

## Numérisation de films argentiques et conservation des effets visuels

Clotilde Boust <sup>1,2</sup>, Cécile Dazord <sup>2</sup>

1. Université de Versailles, SACIM et CHCSC, 37 rue du Maréchal de Lattre de Tassigny, 78150 Le Chesnay

2. Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF), 14 quai François Mitterrand, 75001 Paris

**Responsable du projet :** Cécile Dazord, [cecile.dazord@culture.gouv.fr](mailto:cecile.dazord@culture.gouv.fr)

### Résumé

À l'heure des plans de numérisation de masse des collections patrimoniales, cette recherche tente de répondre à une question générale : qu'est-ce qu'induit un changement de technologie, le passage de l'argentique au numérique ? En partant de l'idée que ce qui est important est le rendu du film vu par un spectateur, nous avons voulu savoir si les différences de rendu entre un film et sa version numérique étaient quantifiables ? évitables ? acceptables ? et ainsi nourrir une réflexion générale sur les œuvres audiovisuelles confrontées à l'obsolescence des machines de lecture, et donc aux transcodages vers les technologies actuellement disponibles. Ce travail s'appuie sur le corpus particulier des films d'avant-garde et expérimentaux. En effet, ces œuvres sont souvent fondées sur des effets visuels créés spécifiquement pour le médium film, et le passage en numérique peut altérer le rendu du film au point d'en perdre le sens. Les principes sont valables pour ce corpus comme pour l'ensemble des films sur supports argentiques. Nous avons testé deux attributs visuels majeurs : la couleur et le papillotement (*flicker* : variation temporelle rapide de luminance) en reliant plusieurs domaines, de l'histoire de l'art à la vision en passant par les techniques de films, et en respectant l'angle particulier de la conservation/restauration des œuvres patrimoniales.

**Mots clés :** film d'artiste, obsolescence, effets visuels, préservation, numérisation

### Abstract

à rédiger par les auteurs

**Keywords :** artist movie, obsolescence, visual effects, preservation, digitisation

### Introduction

Depuis la fin des années 1960, un nombre important et sans cesse croissant d'œuvres conservées dans des collections d'art contemporain est constitué d'images en mouvement. Un certain nombre de ces images existe aujourd'hui sur des supports et dans des formats obsolètes, ce qui a essentiellement pour conséquences qu'il devient difficile de produire de nouvelles copies lorsque les copies d'exploitation sont endommagées ; difficile, lorsque l'état de conservation des originaux est mauvais, de les traiter ou de les remplacer par des supports identiques ; difficile de trouver les appareils nécessaires à la lecture de ces images. Il est tout simplement impossible de présenter un certain nombre d'œuvres des collections : leur accessibilité est menacée ainsi que leur préservation.

Si la situation est critique actuellement pour la vidéo, elle est aussi problématique pour les films argentiques dont les supports sont en voie de disparition et pour lesquels l'accessibilité est compromise par l'obsolescence des matériels.

Face à cette obsolescence, les responsables de collections procèdent fréquemment à la numérisation des fonds concernés. La raison première évoquée est celle de l'accessibilité et de la diffusion mais, de fait, ces versions numériques tendent à devenir le nouvel original. Or, ce changement de support et de technologie est inédit dans l'histoire des politiques de conservation muséales et nous nous sommes demandé quelles en étaient les conséquences.

Le groupe « art contemporain » [1] associé au groupe « couleur » du département recherche du Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF) a initié une étude concernant les modifications induites par ce changement de technologie et tenté d'évaluer les différences entre une version argentique et une version numérique d'un même film. Considérant que c'est la version projetée du film qu'un spectateur

connaît et apprécie, et donc qui fait œuvre, nous avons étudié tous les maillons de la chaîne image jusqu'à la projection (figure 1).

