

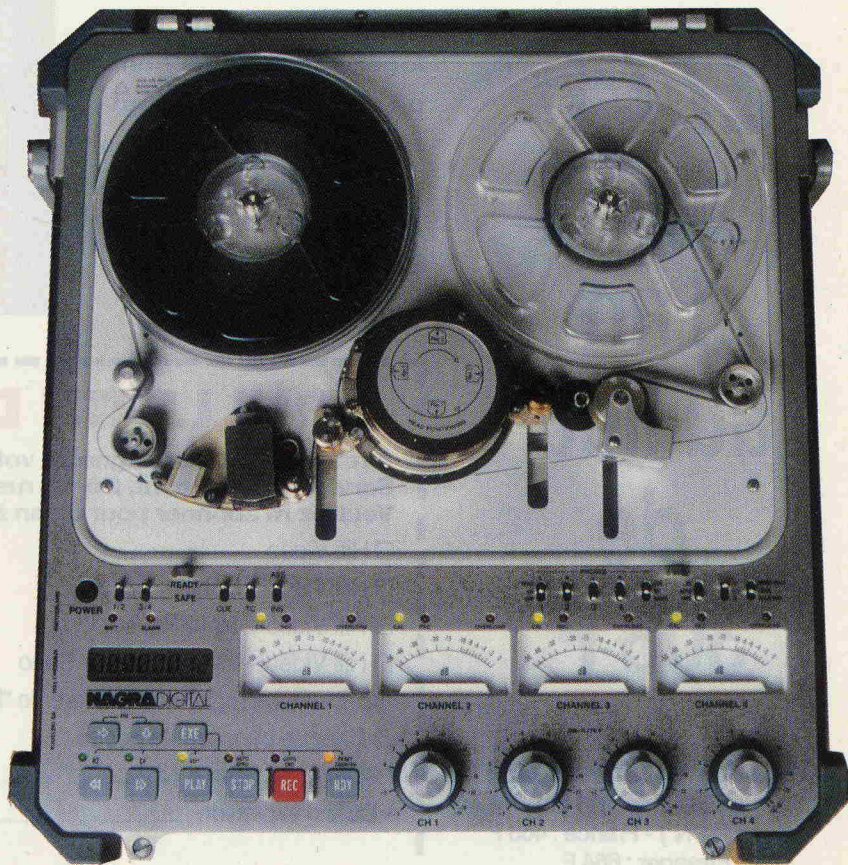
Nagra, sur les plus hauts sommets du monde

Les nouveaux disques compacts qui apparaissent chaque mois portent de plus en plus souvent les lettres DDD, rassurantes pour le public. Sans garantir la qualité musicale ni même technique du produit qui les portent, elles affichent le type de technique utilisé pour l'enregistrement, les mixages et le montage. Pierre Vérany, éditeur bien connu de nos lecteurs fait le point sur un événement qui vient de se produire dans le monde de l'enregistrement purement numérique.

Première étape, la prise de son. Un magnétophone est nécessaire pour collecter les matériaux sonores captés par les micros et qui seront ensuite utilisés pour réaliser le programme proposé sur le disque. Cet appareil peut utiliser les techniques analogiques, à l'image de votre magnétocassette, ou les techniques numériques, comme cela se passe sur un enregistreur DAT ou DCC. En version professionnelle, le choix d'enregistreurs numériques est très vaste et la meilleure qualité technique est toujours exigée des ingénieurs du son.

L'enregistrement numérique reste encore aujourd'hui un domaine un peu à part avec son langage, ses points de repère, ses valeurs, et ses produits et où l'apparence conviviale et rassurante des choses ne laisse jamais supposer que derrière tout est très compliqué, jamais vraiment parfait, et quelquefois trompeur. Après plus de dix années d'expérience personnelle de l'enregistrement numérique, et au moment où les enregistreurs de la nouvelle génération 20 bits apparaissent sur le marché, je pense qu'il est intéressant de faire le point sur cette technologie qui n'a pas fini de nous ménager des surprises.

