
Le projet ADTT de cinéma électronique

Introduction

Lors de l'IBC ([International Broadcasting Convention](#)) qui s'est tenue à Amsterdam du 11 au 15 Septembre dernier, le consortium ADTT (Advanced Digital Television Technologies) a présenté une maquette de production cinématographique électronique, résultat de deux années de travail pour un groupe de travail animé par Bernard Tichit au sein du projet Européen [Eurêka 1711](#).

Le but était d'utiliser les techniques les plus évoluées de la vidéo numérique et de l'informatique pour concevoir une chaîne de production dont la qualité s'approche du film 35 mm. Pour juger du résultat final, un film de quelques minutes était projeté dans une petite salle de vision conçue par la CST.

Ce projet fait suite à un premier, sur le même sujet, présenté à l'IBC de 1996. Entre les deux, le cahier des charges qui a guidé les travaux du groupe, a évolué sur des points essentiels. Bien sûr, le rendu des images doit être le plus proche possible du film. Mais les moyens mis en oeuvre dans le démonstrateur doivent être économiquement et pratiquement compatibles avec les exigences d'une production. C'est-à-dire qu'il est exclu d'enregistrer sur plusieurs magnétoscopes en parallèle, quitte à trouver un compromis avec la qualité en attendant une évolution prochaine de la technologie. La caméra CinéVidéo est un prototype conçu complètement à partir des recommandations des opérateurs et directeurs photo film.

Enfin, la présentation avait pour but de faire réfléchir sur une des évolutions possibles du cinéma, sur la possible renaissance d'une TVHD Européenne et sur la convergence des technologies Cinéma, Numérique et Informatique.

Les sociétés qui ont activement participé au projet sont les suivantes :

- [Angénieux](#) - *Objectifs et réalisation de la caméra CinéVidéo*
- [CRIL Ingénierie](#) - *Interfaces*
- [Enertec](#) - *Enregistreurs de données*
- [Philips](#) - *Caméras et capteurs CCD*
- Thomson TBS - *Caméras et serveurs*

Avant d'évoquer les différents éléments de la chaîne présentée à l'IBC, il faut parler des choix techniques qui ont permis de donner à des images électroniques un aspect aussi proche que possible du film.

L'ensemble de ces choix est regroupé sous le terme "mode film" par opposition à un fonctionnement normal de la caméra qui serait un "mode vidéo".

Le "Mode film"

Dans le cadre de ce projet, trois caractéristiques essentielles de l'image cinématographique ont été étudiées :

- L'analyse du mouvement
- La fonction de transfert de modulation ou résolution spatiale du film
- La caractéristique sensitométrique du négatif

Examinons les traitements proposés pour chacun de ces points.

L'analyse du mouvement est liée à la cadence de prise de vues qui est de 24 ou 25 images par seconde en

film. Lors de la projection, chaque image est projetée deux fois $\frac{1}{96}$ ou $\frac{1}{100}$ de seconde pour limiter le scintillement. Pour obtenir une restitution du mouvement qui soit comparable, avec une source électronique, il faut une caméra progressive à 25 images/s. Chaque image est ici complètement décrite contrairement à la vidéo qui utilise des trames entrelacées à 50 Hz, chaque trame décrivant une ligne sur deux de l'image.

La fonction de transfert de modulation ou résolution spatiale correspond, pour un film, à l'écart de densité mesuré entre des traits parallèles successifs noirs et blancs de plus en plus fin. Si on peut indiquer une valeur en paires de traits par mm pour un affaiblissement donné du contraste, il est préférable de tracer la courbe dont l'aspect général est représenté figure 1.

En vidéo, la situation est bien différente. Premièrement, les circuits des caméras sont réglés de manière à ce que cette courbe soit la plus plate possible jusqu'à la limite supérieure de la bande passante du système, voir la figure 1. Deuxièmement, la résolution globale de la vidéo (720 points par ligne en mode standard) est bien inférieure à celle du film 35 mm quel que soit le mode de comparaison.

On peut donc dire qu'il y a une différence de "qualité" et de "quantité" de résolution.