Nous nous sommes concentrés sur les deux effets visuels majeurs que sont la couleur et le papillotement. Le papillotement (*flicker* en anglais) apparaît lors d'une variation très rapide de clarté. En cinéma, il est principalement produit par deux phénomènes : l'obturateur de projection argentique d'une part, un montage des images particulier choisi par l'auteur du film d'autre part (figure 2). Du point de vue de la vision humaine, ce phénomène est perçu en fonction du contraste entre deux images successives, de la fréquence d'affichage de ces images, du niveau lumineux des images, de la taille des images et enfin du niveau d'adaptation lumineux général de l'observateur [2].

### **Corpus d'étude : cinéma d'avant-garde ou expérimental**

Nous avons choisi d'appuyer nos recherches sur un corpus particulier : le cinéma d'avant-garde ou expérimental. En effet, cette cinématographie en marge des circuits commerciaux de production et de distribution fait de la technique un usage volontiers déviant ou détourné, posant de ce fait des problèmes accrus lors de la numérisation. Jouant largement des effets visuels couleurs et temporels [3, 4], cette cinématographie constitue un cas d'école dont les conclusions peuvent être généralisées à tous les films argentiques.

Le tableau 1 présente la liste des films choisis dans la collection du musée national d'Art moderne – Centre Pompidou, avec les effets visuels principaux. Certains de ces films posent des problèmes très particuliers : par exemple *Straight and Narrow* de Tony Conrad, film noir et blanc 16 mm, a la particularité d'avoir été conçu pour produire des couleurs subjectives lorsqu'on le regarde à 18 images par seconde (i/s). Les couleurs subjectives [5] sont créées dans notre cerveau devant certains motifs géométriques vus à une fréquence précise.

### **Numérisations**

#### *La couleur*

Nous avons fait numériser une quinzaine de films d'artistes en couleur, par plusieurs entreprises de post-production cinéma recourant à différentes technologies [6], avec comme consigne d'effectuer une numérisation au plus proche de l'original, soit une reproduction exacte des couleurs.

Les numérisations des trois premiers films d'artistes (collection *Light Cone*), réalisées au télécinéma, furent plutôt mauvaises du point de vue de la reproduction des couleurs (figure 3) [7]. La raison principale est que les étalonneurs ne disposent pas des outils techniques pour réaliser une numérisation exacte des couleurs. En effet, leur travail habituel est d'interpréter les couleurs issues des pellicules de tournage pour donner une ambiance au film, en collaboration avec le réalisateur. La reproduction exacte des couleurs d'un film donné à partir d'une copie de référence est une problématique spécifique de musée et d'archive ; les machines de post-production télécinéma classiques ne sont pas équipées pour cela.

Les acquisitions suivantes, effectuées avec un scanner dernière génération plus performant, ont révélé un autre problème concernant la numérisation à des fins patrimoniales. Les films conservés par les musées sont le plus souvent sur supports anciens obsolètes dont les caractéristiques techniques ont été perdues. Les fonds patrimoniaux n'ont pas gardé ces données techniques. Quant aux fabricants, soit ils ont disparu (ces cinq dernières années furent catastrophiques pour les fabricants traditionnels de pellicules argentiques), soit ils ont également perdu ces informations concernant des supports dont l'usage n'est plus d'actualité (les entreprises n'ont aucune obligation d'archivage de leurs données).

Or, l'obtention d'une image numérique de qualité requiert un minimum d'informations sur la pellicule analysée (type de colorants, contraste, etc.). Dans un flux classique avec des pellicules récentes (moins de 10 ans), ces informations sont lues par le scanner via un code-barres inscrit directement sur l'émulsion. Dans le cas de nos films, aucune des 12 émulsions n'a été reconnue par le scanner qui a donc appliqué des paramètres par défaut, inadéquats pour l'obtention d'images de qualité. Pour pallier ce problème, nous avons développé une méthode de calibrage couleur des pellicules positives obsolètes, en utilisant une charte couleur imagée sur pellicule récente, des mesures spectrorimétriques des films (figure 4) et des algorithmes informatiques de recalage [8].

