

LABORATOIRES DE TRAPPES
29 avenue Roger Hennequin – 78197 Trappes Cedex
Tél. : 01 30 69 10 00 - Fax : 0 30 69 12 34

Tenue dans le temps des disques enregistrables DVD±R et DVD en verre (SYYLEX) à température et hygrométrie élevées

Recherche sur la conservation des archives numériques dans le cadre du GIS DON

Auteur : Jacques PERDEREAU

Juin 2012

Financement :

Laboratoire National de Métrologie et d'Essais

R&D N° 202 / 2009

Référence LNE :

Contrat EAF 4305 /2009

SOMMAIRE

1. PRESENTATION DE L'ETUDE	3
1.1. CONTEXTE	3
1.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	3
1.3. SCHEMA DE L'ETUDE.....	3
2. LES REFERENCES DE DVD.....	4
2.1. DVD ENREGISTRABLES ORGANIQUE	4
2.2. DVD GLASSMASTERDISC	5
2.3. DVD+R INORGANQUES	5
3. EVALUATION DE LA QUALITE DE GRAVURE DES DVD.....	5
3.1. PARAMETRES D'ANALYSE.....	5
3.2. ANALYSEURS ET VITESSES D'ANALYSE	6
4. CONDITIONS DU VIEILLISSEMENT	6
5. RESULTATS DES ESSAIS DE VIEILLISSEMENT ACCELERE.....	7
5.1. DVD±R.....	8
5.2. DVD GLASSMASTERDISC	8
5.3. DVD+R INORGANQUES	8
5.4. SYNTHESE DE L'ESSAI DE VIEILLISSEMENT ACCELERE.....	9
6. CONCLUSION	9
ANNEXE 1 : PARAMETRES MESURES.....	10

1. PRESENTATION DE L'ETUDE

1.1. CONTEXTE

Les disques optiques sont largement utilisés pour la diffusion des œuvres (musiques, films,...) et l'archivage des données numériques. Plusieurs études et surtout le rapport de l'Académie des Sciences et de l'Académie des Technologies intitulé « Longévité de l'information numérique » montrent que les différents supports de l'information numérique (disques durs, bandes magnétiques et disques optiques numériques) peuvent avoir des durées de vie nettement plus courtes que celles données par les fabricants. Ce rapport préconise d'étudier d'autres solutions technologiques dédiées à la conservation des données numériques sur le long terme.

C'est dans le cadre de cette préconisation que le conseil scientifique du GIS-DON (Groupement d'Intérêt Scientifique sur les Disques Optiques Numériques) a souhaité étudier la tenue dans le temps d'un disque optique numérique DVD en verre GlassMasterDisc développé par la société SYYLEX.

1.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE

La présente étude vise à comparer la tenue dans le temps des DVD GlassMasterDisc SYYLEX à celle des DVD±R à couche enregistrable organique ou inorganique. La potentialité de cette technologie en terme d'aptitude à conserver les informations numériques sur le long terme pourra ainsi être évaluée.

Pour étudier l'évolution de ces disques dans le temps, il est nécessaire d'accélérer leur vieillissement naturel. Pour ce faire, les DVD sont soumis à des conditions climatiques sévères en température et humidité. La dégradation des disques dans le temps peut être ainsi évaluée pour une durée d'exposition maximale de 1000 heures. La durée de vie des différents DVD, pour ces conditions, est déterminée en mesurant l'évolution du nombre de données numériques enregistrées erronées.

1.3. SCHEMA DE L'ETUDE

La tenue dans le temps des DVD GlassMasterDisc ne peut être évaluée que par comparaison. Les DVD enregistrables qui sont choisis comme éléments de comparaison sont soit réputés comme ayant une bonne tenue dans le temps, cas des DVDR utilisant une couche enregistrable inorganique, soit ont montré une bonne tenue en vieillissement accéléré (80°C et 85% HR) dans les études LNE précédentes.

Les DVD sont placés dans une enceinte climatique dans des conditions dites sévères en température et humidité pour une durée maximale de 1000 heures et ceci par tranches de 250 heures. Le DVD GlassMasterDisc étant en verre, la température a été choisie égale à 90 °C, soit 10 °C de plus que pour les études précédentes, tout en maintenant l'humidité relative à 85%.

Les taux d'erreurs des DVD sont mesurés au début de l'étude et après chaque durée d'étuvage de 250 Heures.

La fin de vie des DVD correspond à un taux d'erreur dépassant les limites normalisées ou à l'illisibilité du disque.

L'étude s'est déroulée de 2010 à 2012.

2. LES REFERENCES DE DVD

2.1. DVD ENREGISTRABLES ORGANIQUE

Quatre modèles de DVDR ont été choisis en fonction de leur tenue dans le temps au cours de tests antérieurs, effectués dans des conditions moins sévères à 80°C et 85% HR .

Cinq échantillons par modèle ont été gravés dans des conditions assurant un taux d'erreur initial très faible pour tous les disques.