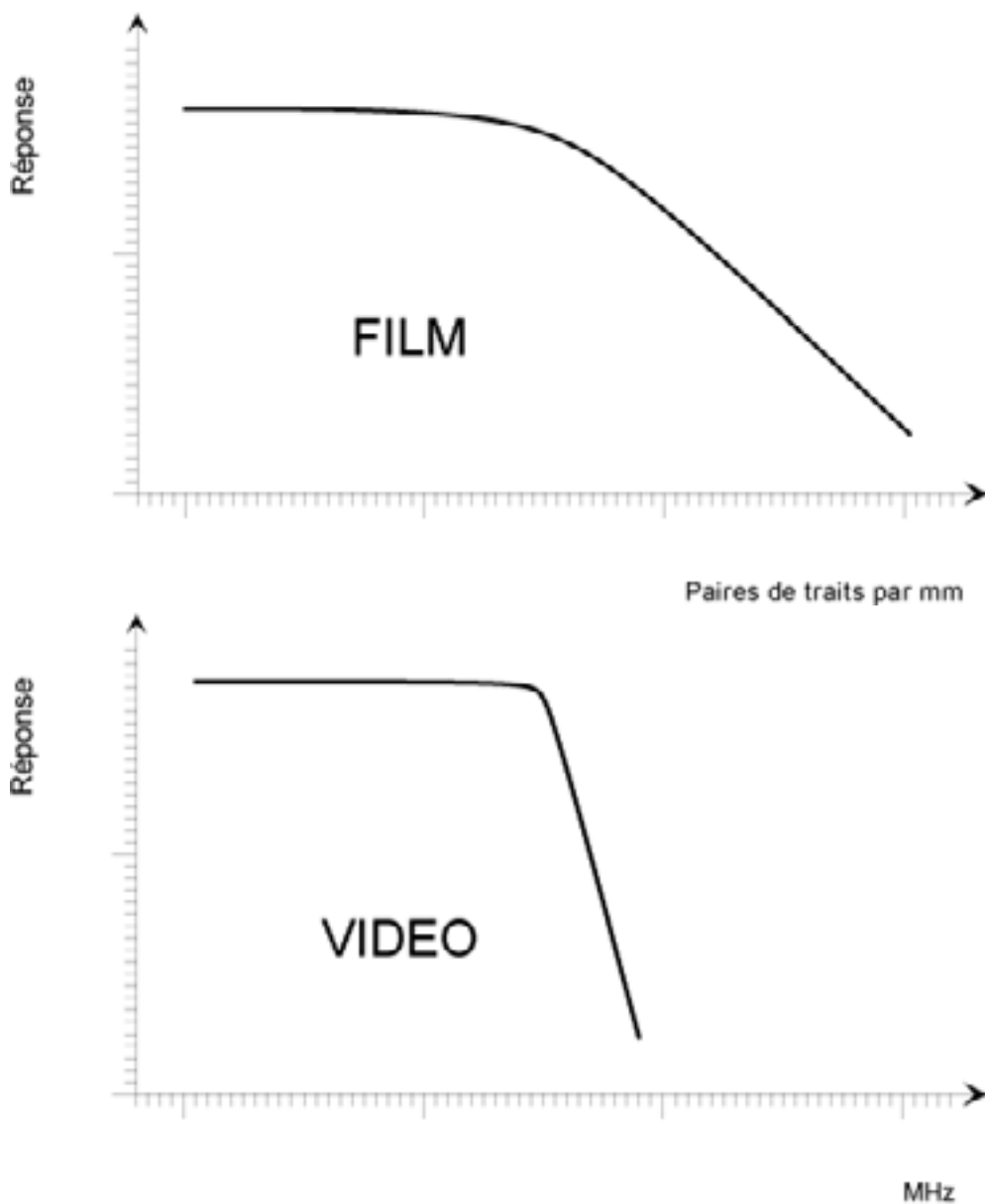


Figure 1 : Fonctions de transfert de modulation du Film et de la Vidéo

Pour s'approcher des caractéristiques du film, la caméra CinéVidéo a été équipée de capteur CCD de 1280 points par 576 lignes. Cette définition est ensuite ramenée à 960 points par ligne.

Dès que la technologie le permettra, l'objectif est d'augmenter la résolution jusqu'à 1920 points par 1080 lignes progressives, le plus haut standard de TVHD.