Une telle méthode n'existait pas car les laboratoires travaillent peu sur pellicules positives et le marché muséal est trop petit commercialement pour qu'ils investissent dans de tels développements. Cependant, un des grands laboratoires de post-production cinéma en région parisienne a ouvert une branche « patrimoine » qui, si elle se développe, pourrait pallier partiellement les problèmes que nous avons rencontrés.

Une fois l'acquisition faite, la gestion des couleurs dans la suite de la chaîne fut aussi problématique car, contrairement à la photographie ou à la presse numérique, les outils de gestion de la couleur ne sont pas encore installés en routine dans les chaînes cinéma. Cependant, les prestataires de cinéma numérique, aux Etats-Unis comme en l'Europe, modifient actuellement leurs chaînes pour prendre en compte de nouvelles normes [9]. Nos problématiques devraient ainsi s'intégrer plus facilement dans leurs travaux.

Au-delà de ces difficultés de procédures et de l'inadéquation des outils du cinéma commercial à nos besoins, une autre difficulté doit être surmontée, inhérente à tout changement de technologie de production d'image : la différence de gamut (c'est-à-dire l'ensemble des couleurs reproductibles) entre les périphériques argentiques et numériques. Chaque film a un gamut propre qui, couplé à celui d'un projecteur, donne le nombre de couleurs visibles à la projection. De même, un fichier numérique vu via un logiciel et un périphérique d'affichage a un nombre de couleurs limité, qui sera différent avec un autre système numérique ou avec une chaîne argentique. Certaines couleurs très saturées peuvent ne pas être vues en numérique ; cela dépend du matériel utilisé (figure 5) [10]. Il faut donc prévoir cela pour la numérisation et faire des choix de transformation de couleurs.

### *Format d'images*

Les films argentiques présentent différents formats d'images (largeur, hauteur) en fonction de la taille de la pellicule (les plus standardisés : 8, 16, 35 ou 70 mm) mais aussi en fonction de la taille du photogramme enregistré sur chaque pellicule.

La numérisation acquiert une image argentique en la « découpant » virtuellement en un certain nombre de pixels verticaux et horizontaux, qui dépend de la définition du capteur du scanner utilisé. Ensuite, chaque format de fichier numérique enregistre une définition précise, dont le rapport largeur/longueur est fixe et généralement différent du ratio argentique de départ. Il faut donc faire des choix de format d'image, soit rogner dans l'image originale pour pouvoir la voir en plein écran numérique, soit garder des bandes noires pour respecter le format original.

En ce qui concerne la définition des acquisitions numériques, plus elle est grande, meilleure est la précision des détails de l'image finale. En numérique, la définition a posé problème jusqu'à très récemment, mais l'augmentation constante de la qualité des numériseurs, des formats de fichiers, des projecteurs, etc., rend aujourd'hui possible une qualité quasiment égale entre argentique et numérique (notamment avec les images 6K et plus pour du 35 mm). Cela suppose cependant d'utiliser les toutes dernières technologies haut de gamme mises sur le marché (scanner, logiciel et projecteur), ce qui implique un coût important, souvent prohibitif pour les institutions. Cependant, un tel investissement peut être judicieux sur le long terme, si l'on considère qu'une qualité insuffisante appellera une renumérisation des films.

### *Temporalités*

Les films argentiques ont traditionnellement une cadence de projection de 24 images par seconde (i/s) mais on rencontre fréquemment dans les musées d'autres cadences, par exemple 18 ou 16 i/s. En numérique, les cadences sont diverses et dépendent principalement du format de fichier d'enregistrement, lui-même choisi pour la destination de diffusion.

