany avec quelques perfectionnements, tels que la polarisation HF à l'enregistrement, l'amplification avec correction à l'enregistrement et à la lecture.

Les appareils utilisés par les militaires sont à fil. Ils ont été mis au point notamment par Marwin Camras qui a pris de nombreux brevets exploités par la société *Armour Research Foundation*. Une version de ceux-ci a été commercialisée pour le civil, avec une heure d'enregistrement à la vitesse de 75 cm/s, par la *General Electric*. Un modèle de la marine utilisait des bobines de fil dans un chargeur. Ces appareils n'étaient prévus que pour la reproduction de la parole, car la musique était mal reproduite. Les Américains ne semblaient pas s'intéresser à ce système pour la diffusion de programmes musicaux.

Il y avait aussi les enregistreurs *Sound Mirror* à fil inspirés du Tiffany. En France, après la Libération, certains constructeurs les ont copiés, jusqu'en 1950 et après quelques tentatives pour faire des magnétophones à bandes, ceux-ci ont abandonné.



Figure 25. — Premier magnétophone Nagra.

Des firmes européennes prirent bientôt de l'importance, dont Philips, Grundig, Uher, Revox-Studer pour les plus connues, qui furent bientôt concurrencées par les Japonais Sony, Technics et Akai. Pour le matériel professionnel on trouvait Fougerolle, Perfectone, Westrex ainsi

que le Nagra de Stephan Kudelski qui a été le premier magnétophone vraiment portable pour les professionnels du reportage et du cinéma sonore pour la prise de son en direct. Il était équipé d'un moteur de phonographe à manivelle pour entraîner la bande et d'une électronique à tubes subminiatures alimentés par batteries. Philips Hollande a également fait un appareil similaire destiné au grand public.

Des appareils à 16 ou 32 pistes étaient à la disposition des professionnels pour les enregistrements musicaux destinés à l'élaboration des masters pour la fabrication des disques et des bandes son des films. L'apport d'une piste magnétique sur le bord des films cinématographiques a permis aux professionnels de présenter des films en stéréophonie et aux amateurs cinéastes de sonoriser leurs films.

L'apport également d'une piste magnétique sur le bord d'une carte en matière plastique a permis l'éclosion de toute une série de cartes : crédit, parking, téléphone. Mais là ce n'est plus de l'analogique on aborde le domaine de l'enregistrement de données numériques.



Figure 24. — Magnétophone Technics.

Du magnétophone au magnétoscope

Dans le milieu des années cinquante, le magnétophone est pratiquement parfait. L'évolution se fera évidemment avec l'apparition des semi-conducteurs qui apporteront une diminution du poids et de l'encombrement.

La diminution de la vitesse ainsi qu'une bande passante entre 40 et 15 000 Hz, grâce à l'amélioration de la qualité des bandes et à la diminution de l'entrefer des têtes, avec l'apparition des cassettes, ont fait que le magnétophone soit devenu un appareil utilisable par tous.

Plusieurs types de cassettes ont ainsi été proposés.

En 1964 Philips étudiait, parallèlement avec Grundig, une cassette de petites dimensions pouvant contenir environ une heure d'audition.

La cassette Grundig dite « DC international » avait une bande de 3,78 mm de large et défilait à 5,08 cm/s. C'est le système Philips qui fut adopté après qu'il eut abandonné ses droits à tous les constructeurs sur toutes les fabrications de cassettes, à condition de conserver les dimensions, la vitesse de défilement de 4,75 cm/s et une largeur de bande de 3,81 mm. Pour écouter et enregistrer ces cassettes, Philips créa un magnétophone spécial : le EL3300 qui pesait 1,350 kg. Il avait une bande passante de 100 à 9 000 Hz avec un rapport signal/bruit de 40 dB environ. Ensuite, la cassette se permit même de faire de la Hi-Fi. avec évidemment des systèmes de défilement et des électroniques beaucoup plus sophistiqués, ainsi que par l'apport de réducteur de bruit dont le plus connu est le système de Ray Dolby.

De 1958 à 1960 aux États-Unis, en vue d'une utilisation pour sonoriser les voitures et les grandes surfaces, RCA et Lear mirent au point une cassette à défilement sans fin, commercialisée sous diverses dénominations : Fidelipac, Lear, Orrtronic, Mood-Music et Play tape. Mais ces cassettes n'ont fait qu'une apparition fugitive en France dans



Figure 26. — Magnétophone à cassettes audio.

les années 1960 et furent rapidement détrônées par la cassette de Philips.