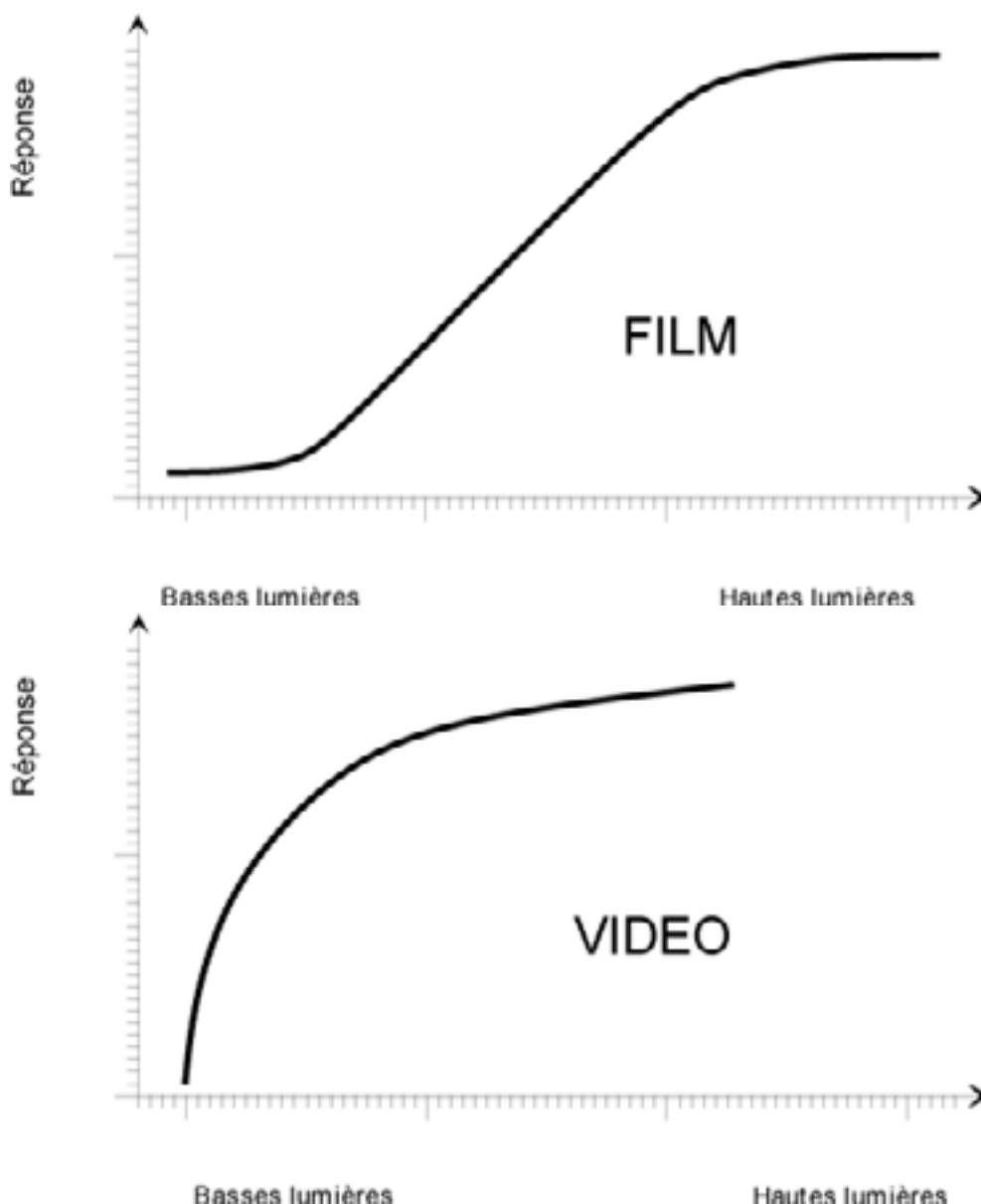
Dans ce projet, même si la résolution a été étendue par rapport à la vidéo, elle reste limitée, comparée aux possibilités d'un prototype. La raison de ce choix se situe dans les autres maillons de la chaîne, liaisons et enregistreurs, où il fallait impérativement utiliser des composants standards de l'industrie pour montrer une configuration réaliste en terme de production plutôt qu'une expérience de laboratoire.

D'autre part, la forme de la fonction de transfert a pu être soigneusement ajustée par le réglage numérique du contour et l'utilisation d'objectifs de prise de vues cinéma.

La caractéristique sensitométrique - densité = f(éclairage) - du négatif est représentée sous une forme générique par la figure 2. La pente de la partie rectiligne de la courbe, limitée par le "pied de courbe" et "l'épaule" est appelée gamma. La partie linéaire de la courbe représente une amplitude d'au moins 5 diaphragmes auxquels il faut ajouter la compression des hautes et basses lumières assurées par le pied et l'épaule de la courbe. Cette configuration confère au film négatif une gamme de luminance reproductible très importante, typiquement 7 diaphragmes.