Il y a dix ans précisément, les japonais sortaient toute leur gamme professionnelle, couvrant les domaines depuis l'enregistrement jusqu'au montage, avec les PCM 1610/1630. Ils proposaient même un produit grand public, portable et capable d'enregistrer en format 16 bits, le PCM F1. A cette époque, j'interrogeais Stéphane Kudelski, le père du magnétophone autonome professionnel, le Nagra, universellement connu et apprécié de tous les professionnels appelés à faire de l'enregistrement de terrain et qui recherchaient un matériel portable et fiable. Je lui demandais avec insistance ce que Nagra comp-



tait faire dans le domaine de l'enregistrement numérique.

- Alors, Monsieur Kudelski, le Nagra numérique, c'est pour quand ?
Je m'attendais à une réponse immédiate du style :

- Cher Ami, regardez, dans ce tiroir nous vous proposons telle possibilité, ici telle autre et ainsi de suite jusqu'à épuisement du rêve.

La réalité fut assez différente. D'une voix tranquille aux accents helvético-polonais, il se tourna vers moi et me répondit :

- "Vous savez, Vérany, nous avons acquis aujourd'hui une maîtrise de la technologie dans le domaine de l'enregistrement analogique qui nous permet de dépasser de loin les qualités acoustiques attachées au numérique 16 bits, 44,1 kHz.

Il est beaucoup trop tôt pour sortir des produits numériques. La technologie n'est pas au point. Une description du signal enregistré au moyen de 16 bits n'est pas suffisante pour fabriquer un disque édité en 16 bits et la fréquence

Pendant ce temps, chez Nagra, on travaillait. J'ai eu la chance et l'occasion de faire partie des personnes qui étaient régulièrement consultées pour telle ou telle question. Mais le "Nagra Digital" prenait de plus en plus des allures d'arlésienne. Le rêve demeurait le rêve.

Un beau jour tout a été bousculé. Le "Nagra Digital" avec ses convertisseurs 20 bits est arrivé sur mon bureau. Du bureau à mes bagages et il m'a suivi en enregistrement. Le rêve était devenu réalité et quelle réalité ! J'avais enfin la possibilité de réaliser des enregistrements numériques qui avaient toutes les qualités du numérique sans en avoir les défauts simplificateurs. Toute notre équipe était émerveillée, nous avions tous l'impression d'être revenus au bon vieux temps des grandes émotions analogiques mais sans bruits parasites, avec une pureté incomparable et l'impression que l'air mis en vibration par les instruments sur le lieu de prise de son était physiquement transporté dans la salle d'écoute.

Je repensais alors à celui que j'avais pris pour un fou 10 ans auparavant et qui était en train de me faire un pied de nez sans s'en rendre compte.

Il avait bel et bien raison d'appliquer le sage principe "allons doucement, nous sommes pressés", car il est bel et bien aujourd'hui en tête sur le plan technologique, avec ce format spécifique aujourd'hui révolutionnaire et qui sera encore d'actualité dans dix ans.

La légendaire firme suisse vient de passer du plus haut niveau analogique au plus haut niveau numérique. Avec le "Nagra Digital" et ses performances hors du commun, l'Europe retrouve instantanément sa position de leader dans le domaine de l'enregistrement sonore.

L'événement méritait quelques explications. Nous les avons demandées à Jean-Claude Schlupp, Chef de produit chez Nagra et qui s'occupe plus particulièrement du "Nagra Digital".