En 1976, entre en lice la cartouche Elcaset de Sony, JVC et Technics utilisant une bande de 6,35 mm et défilant à 9,5 cm/s, avec une bande passante de 40 à 15 000 hertz. Cependant elle n'eut pas la faveur des amateurs de Hi-Fi pour qui elle semblait avoir été conçue. Elle avait à peu près les dimensions d'une cassette vidéo VHS : 153 x 106 x 18 mm contre 185 x 103 x 24 mm pour la VHS.

Dans le début des années cinquante, la télévision se développe et tout un réseau de relais se met en place, afin de couvrir le maximum de population en Amérique et en Europe.

Aux États-Unis, ce développement pose certains problèmes aux diffuseurs, comme à cette époque la presque totalité des émissions se fait en direct, il est nécessaire d'avoir la présence des protagonistes dans le studio, ce qui est peu compatible pour la diffusion avec le décalage horaire existant sur un territoire aussi vaste que celui des États-Unis.

De plus, les reportages se font par le moyen du cinéma avec des

caméras sonores portatives en 16 mm. Une fois le reportage terminé, il fallait courir à la station de télévision, faire développer la pellicule, puis le montage, la sonorisation et la diffusion par le télécinéma.

Il fallait, pour mémoriser les images, les filmer au moyen d'un appareil baptisé « kinescope ».

C'était compliqué, les images devaient être enregistrées en parfait synchronisme entre le défilement du film de la caméra et le défilement des images de l'écran de télévision, ensuite développer le film, puis le rediffuser avec un télécinéma. Au final l'image était gravement dégradée.

Il était donc indispensable de trouver un autre moyen de stockage que le procédé photographique. On pensait évidemment au procédé magnétique, au lieu d'enregistrer seulement des sons, ne pourrait-on pas enregistrer des images, c'est-à-dire l'audio et la vidéo simultanément?

Les chercheurs se penchèrent donc sur la question.

Mais la bande passante requise de 4 MHz, c'est 200 fois la bande passante de l'audio qui va de 30 à

20 000 Hz, soit environ 17 octaves au lieu de 10.

Comment faire pour enregistrer avec une telle bande de fréquence ? L'amplificateur vidéo chargé de produire le courant de l'électroaimant pour magnétiser la bande doit fournir une tension continue, pour obtenir un écran complètement éclairé d'une façon uniforme (et totalement noir en l'absence de cette tension) et ce jusqu'à une fréquence de 4 MHz pour avoir un maximum de détails.

Les premières tentatives pour enregistrer des images de télévision sur une bande magnétique ayant eu lieu aux États-Unis, c'est donc avec ce standard qu'il faut voir le problème. Plus tard on saura faire l'adaptation au standard européen de 25 images par seconde et 625 lignes d'analyse verticale. Dans le standard américain, les images se succèdent à la cadence de 30 images par seconde et chaque image est analysée à raison de 525 lignes dont 485 seulement sont visibles.

Dans les 40 lignes invisibles sont intercalés les signaux de synchronisation images. En fait, pour éviter le scintillement, on utilise le procédé entrelacé, la cadence est de 60 demi-images à la seconde et

l'analyse de chaque demi-image est à raison de 262,5 lignes.

Cela conduit à un signal de synchronisation d'analyse image de 60 Hz et un signal de synchronisation ligne à : $262,5 \times 60 = 15\,750$ Hz.

Chaque point d'une ligne n'apparaîtra éclairé qu'en fonction de la finesse des détails de l'image analysée. La durée d'une ligne est de : $1 \times 10^{-6} \mu\text{s} / 15\,750 = 63,49 \mu\text{s}$, mais 11 sont réservées à la synchronisation lignes, une ligne n'est visible que pendant $52,49 \mu\text{s}$, donc dans un rapport de : $52,49 / 63,49 = 0,826$.

L'image télévision est dans le rapport 4/3. Pour être parfait, chaque point sur une ligne devant avoir une largeur égale à sa hauteur conduit à $525 \times 4 / 3 = 646$ points par ligne dont on ne verra que : $646 \times 0,826 = 532$ points.

La définition d'une image vidéo (ou photographique) étant une ligne blanche, une ligne noire, une ligne blanche, une ligne noire et ainsi de suite, fait que la définition verticale est de : $532 / 2 = 266$ points blancs et 266 noirs par ligne. Cela s'appelle la fréquence spatiale. Il en est ainsi, car si tous les points blancs ou lignes se touchent, il n'y a pas d'information, l'écran ou la photographie est complètement blanc.