Il ne faut pas confondre ce gamma avec la précorrection appliquée au signal vidéo, elle aussi nommée gamma, mais qui correspond à une fonction de puissance, comme le montre la figure 2. Cette précorrection a pour but de compenser la fonction de transfert des tubes cathodiques. Pour plus de détails consultez le [Dossier Technique n° 1 - Le gamma en vidéo](#).

Pour compenser cette différence d'analyse, la caméra CinéVidéo utilise une conversion Analogique/Numérique sur 12 bits, et les circuits de traitement numérique développés par Philips et Thomson, qui permettent d'ajuster la fonction de transfert de la caméra avec une grande précision, sur une gamme de contraste importante, voir le § suivant.



La caméra

La caméra CinéVidéo est un prototype réalisé par Angénieux à partir d'un cahier des charges établi par des opérateurs cinéma long métrage. Les principales demandes, outre l'ergonomie de la caméra, étaient de disposer d'un vrai viseur optique couvrant un champ plus large que l'image, au lieu d'une reprise sur un tube cathodique de petite taille et de pouvoir adapter tous les objectifs de prises de vues cinéma.

Cette adaptation est plus complexe qu'il n'y paraît. Si dans une caméra film l'image est formée sur un support unique, la pellicule, en vidéo il y a un séparateur optique, voir la figure 3, composé de trois prismes avec des filtres dichroïques pour séparer les composantes rouge, verte et bleue de la lumière vers les trois capteurs CCD 2/3". Le tirage mécanique de l'ensemble est équivalent à 48 mm dans l'air, mais représente plus de 60 mm de trajet effectif dans le verre, et les capteurs rouge et bleu sont légèrement décalés de quelques μm . Cette disposition, liée à la difficulté de réaliser des zooms sans aberration chromatique, c'est-à-dire ayant le même plan de mise au point pour toutes les couleurs et toutes les focales, fait l'objet d'une normalisation pour assurer la compatibilité des objectifs entre les différents constructeurs. Pour assembler ce bloc d'analyse avec des objectifs cinéma, il a donc fallu réaliser un adaptateur optique pour permettre une focalisation parfaite sur les trois CCD et une conversion de la taille de l'image. La figure 4 montre les courbes spectrales des filtres de la caméra.