Pierre VERANY :

- Que représente pour vous la notion de "transparence" dans un système d'enregistrement numérique ? Quelle

De l'enregistrement tout terrain... au numérique

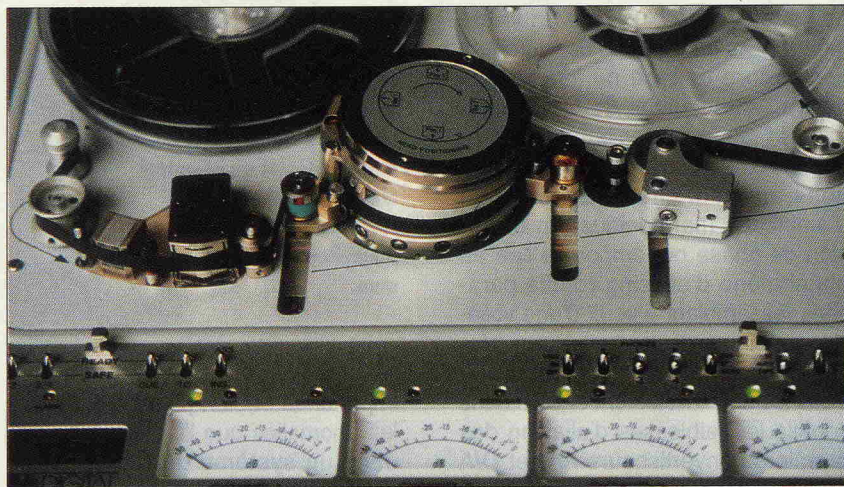
d'échantillonnage praticable avec les circuits actuels est beaucoup trop basse. Plus tard peut être..."

Malgré l'admiration que j'ai toujours portée à cet homme, véritable légende vivante, je me suis dit à moi-même : "Il est devenu fou".

Dix ans se sont écoulés depuis et j'ai pu faire successivement toutes les expériences avec tous les systèmes numériques qui ont petit à petit vu le jour.

J'ai été l'ardent défenseur de cette technologie car bien utilisée, elle permettait de livrer à l'auditeur, chez lui, l'intégralité de notre travail de producteur. Ceci n'était pas le cas avec les systèmes analogiques où le stade de fabrication industrielle du disque détruisait en aval toute velléité de progrès qui pouvait exister en amont. Bien sûr on avait bien remarqué, dans le cercle des auditeurs attentifs, qu'un signal numérisé en 16 bits dès la prise de son n'était pas vraiment conforme au son direct ; mais qu'importe, après numérisation, on pensait que ça n'allait plus bouger.

Je pense que nous avons tous vécu assez confortablement installés dans cette fatalité.



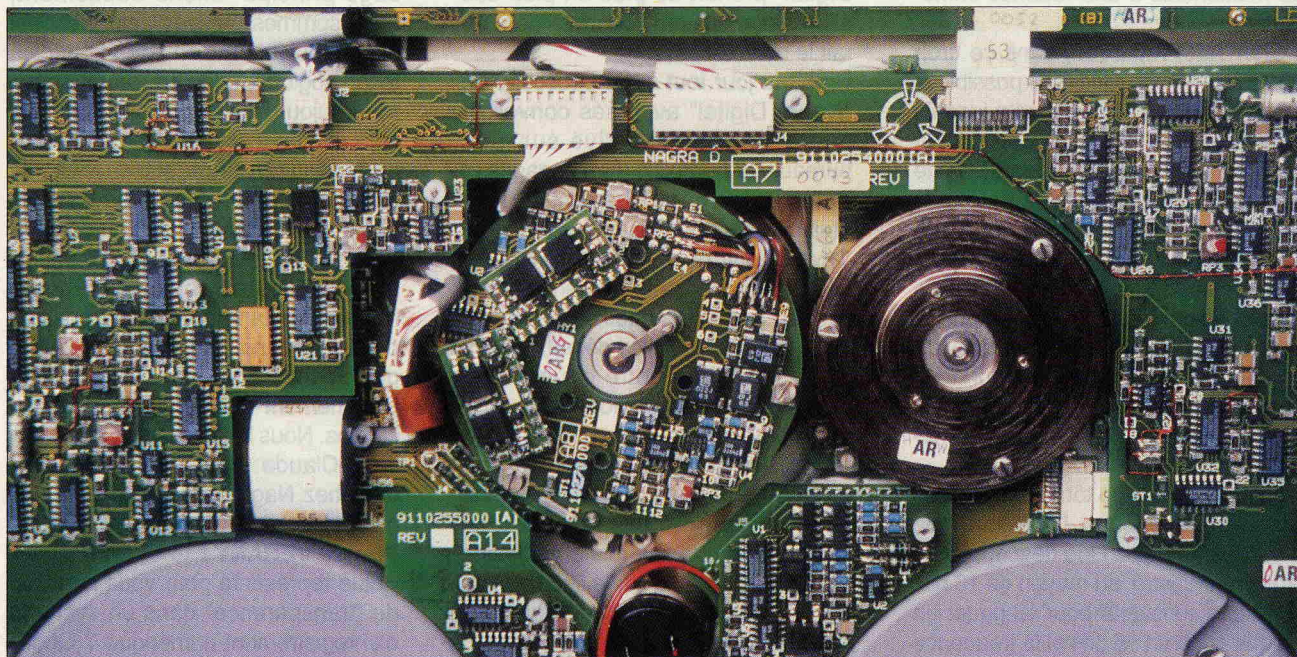
Le talent de Nagra pour la mécanique de précision trouve sa pleine expression dans la réalisation du tambour de têtes et de la piste de défilement de bande magnétique.