Historiquement, les formats de fichiers numériques cinéma ont été élaborés pour la télévision (c'est-à-dire avec compression pour un faible poids d'image à passer via les réseaux de l'époque, et pour respecter des normes de diffusion télévision développées indépendamment des normes cinéma). Le format de cadence télévision étaient de 25 i/s en régions PAL/SECAM (dont la France) et 30 i/s en régions NTSC (dont les Etats-Unis). Pour passer de la cadence cinéma 24 i/s à la cadence vidéo télévision, il fallait inventer des images au film argentique. Ce fut réalisé grâce au procédé appelé « entrelacement », qui consiste à découper certains photogrammes en lignes paires et impaires et à créer une nouvelle image à partir d'une trame paire du premier photogramme alternée avec la trame impaire du deuxième photogramme [6] (figure 6). Si ce procédé permet d'obtenir le bon nombre d'images télévision ou de minimiser le poids de fichier d'une séquence, il produit une qualité d'image acceptable mais uniquement pour des films narratifs classiques, où les images se suivent sans changements abrupts et constants de contenus. Pour des films d'avant-garde et expérimentaux, où les images changent à chaque photogramme, cela fabrique des artefacts très visibles qui ne permettent pas de préserver des effets visuels tels que les post-images couleur ou le *flicker* (figure 7).

Les numérisations de films du patrimoine furent pendant longtemps faites via les seuls formats télévision et vidéo alors disponibles (MPEG 1, 2, 4), mais qui ne conservaient pas la temporalité, donc les effets visuels, à cause de l'entrelacement en particulier. Leur qualité est très insuffisante, même pour des besoins de simple consultation. Aujourd'hui, avec l'augmentation de capacité des réseaux TV et du cinéma numérique, des formats de films image par image non compressés sont désormais accessibles (MJPEG 2000, par exemple,

qui est le nouveau format cinéma numérique, image par image et réglable en fréquence). Evidemment le coût de numérisation est supérieur ainsi que le coût d'archivage (un film au format MJPEG 2000 pèse environ 100 Go contre 10 au format MPEG 4). L'idéal est une numérisation avec une définition proche de l'argentique en fonction du format de départ, un format d'image numérique non compressé, réglable en fréquence et si possible non propriétaire pour pouvoir retrouver toutes les caractéristiques du fichier même après l'abandon de ce dernier par les industries, et enfin un système de sauvegarde performant.

### **Restitutions des images : écrans et projecteurs**

Si une numérisation correcte est faite avec un bon format d'enregistrement pour la cadence, reste la question des écrans et des projecteurs qu'il faut choisir avec soin, tous n'étant pas compatibles avec un rendu de type cinéma.

Le domaine des écrans de visualisation et des projecteurs numériques est particulièrement concerné par les phénomènes d'obsolescence technologique. Les technologies se succèdent rapidement : les écrans à cristaux liquides (LCD) sont passés de 11 % de part de marché en 2005 à 55 % en 2010. Depuis 2009, les écrans LED ont fait une arrivée spectaculaire, détrônant tous les écrans précités pour atteindre 50 % des ventes en 2012. Pour les projecteurs, les technologies LCD sont encore majoritaires, sauf pour les salles de cinéma où la technologie DLP a pris le monopole.

Or, chaque technologie offre des avantages et des inconvénients [11] dont certains sont incompatibles avec notre objectif de rendu correct des films d'artistes numérisés. L'écran LCD consomme peu d'énergie mais pêche par une limitation en terme de couleur et un temps de réponse temporel faible avec production d'une image fantôme due au faible rafraichissement (figure 8), ce qui en fait un écran de piètre qualité en général. Abordables, ils ont rencontré un succès certain dans les expositions et les musées en particulier. Cependant, leur médiocre rendu temporel fait que les films expérimentaux ne sont pas visualisables correctement.