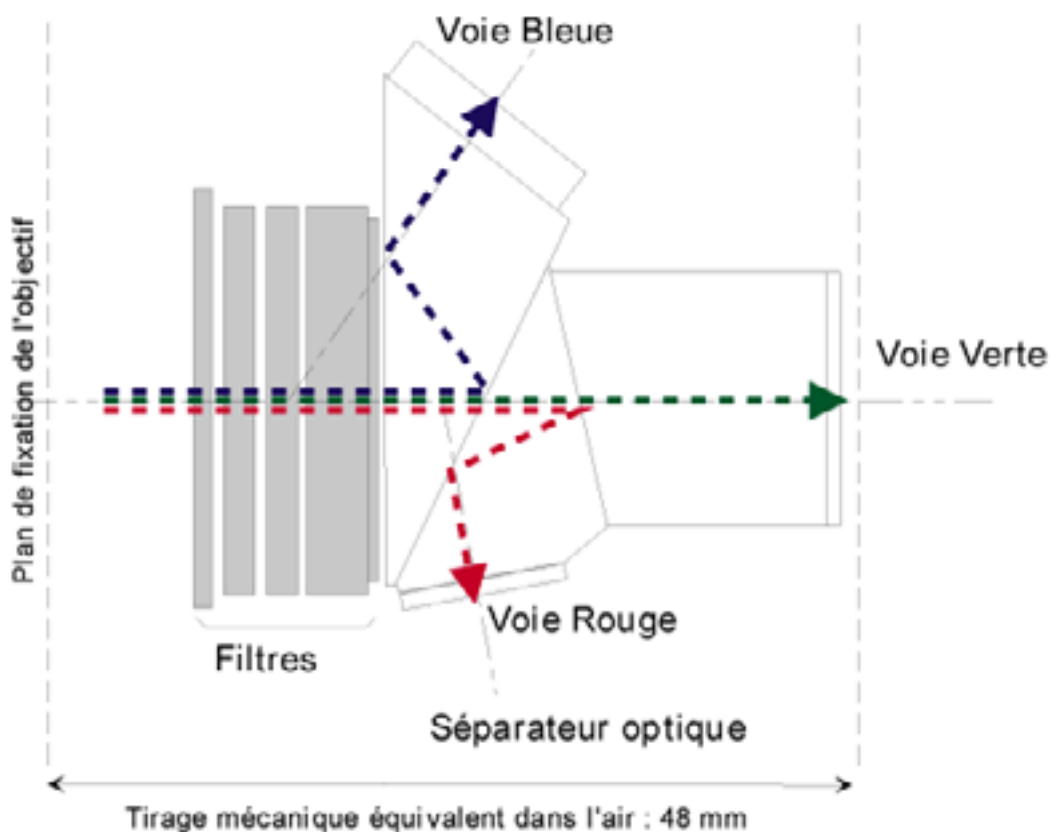


Figure 3 : Séparateur optique

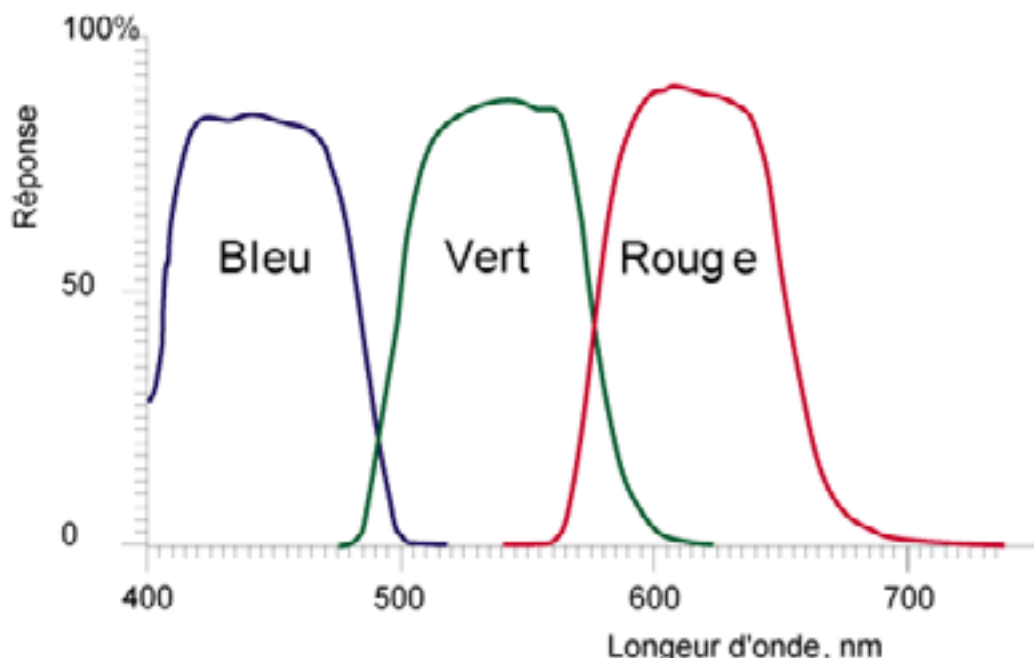


Figure 4 : Filtres d'analyse de la caméra CinéVidéo

Le traitement du signal dans la tête de la caméra : Les caméras CCD modernes restituent une dynamique d'environ 600% du signal vidéo. Pour utiliser cette dynamique il faut compresser la partie haute du signal, c'est-à-dire les hautes lumières. Cette compression a longtemps été effectuée par des circuits analogiques, qui malgré leurs dérives, offraient une dynamique supérieure au traitement numérique tant que celui-ci était limité à 10 bits.

Avec les circuits développés par Philips et Thomson, autour d'un convertisseur 12 bits, il est maintenant possible d'exploiter toute la dynamique des CCD, avec les avantages des réglages des circuits numériques, stabilité des réglages, retour à des valeurs mémorisées ou standards, etc... La figure 5 montre le synoptique simplifié du traitement du signal dans la caméra CinéVidéo.

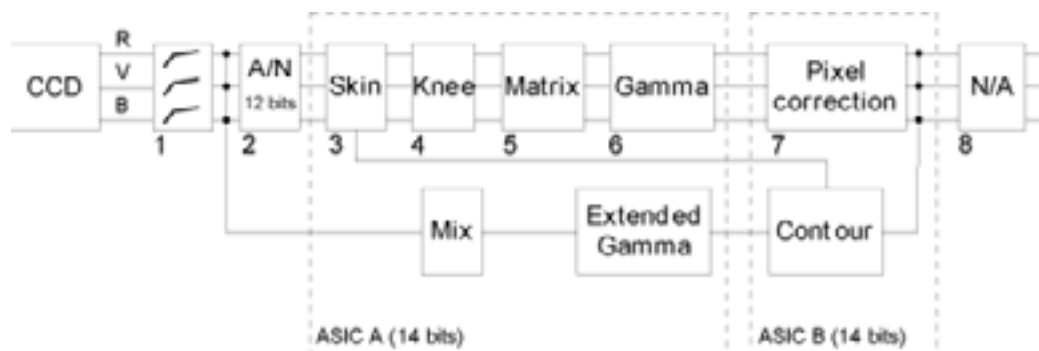


Figure 5 : Le traitement numérique de la caméra CinéVidéo.