Références de DVD+R et DVD-R étudiées

N°	Marque	Type	Modèle	Couche métallique	Code d'identification du fabricant	Durée de vie à 80°C et 85% HR
1	MPO	DVD+R	Gold	Or	MPOMEDIA 0080 (MPO)	1500 h
2	VERBATIM	DVD-R	« Standard »	Or	MCC 03RG20 (Mitsubishi)	1500 h
3	MAXELL	DVD+R	« Standard »	Argent	YUDEN000 T03 (Taiyo Yuden)	500 h
4	VERBATIM	DVD-R	Archival Grade	Or+Argent	MCC 02RG20 (Mitsubishi)	750 h



DVD+R MPO GOLD



DVD-R VERBATIM



DVD-R VERBATIM Archival



DVD+R MAXELL

2.2. DVD GLASSMASTERDISC

Les DVD GlassMasterDisc sont réalisés en gravant les informations numériques dans du verre: Ils ont été gravés par la société SYYLEX . Six échantillons ont été étudiés



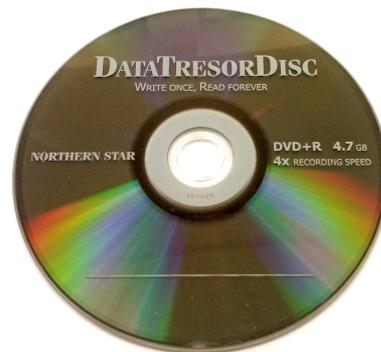
DVD GlassMasterDisc

2.3. DVD+R INORGANIQUES

Les deux modèles étudiés M-DISC (MILLENNIATA) et DataTresorDisc (NORTHERN STAR) utilisent une couche enregistrable composée soit de métal/oxyde métallique soit de métal/céramique.



DVD+R M-DISC (MILLENNIATA)



DVD+R DataTresorDisc (NORTHERN STAR)

Trois échantillons de chaque modèle ont été étudiés.

3. EVALUATION DE LA QUALITE DE GRAVURE DES DVD

3.1. PARAMETRES D'ANALYSE

La qualité de gravure d'un DVD est évaluée en fonction de trois types de paramètres (voir annexe 1) :

- paramètres du signal HF (amplitude, contraste et jitter),
- erreurs numériques (PI8, POF,...),
- paramètres du signal d'asservissement (focalisation, suivi de piste,...)

Dans le cadre de l'estimation des durées de vie, la normalisation (norme ECMA 396) ne retient que les erreurs numériques et plus particulièrement les erreurs de type PI8.

3.2. ANALYSEURS ET VITESSES D'ANALYSE

La qualité des DVD est évaluée au moyen de deux systèmes d'analyse :

- Un analyseur de la société *Audio Development* (modèle CATS DVDR Pro - version logicielle 3.20 SP1). En plus des paramètres d'erreurs numériques, l'analyseur CATS délivre des informations caractéristiques du signal HF provenant de la tête de lecture (signal optique) et des signaux d'asservissement servant au guidage et à la focalisation précise du faisceau laser. Il s'agit d'un équipement de référence. Il réalise des analyses à la vitesse de lecture 1x.
- Un analyseur de la société *Clover* (modèle DVX robotisé – version 3.0.7). L'analyseur Clover permet des analyses (taux d'erreur numérique) jusqu'à la vitesse de lecture 16x.

On a réalisé, pour chacun des disques, une mesure des erreurs numériques pour les conditions d'analyse suivantes :

- Analyseur CATS en lecture à la vitesse 1x
- Analyseur Clover en lecture à la vitesse 8x

Les DVD+R inorganiques ne sont pas lisibles avec l'analyseur Clover (problème de compatibilité avec le lecteur Plextor utilisé). Les analyses ont donc été faites uniquement avec l'analyseur CATS pour les deux modèles concernés.

4. CONDITIONS DU VIEILLISSEMENT

L'étude de la dégradation dans le temps des disques gravés n'est guère possible dans les conditions climatiques normales de conservation. En effet, cette dégradation est normalement très lente et son appréciation nécessiterait des observations sur des durées de plusieurs années. C'est pourquoi, on étudie l'évolution des disques dans des conditions climatiques sévères (température 90°C, degré d'hygrométrie relative de 85%). Ces conditions sévères induisent une accélération des transformations physico-chimiques à l'origine de la dégradation des disques. Le facteur d'accélération est d'autant plus élevé que les conditions sont sévères.

L'essai de vieillissement accéléré a été effectué au total sur 1000 heures pour les DVD les plus résistants. On a opéré par palier de 250 heures avec des analyses entre chaque palier.