Quant aux projecteurs, les LCD sont généralement, à l'heure actuelle, de qualité moyenne à cause d'un faible contraste, d'une non-uniformité spatiale et de la grille de pixels très visible. De plus, on ne peut pas choisir la cadence de projection des images, qui est toujours fixe. Pour les salles de cinéma numérique, les projecteurs DLP sont de très bonne qualité couleur et temporelle mais nous avons constaté qu'ils embarquent dans leurs circuits un algorithme anti-flicker [12], car cet effet est considéré comme un défaut à éliminer dans les films commerciaux classiques ; l'algorithme change donc automatique la fréquence d'affichage de chaque pixel si un risque de papillotement est détecté ! Il est impossible de désactiver cette fonction actuellement....

### **Conclusion**

L'étude du passage vers le numérique de films d'avant-garde et expérimentaux a révélé plus de problèmes que prévus pour conserver les effets visuels constitutifs des films. Certaines difficultés peuvent être considérées comme temporaires si on prend en compte les avancées technologiques rapides du domaine des images et du cinéma. D'autres sont plus problématiques et demandent une réflexion de la part des chargés de collections (en terme de qualité couleur en particulier, de coût, d'archivage).

Dans tous les cas, le changement de technologie n'est pas une opération transparente et simple à confier aux seules entreprises ; les musées ont leur rôle à jouer. Les professionnels du patrimoine sont encore peu préparés à tous ces changements technologiques et aux problématiques de conservation qui en découlent. Le développement de la formation et le recrutement de spécialistes des archives d'images argentique/numérique s'avèrent indispensables.

Quelles que soient les technologies utilisées, la documentation précise des paramètres techniques et des décisions de conservation qui ont sous-tendu ces choix est importante. En effet, dans ce domaine, le manque de documentation peut rendre l'objet inexploitable et compromettre sa préservation future via la génération de format qui suivra.

### **Remerciements**

Ce projet de recherche a été soutenu par l'Institut des sciences de la communication du CNRS et par le ministère de la Culture et de la Communication, dans le cadre de son Programme national de recherche sur la connaissance et la conservation des matériaux du patrimoine culturel (PNRCC) . Il n'aurait pu se faire sans l'aide de nos partenaires principaux : le musée national d'Art moderne - Centre Pompidou ainsi que les sociétés de post-production cinéma Télétota, Mikros Image et Eclair. Nous tenons à remercier également les personnes qui ont apporté leur savoir sur un sujet spécifique : Mathieu Dubail, ingénieur vidéo, Jean-Baptiste Thomas, maître de conférences en informatique graphique, Fleur Chevalier, doctorante en histoire de l'art,

Jean Le Rohellec, chercheur en vision, Alexis Constantin, chargé des collections film et Alice Moscoso, spécialiste de la conservation des médias.