La bande passante est : $485 \text{ lignes visibles} \times 266 \text{ points} \times 30 \text{ images/s} = 3\,870\,000 \text{ Hz}$ ou 3,87 MHz, arrondie à 4 MHz.

Partant de ces données, dès 1948, on commence à enregistrer de la vidéo avec des magnétophones modifiés. Pour augmenter la bande passante il faut augmenter la vitesse de défilement de la bande ou diminuer l'entrefer de la tête d'enregistrement/lecture. Comme on ne peut aller trop loin dans un sens ou dans l'autre, les chercheurs vont conjuguer les deux.

La première tentative consista à calculer de combien devrait être la vitesse de défilement en fonction du plus petit entrefer des têtes que l'on savait réaliser, c'est-à-dire $5 \mu\text{m}$. On en déduisit qu'il faudrait une vitesse de 144 km/h !

Aucune bande n'aurait résisté à une telle vitesse.

La seconde consista à réduire la bande passante de moitié et réaliser des têtes avec un entrefer de $2 \mu\text{m}$, mais celles-ci s'usaient trop vite et la vidéo s'avérait instable sur le téléviseur.

Cependant, dès 1948, la société Bing Crosby Enterprises (créée par le célèbre crooner et qui a contribué à l'utilisation du magnétophone dans

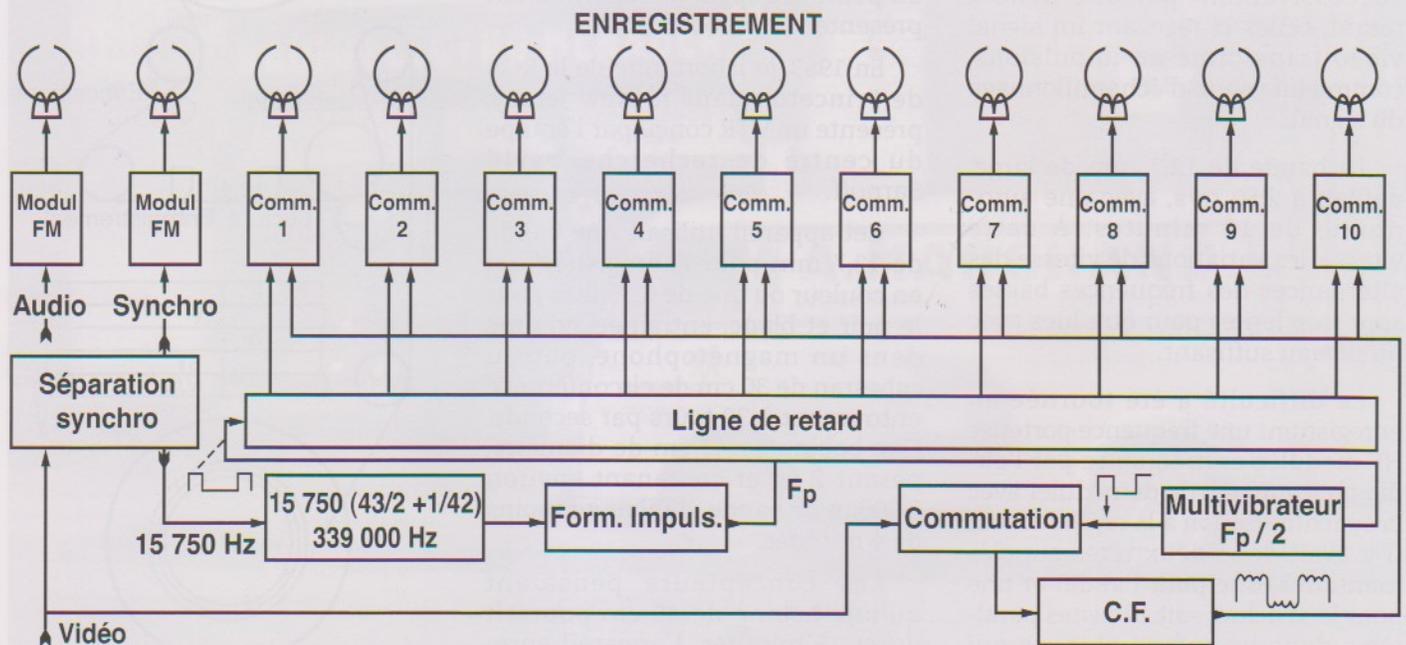


Figure 27. — Système d'enregistrement de la Bing Crosby Enterprises.