a été votre idée directrice dans l'élaboration du "Nagra Digital" ?

Jean-Claude SCHLUPP :

- Chaque système de transmission a ses limites et ses points faibles. Un canal TV serait considéré comme "transparent" s'il était capable de permettre de reconstituer sur le récepteur toutes les combinaisons de damier, depuis l'écran tout blanc ou tout noir jusqu'à une succession de tout petits carrés blancs et noirs dont la petitesse ne serait limitée que par la bande passante du canal soit 6 Mégahertz.

Nagra, sur les plus hauts sommets du monde



Or tout le monde a pu observer les limitations du système PAL par l'apparition de l'effet "pied de poule" ou du système Secam par l'apparition de l'effet "chute d'eau". Il en va de même dans un système de reproduction sonore de type numérique qui subit des limitations de fonctionnement à l'intérieur de sa bande passante (20 Hz à 20 kHz). Comme limitations, on peut citer : la distorsion d'amplitude (harmonique), la distorsion de phase ou temporelle liée au phénomène d'aliasing (bruits parasites ressemblant à ceux d'une volière), distorsion d'intermodulation (distorsions non harmoniques), etc.

Tous les spécialistes ont encore dans l'oreille les faiblesses d'aliasing des premiers convertisseurs A/D et D/A non suréchantillonnés. En balayant avec un générateur la plage de fréquences comprise entre 10 et 20 000 Hz, on récupérerait en sortie du système numérique ces fameux bruits de petits oiseaux, très caractéristiques. Grâce aux nouveaux convertisseurs "One Bit" de type Sigma Delta, suréchantillonnés à 64 fois la fréquence de base, que nous utilisons, les petits oiseaux se sont enfin envolés. Mais nous devons rester vigilants !

P.V. : Vous avez évoqué les problèmes de distorsion de phase. Ils sont à mon sens de la plus haute

Cet enregistreur est construit davantage comme une sonde spatiale que comme un appareil de salon. Chaque millimètre carré compte et il faut une parfaite maîtrise, tant de la mécanique que des circuits numériques et de l'électronique, pour aboutir aux résultats revendiqués par ce magnétophone hors du commun.

importance et bien plus critiques que les anomalies que l'on pourrait noter dans un système de reproduction sonore, acoustique ou électronique et liés à la seule réponse en fréquence. Que pensez-vous de cet aspect rarement évoqué et pourtant si pernicieux ? Comment expliquer par exemple que deux enceintes acoustiques ayant la même courbe de réponse sonnent si différemment ? Qu'en est-il en numérique et quelle est votre position sur ce point ?