## Bibliographie

1. Dazard C. et Boust C., Carnet de recherche en ligne du groupe Art contemporain du C2RMF : <http://obsolescence.hypotheses.org/>
2. Denieul P., Brettel H., Monot A. et Vienot F., 1992-2002, « Vision et visualisation », Collection de la Société française d'optique, Ecole d'été, Systèmes optiques, Cours rédigé. 23 p. / Systèmes optiques, G. Roblin, éditeur scientifique, EDP Sciences.
3. Chevalier F., 2011, Le flicker : une notion à la croisée de plusieurs disciplines, rapport C2RMF, <http://obsolescence.hypotheses.org>
4. De Filippis M., 2012, « Parcours de couleur dans le cinéma d'artistes et expérimental : aspects techniques et perspectives esthétiques », Mémoire de Master II, Corso di Laurea magistrale in discipline della musica, dello spettacolo e del cinema / Études cinématographiques et audiovisuelles, Université de Udine, sous la direction de S. Venturini, <http://obsolescence.hypotheses.org/1112>
5. Le Rohellec J., 1999, « Les couleurs subjectives : l'illusion d'une illusion », *Technè* n° 9-10.
6. Dubail M., 2011, Systèmes de numérisation des films, rapport C2RMF, <http://obsolescence.hypotheses.org/1012>
7. Dubail M., Dazard C., Boust C., 2010, « Study of Contemporary Art Preservation with Digitization », Archiving conference, Washington, pp 47-52.
8. Thomas J.-B., Boust C., 2011, « Colorimetric Characterization of a Positive Film Scanner Using an Extremely Reduced Training Data Set », Color Imaging conference, San José.
9. Noblet L., Maujean B., Fétiveau M., 2012, « Et si migration numérique rimait avec créativité artistique ? Vers une solution globale, simplifiée et conviviale de la gestion de la couleur ». Cahier Louis-Lumière n° 9, sept. 2012 (<http://colorpipe.mikrosimage.eu/et-si-migration-numerique-rimait-avec-creativite-artistique/>)
10. Association of video and cinéma laboratories, 2005, « Color rendering of photographed images » [http://www.acvl.org/digital\\_intermediates/dicompanion/ch06.html](http://www.acvl.org/digital_intermediates/dicompanion/ch06.html)
11. Thomas J.-B., « Les technologies d'écrans », rapport C2RMF, 2011, <http://obsolescence.hypotheses.org>
12. Hewlett G. et Pettitt G., 2001, « DLP Cinema projection: A hybrid frame-rate technique for flicker-free performance », *Journal of the Society for Information Display*, 9 (3), pp 219-224.

## FIGURES

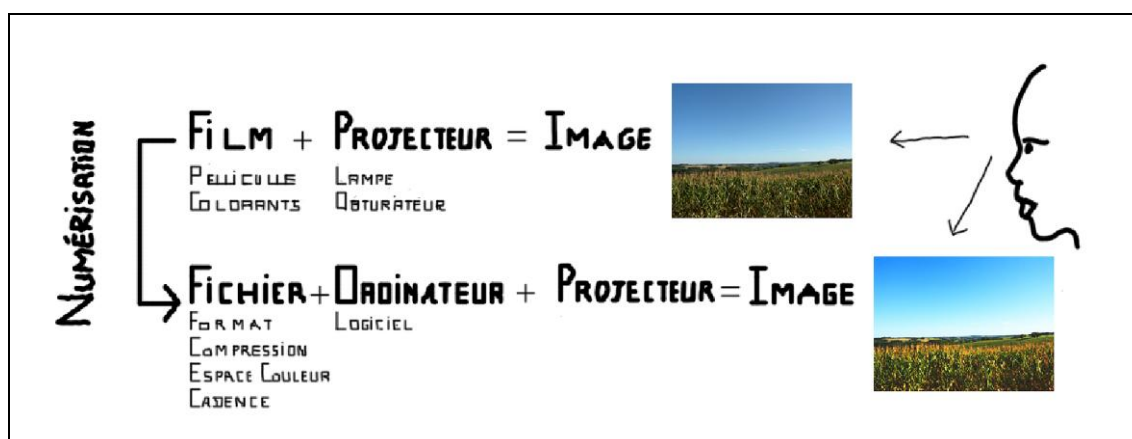
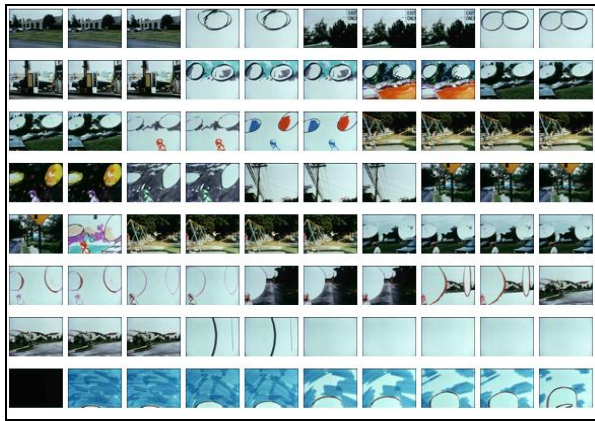
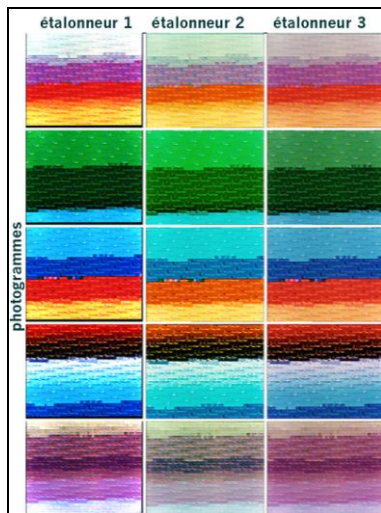