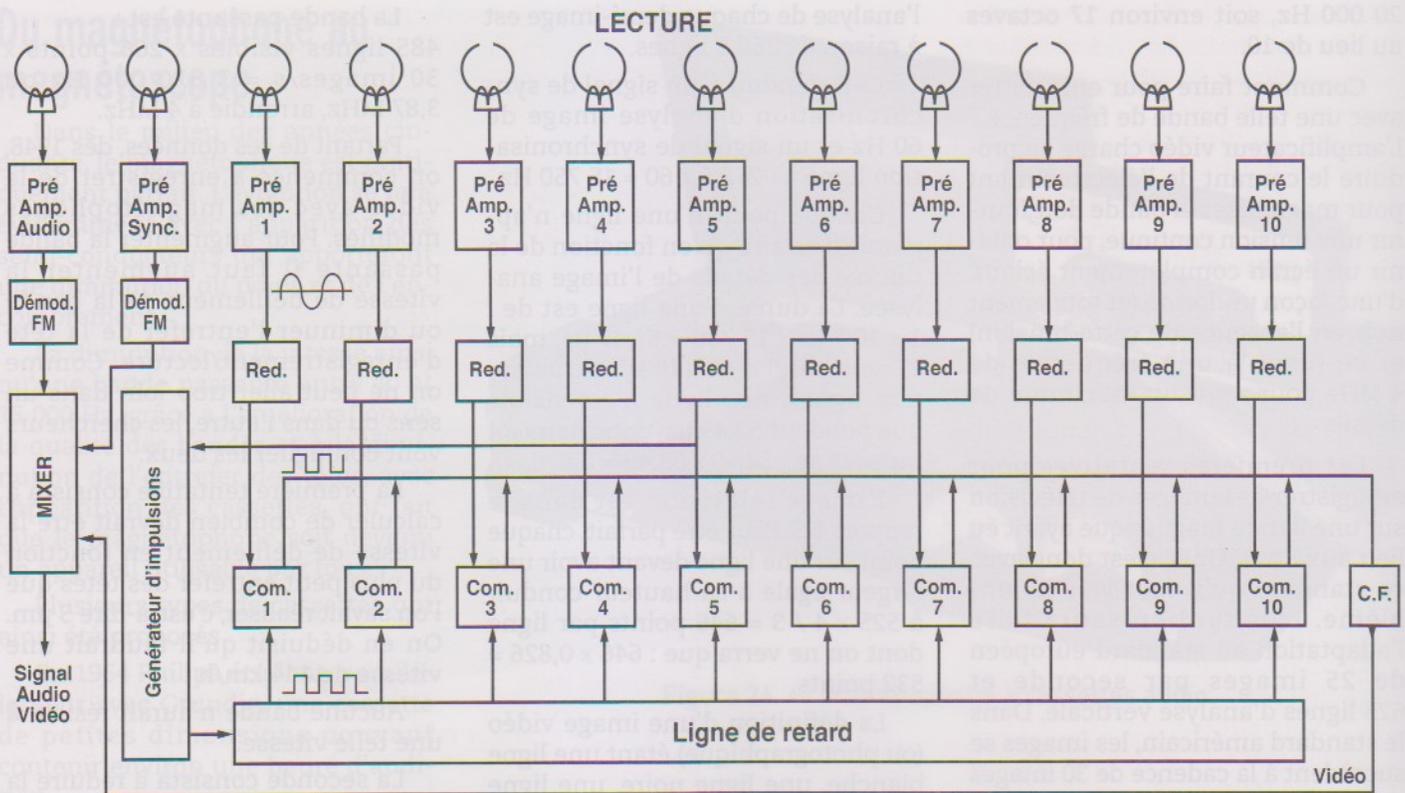


Figure 28. — Système de lecture de la Bing Crosby Enterprises.

l'industrie de la musique enregistrée), travaille à l'élaboration d'un VTR (Video Tape Recorder) qui, à l'aide d'un système électronique assez compliqué, pouvait inscrire 10 pistes parallèles avec 10 têtes alimentées successivement par une ligne à retard, celles-ci recevant un signal vidéo transformé en impulsions, comme une sorte d'échantillonnage du signal.

La bande de 12,7 mm de large, défilait à 2,50 m/s, avec une autonomie de 16 minutes. À cette vitesse, les variations de vitesse des alternances des fréquences basses sont trop lentes pour être lues avec un niveau suffisant.

La difficulté a été tournée en enregistrant une fréquence porteuse HF modulée en fréquence par l'audio qu'il suffisait de démoduler avec la synchronisation à la reproduction. Il y avait donc deux têtes supplémentaires, une pour l'audio et une pour la synchro, soit 12 pistes parallèles dans un même bloc, ce qui n'était vraiment pas simple (figures 27 et 28).