J.C.S. : A l'école on nous enseigne que l'oreille est insensible à la phase entre les différents harmoniques d'un son. Ceci est vrai pour un son établi et continu. Dans les régimes transi-

toires, il en va tout autrement. L'attaque d'un son ne supporte pas d'erreur de phase ou d'erreur temporelle (nous disons erreur de group delay). Prenons par exemple une ligne téléphonique qui infligerait aux basses fréquences un retard de 0,5 seconde et dans les hautes fréquences un retard de 1 seconde ; qu'advierait-il aux consonnes "P" et "T" prononcées à la source au moment où elles parviendraient à leur destinataire. Assurément un son inintelligible. Pour garantir la plus grande pureté de son à travers un système de reproduction sonore, il est donc capital que ces erreurs temporelles soient réduites au strict minimum. Des faiblesses à ce niveau ont une influence par contre coup sur la perception d'une interprétation musicale. En effet, si les attaques d'un instrument de musique sont dénaturées, cela rejallera naturellement sur le rendu des timbres et sur le rendu de l'interprétation. A quoi bon obtenir par un travail acharné que tous les archets des violons partent exactement ensemble si le système masque ce résultat ? Dans ce cas, il n'aura pas seulement reproduit, il aura par lui-même mal interprété. Chez Nagra, un grand soin a été apporté à ce niveau dans le "Nagra Digital".

A titre d'exemple et dans l'état de nos

connaissances dans ce domaine, nous pourrions sans problème réaliser un enregistreur analogique tournant à 19 cm/s et ayant des qualités acoustiques jusque là réservées à des enregistreurs défilant à 38 cm/s.

P.V. : Le "Nagra Digital" est un enregistreur au format 24 bits dans lequel on peut incorporer des convertisseurs de 16, 18 ou 20 bits et demain, selon l'évolution de la technologie 22 et 24 bits. Aujourd'hui la présence de convertisseurs 20 bits dans votre enregistreur a certainement du créer de nouvelles contraintes, par exemple pour la conception des circuits analogiques d'entrée micro ou ligne. Avec une dynamique de 120 décibels, le moindre bruit parasite devient enregistrable :

J.C.S. : En fait, pour conserver l'avantage d'une technologie 20 bits, il faut prendre un certain nombre de précautions et acquérir de nouveau réflexes, car ce surcroît de qualité

peut se retrouver lourdement hypothéqué par le seul bruit thermique des composants des circuits analogiques d'entrée et plus particulièrement des résistances de charge des circuits symétriques des liaisons micro ou ligne.

Dans cette affaire il faut bien se persuader que travailler en 20 bits ne consiste pas seulement à mettre un convertisseur 20 bits derrière une électronique analogique existante mais nécessite de grandes précautions et un changement de certaines habitudes correspondant aux standards des studios. Vous avez pu remarquer qu'en entrée ligne le "Nagra Digital" n'acceptait pas plus de 1 volt alors que les enregistreurs courants sur le marché professionnel peuvent accepter plus de 10 volts. Nous avons d'ailleurs mis au point un cordon atténuateur spécial permettant la liaison avec tous les types de niveaux lignes. Nous avons abandon-

né pour des raisons de bruit thermique les atténuateurs classiques du type potentiomètre pouvant aller à zéro ou du type pont de résistances ?

P.V. : Les Suisses ont une réputation légendaire dans le domaine de l'horlogerie. J'imagine que Nagra ne fait pas exception à la règle. Je m'explique : dans le domaine du numérique, tout compte et tout est finalement réglé par des horloges. Nous connaissons bien cette nouvelle valeur qui caractérise l'enregistrement numérique et qui s'appelle fréquence d'échantillonnage (pour le CD : 44,100 kHz). On peut facilement imaginer que ces signaux d'horloge peuvent être plus ou moins précis. Quelle est l'incidence sur la qualité et que pouvez-vous nous dire sur ce point ?