Les principales étapes du traitement sont les suivantes :

1. Le Preknee : C'est la pré-compression des blancs, qui réduit la dynamique du signal de 600% à 400% et contrôle le gain de la caméra.
2. La conversion analogique/numérique sur 12 bits.
3. La correction des teintes chairs "Skin" : Deux teintes préalablement mémorisées, le plus souvent des teintes chairs, sont détectées par ce circuit pour une correction de contour spécifique.
4. Le Knee : Compression des blancs paramétrable, en fonction des conditions de tournage, pour permettre une restitution plus ou moins importante des sur-blancs.
5. Le Matriçage, ou Masking : Ce circuit assure la conversion entre l'espace colorimétrique d'analyse de la caméra, les filtres rouge, vert et bleu placés devant les CCD, représentés figure 4, et les primaires normalisées de la vidéo. Bien que cette conversion soit normalisée, il est avantageux de pouvoir effectuer un réglage personnalisé, soit pour équilibrer parfaitement des caméras entre elles, soit pour des raisons

- esthétiques. Les réglages numériques permettent un retour rapide à des valeurs normalisées.
6. Le Gamma : C'est la pré-correction du signal vidéo avec une fonction de puissance normalisée, inverse de la caractéristique des tubes cathodiques.
 7. La correction de pixel : Ce circuit analyse le niveau de chaque pixel par rapport à ses voisins et effectue une comparaison avec les deux autres voies. Si une différence supérieure à un certain seuil est mesurée, le pixel est considéré comme défectueux. Le circuit calcule alors une valeur moyenne et effectue le remplacement en temps réel.
 8. Le convertisseur numérique/analogique de sortie.

La caméra CinéVidéo délivre un signal 625 lignes progressif à 25 images par seconde (625/25/1). Comme ce signal occupe la même bande passante que la vidéo entrelacée (625/50/2), il est possible d'utiliser une liaison numérique série normalisée SDI (Serial Digital Interface) à 360 Mbits/s.

L'unité de contrôle de la caméra convertit le signal progressif 625/25/1 en 625/50/1 pour la visualisation sur un moniteur Haute Définition progressif. Cette conversion réduit le scintillement qui serait trop important à 25 Hz.

Lorsque les images seront reportées sur film, c'est la double obturation du projecteur qui assurera la même fonction. L'unité de contrôle sert aussi lors de la relecture des enregistrements.

L'enregistrement

Rien de particulier à noter concernant l'enregistrement du signal, et c'était là un des buts de la démonstration !

Un magnétoscope numérique, qui accepte le signal SDI 16/9 à 360 Mbits/s, comme le D5 avec des cassettes $\frac{1}{2}$ pouce, convient parfaitement. Un serveur vidéo ou un enregistreur de données peut aussi convenir.

Le retour sur film

Le retour sur un support film a été effectué par un prestataire à l'aide d'un Solitaire Ciné 3 de Management Graphics. Le principe consiste à utiliser un tube cathodique noir et blanc avec un spot très fin, pour exposer chaque image du négatif, par trois passages au travers de filtres successivement rouge, vert et bleu.

C'est le seul moyen d'apprécier la qualité globale du système, et d'envisager une diffusion de type cinématographique des images.

Conclusion

Ce projet doit aider les professionnels de l'audiovisuel à réfléchir sur les applications possibles des évolutions technologiques du film de la vidéo et de l'informatique. Il ne s'agit pas de prédire la fin d'une technologie et (ou) son remplacement par une autre, le problème est manifestement beaucoup plus complexe, car il faudra comprendre et gérer l'intégration de ces différents éléments dans de nouvelles méthodes de travail.

Tout cela reste en grande partie à explorer, sans attendre que les outils soient complètement finalisés, comme ont déjà commencé à le faire quelques pionniers...

Rédaction : **Matthieu Sintas** (msintas@cst.fr)