Figure 1. Les images vues par le spectateur sont la résultante de tous les paramètres techniques qui constituent la chaîne (© C. Boust).



**Figure 2 : Photogrammes du film *Sparkill Avenue* de Robert Breer. Le montage faisant se succéder des images très différentes produit du papillotement (flicker). (Image C. Boust).**



**Figure 3 : En ligne, cinq photogrammes du film *Vincit Veritas* de reMI (2002) ; en colonnes, les trois versions numérisées par trois étalonneurs différents. Les couleurs ne sont pas identiques entre étalonneurs et ne sont pas non plus proches du photogramme argentique original (image M. Dubail).**

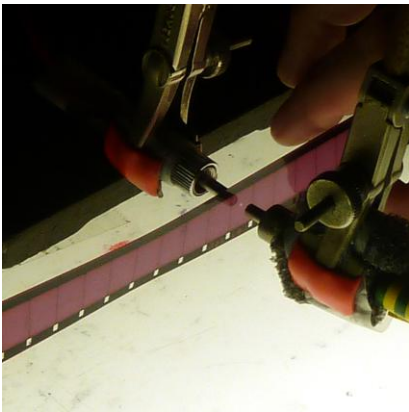


Figure 4 : Mesures spectrocolorimétriques par transmission (image C. Boust).

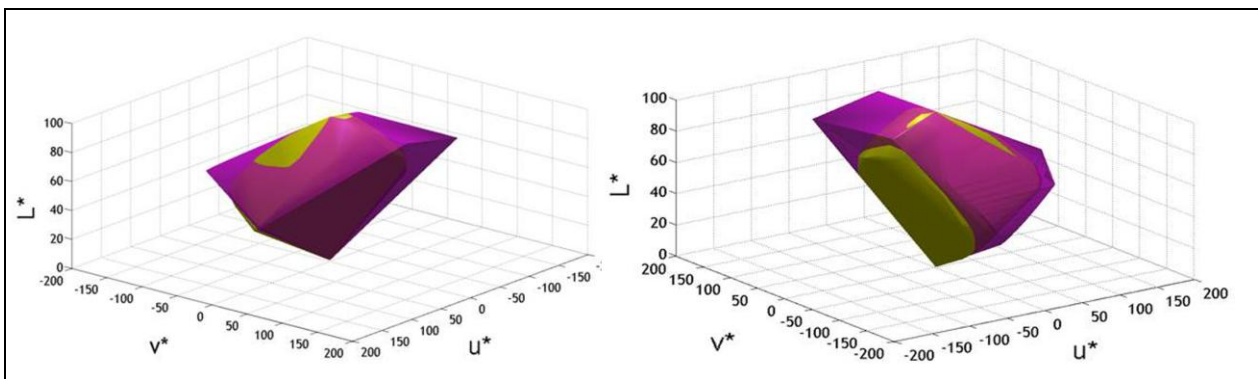


Figure 5 : En jaune : gamut d'un film argentique (c'est-à-dire ensemble des couleurs reproductibles) ; en violet : gamut d'un écran à tube cathodique (dit CRT). (Image M. Dubail).