J.C.S. : Lorsque le signal traverse une chaîne complète : conversion analogique/numérique - traitement numérique - conversion numéri-

Le premier enregistreur au format 24 bits établit de nouvelles règles du jeu pour tous les circuits

A la température ambiante, une simple résistance produit à ses extrémités une différence de potentiel de bruit, même si elle n'est traversée par aucun courant. Cet effet est assimilable au mouvement brownien des particules, il est très faible, augmente avec la température et ne devient nul qu'à zéro absolu (0° kelvin). En grossissant le phénomène par amplification, on mettrait en évidence un signal qui contient à la fois toutes les fréquences, et qui varierait de façon aléatoire. C'est ce que l'on appelle un bruit blanc, par analogie avec la lumière blanche, qui est un mélange de toutes les lumières colorées de fréquences différentes. Un tel bruit est imperceptible dans des conditions normales d'écoute d'un amplificateur mais avec un gain suffisant, il est possible de le mettre en évidence (bruit de souffle

d'une entrée micro, tous potentiomètres à fond). Pour parler plus techniquement, ce bruit thermique d'une résistance R correspond en volts à la formule suivante.

$$U_b = 1,88 \cdot 10^{-8} \cdot R^{1/2}$$

Ceci est valable à la température ambiante et pour une largeur de bande passante audio de 20 kHz.

A titre d'exemple, essayons de déterminer la sensibilité d'entrée maximum d'un préampli micro qui respecte 120 dB de dynamique alors qu'il est chargé par un micro équivalent à une impédance de source résistive de 50 ohms.

Selon la formule citée, nous obtenons un bruit thermique équivalent à l'entrée de 0,129 microvolts. Avec le gain maximum possible compte tenu de la dynamique souhaitée de 120 dB, nous retrouvons en sortie du préampli micro un niveau un million de fois plus élevé (120 dB) soit 133 mV.

Si l'on pousse le gain au delà de ces 129 mV par exemple de 10 % soit de 12,9 mV, on colore naturellement l'enregistrement de 20dB de bruit issus simplement de la résistance de 50 ohms du micro.

Rappelons qu'un micro dynamique délivre environ 1 mV de sortie pour une ambiance calme dans un restaurant.

De plus, compte tenu de la dynamique disponible de 120 dB avec un système 20 bits on devrait pouvoir réaliser une préamplification microphonique sans dispositif d'ajustement de niveau et éviter ainsi toute dégradation de cette dynamique par le bruit des résistances atténuatrices.

Pour ne pas rompre avec les habitudes des preneurs de son, nous avons maintenant le réglage de niveau mais en le limitant à 37 dB dans le Nagra Digital.

que/analogique, la pureté du signal acoustique traversant le système dépend de la propreté du signal échantillonné.

A titre d'exemple, le "jitter" maximum (c'est à dire la fluctuation maximum de la fréquence d'échantillonnage d'un convertisseur) au niveau du convertisseur A/D, pour respecter la dynamique que permet un système 20 bits, ne doit en aucun cas excéder 200 picosecondes.

Cette précision extrême ne peut être obtenue qu'avec des oscillateurs à quartz réalisés avec un soin tout particulier.

Ce "jitter", lorsqu'on utilise un oscillateur de type L.C., fréquemment inclus dans les RDAT, synchronisé par une horloge extérieure et pour autant que son alimentation soit parfaite, ne descend que difficilement en dessous de 1 à 2 nanosecondes (soit 1000 à 2000 picosecondes). Cette valeur est à peine suffisante pour garantir une dynamique de 16 bits. C'est en fait le même problème que rencontre l'amateur de haute fidélité avec sa chaîne, la qualité ne tient qu'à celle du maillon le plus faible.

**Propos recueillis
par Pierre VERANY**