C'est l'équipe sous la direction de Wayne R. Johnson, avec la collaboration de Edward Corey et Chester Shaw pour l'électronique, Eugen Brown, Edward Kinney et Dean de Moos pour la mécanique, qui a mis au point cet appareil expérimental présenté le 3 octobre 1952.

En 1953, le laboratoire de la RCA de Princeton dans le New Jersey, présente un VTR conçu par l'équipe du centre de recherche David Sarnoff.

Cet appareil utilisait une bande de 12,7 mm pour l'enregistrement en couleur ou une de 6,35 mm pour le noir et blanc, entraînée, comme dans un magnétophone, par un cabestan de 30 cm de circonférence et tournant à 30 tours par seconde. Une bobine de 43 cm de diamètre, pesant 2 kg et contenant environ 2 000 m de bande, défilait en moins de 4 minutes.

Les concepteurs pensaient qu'une bobine de 48 cm pourrait durer 15 minutes. L'appareil enregistrait avec une bande passante de 4 MHz (figure 29).

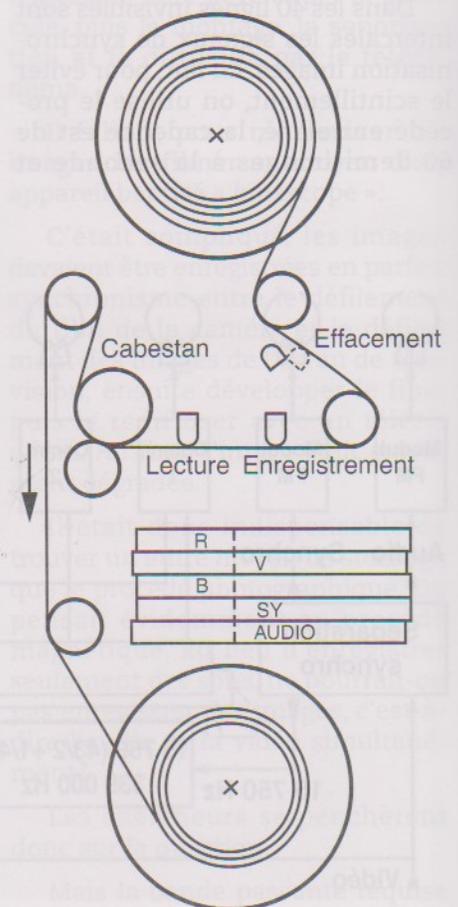


Figure 29. — Système RCA.

Pour le noir et blanc on enregistrat sur une bande 6,35 mm, une piste audio, comme décrit ci-dessus, et la vidéo composite, c'est-à-dire vidéo plus signaux de synchronisation, sur une autre piste.

Pour la couleur on utilisait cinq pistes parallèles, sur une bande 12,7 mm, avec une piste par couleur, une piste pour la synchro et une pour le son.

La vidéo était enregistrée avec une fréquence porteuse HF dont on fixait une fréquence de base pour déterminer le niveau du signal correspondant au noir. Ensuite, à partir du noir, la fréquence HF augmentait ou diminuait en fonction de la modulation vidéo, des gris jusqu'au blanc.

Un système avec un défilement identique a été utilisé par la BBC qui a présenté en 1956 un appareil baptisé VERA (Vision Electronic Recording Apparatus) qui ressemblait au Video-

tape RCA. Les bobines faisaient 52 cm de diamètre pour 15 mn de programme, avec une bande de 12,7 mm défilant à la vitesse de 5,08 m/s. La vidéo était enregistrée en modulation de fréquence en deux parties, de 0 à 100 kHz et de 100 kHz à 3 MHz. Avec 5,08 m/s de défilement et une bande passante de 3 MHz, la fente de la tête devait avoir un entrefer d'environ 0,8 μm , un exploit à l'époque (figures 30 et 31).

Si ces procédés sont un pas en avant vers l'enregistrement vidéo idéal, il résulte néanmoins que l'exploitation n'est pas de tout repos. D'abord ces machines ont une masse respectable de plusieurs centaines de kilos et il faut deux ou trois techniciens en permanence pour la maintenance, le chargement des bobines et le remplacement des têtes qui s'usent rapidement.

À suivre...



Figure 30. — Tête du VERA de la BBC.



Figure 31. — Cabestan du Vera BBC.

CLIN D'ŒIL