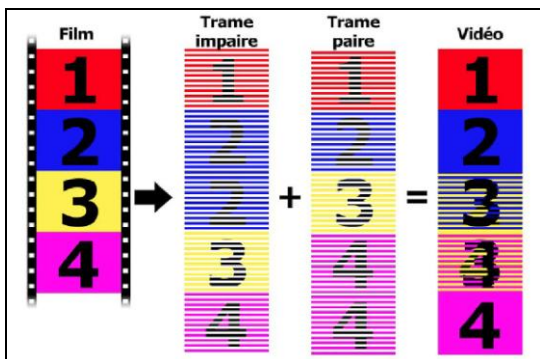


Figure 6 : Exemple d'entrelacement : invention d'une nouvelle image à partir de 4 photogrammes (source M. Dubail).



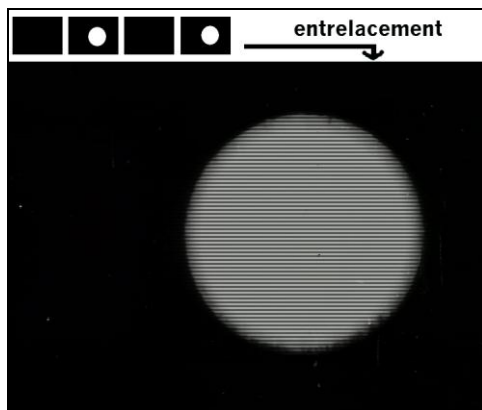


Figure 7 : Arrêt sur image du film *Artype* de George Maciunas (1966) numérisé avec entrelacement. Le cercle blanc sur fond noir a été transformé en cercle blanc à rayures grises par le format de fichier MPEG 2, qui était la norme il y a 15 ans (image C. Boust).



Figure 8 : Image fantôme d'écran LCD, ou *ghosting* (source : lesnumeriques.com)



Tableau 1 : Liste des films sélectionnés dans la collection du musée national d'Art moderne – Centre Pompidou.

	ANNEE	DUREE (mn)	FORMAT (mm)		N&B ou Couleur		effet visuel
CONRAD Tony & Beverly, Straight and Narrow	1970	10	16		NB		couleurs subjectives
GRANT Dwinell, Color Sequence	1943	2,3	16			Couleur	couleurs
MACIUNAS George, Fluxfilm n° 20 ARTYPE (pts)	1966	4,2	16		NB		couleurs subjectives
SHARITS Paul, T, O, U, C, H, I, N, G	1968	12	16			Couleur	post couleurs
BREER Robert, Sparkill Ave	1992	5,24	16			Couleur	flicker, couleur
BREER Robert, Rubber Cement	1974	9,5	16			Couleur	flicker, couleur
SHARITS Paul, Flux film n° 29 WORDMOVIE	1966	4	16			Couleur	flicker
MAC LAREN Norman, Synchrony	1971	7,3		35		Couleur	couleur
BREER Robert, Noël BURCH (texte), Recreation	1956	1	16			Couleur	flicker, couleur
MAC LAREN Norman, Stars And Stripes	1940	2,05		35		Couleur	flicker, couleur
CONRAD Tony, The Flicker	1966	30	16		NB		flicker
LOWDER Rose, Bouquets	1994	11	16			Couleur	flicker, couleur

Tableau 2 : Formats d'images argentiques et numériques

Catégories	Format	Ratio
Cinéma argentique	16 mm	1.33 /1
	35 mm	1.33 /1
	35 mm standard USA	1.85 /1
	35 mm cinémascope	2.35:/1
	70 mm	2.2 /1

Catégories	Format	Ratio	Définition en pixels
Vidéo numérique	SD PAL	4/3	768 x 576
Vidéo numérique	HD	16/9	1920 x 1080
Cinéma numérique	2K	1/1,32	2048 x 1556
Cinéma numérique	4K	1/1,32	4096 x 3112