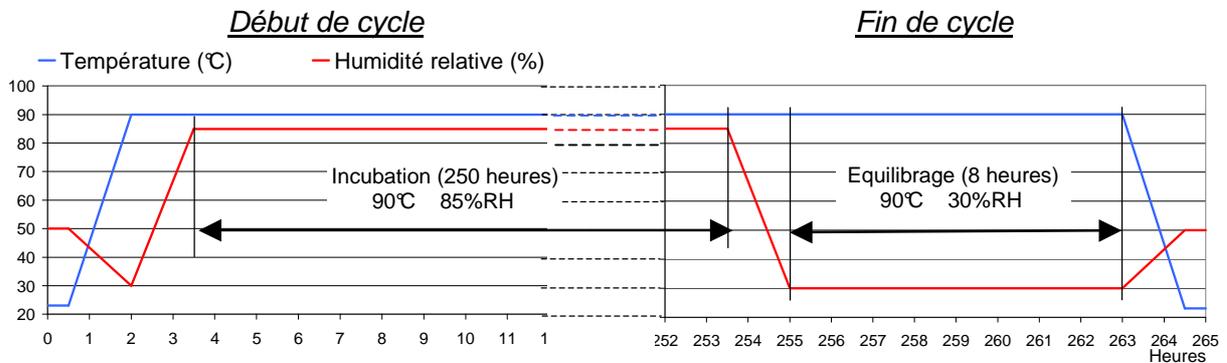
Les disques sont placés dans une enceinte climatique programmable en température et hygrométrie CLIMATS type Excal 5423-HE.



- DVD sur support dans l'enceinte climatique Climats-

Afin de faire les analyses intermédiaires, on doit retirer les disques de l'enceinte. Pour cela on doit revenir progressivement aux conditions climatiques normales. En effet, afin d'éviter la formation de bulles d'eau dans le polycarbonate, il est nécessaire de « purger » le polycarbonate de l'eau qu'il a absorbée à température élevée. Pour cela, le taux d'humidité est d'abord diminué jusqu'à 30% tout en maintenant la température à 90°C. Un palier dit « d'équilibrage », d'une durée de 8 heures, est ensuite effectué, en maintenant toujours la température de 90°C. Les graphiques ci-dessous montrent l'évolution de la température et du degré hygrométrique au début et à la fin d'un cycle de 250 heures à 90°C et 85% d'humidité.

Profil de Température-Hygrométrie pour une exposition de 250 heures à 90°C et 85%RH



- Cycle de vieillissement accéléré -

5. RESULTATS DES ESSAIS DE VIEILLISSEMENT ACCELERE

Les résultats sont données ci-après par type de disque.

La fin de vie du DVD correspond à l'une des conditions suivantes

- PI8 (moyenne sur le disque) est supérieur à 280,
- ou présence d'erreurs incorrigibles POF,
- ou illisibilité partielle ou totale du DVD.

Il suffit qu'une de ces conditions soit satisfaite avec un des deux analyseurs pour que le disque soit considéré comme "mort".

5.1. DVD±R

DVD+R n°1 MPO

Les erreurs augmentent régulièrement en fonction de la durée d'exposition. Les erreurs sont homogènes sur tout le disque. Les erreurs PI8 dépassent le seuil de 280 ou les disques ne sont pas complètement lisibles après une exposition de 500 heures. Pour les disques lisibles, le jitter passe de 9 à 10% entre T0 et T0+500 heures.

La durée de vie retenue pour le **DVD+R MPO** est : **250 heures**.

DVD-R n°2 Verbatim

Après 250 heures d'exposition, les erreurs sur les disques ainsi que le jitter dépassent les limites et plusieurs disques sont illisibles ou ont des erreurs incorrigibles.

Ce modèle de DVD avait la plus longue durée de vie pour les conditions climatiques de 80°C et 85% HR (1500 heures). Pour 90°C, il est détruit dès le premier cycle de 250 heures.

La durée de vie retenue pour le **DVD-R Verbatim** est : **inférieure à 250 heures**.

DVD+R n°3 Maxell

Après 250 heures d'exposition, quatre disques sur cinq sont illisibles.

La durée de vie retenue pour le **DVD+R Maxell** est : **inférieure à 250 heures**.

DVD-R n°4 Verbatim Archival

Seul un des cinq disques est illisible après 250 heures d'exposition. Pour les quatre autres disques les erreurs PI8 sont supérieures à la limite de 280 et le DC jitter reste inférieur à 10%.

La durée de vie retenue pour le **DVD-R Verbatim Archival** est : **inférieure à 250 heures**

5.2. DVD GLASSMASTERDISC

Les 6 disques sont lisibles après 1000 heures d'exposition. Le taux d'erreur PI8 moyen sur le disque passe de 4,9 à T0 à 6,7 à T0+1000 heures. Le DC jitter passe de 7,2 à 7,3. Il n'y a pas d'erreur incorrigible. Le disque n'a donc pratiquement pas évolué après 1000 heures d'exposition à 90°C et 85% d'humidité relative.

La durée de vie retenue pour le **DVD GlassMasterDisc** est : **supérieure à 1000 heures**.

5.3. DVD+R INORGANIQUES

M-disc

Après 250 heures d'exposition les disques M-DISC présentent un taux d'erreur PI8 supérieur à la limite puisqu'il atteint la valeur moyenne de 870. Le DC jitter est de 11,8%. Les disques sont illisibles après 500 heures d'exposition.

La durée de vie retenue pour le **DVD+R M-DISC** est : **inférieure à 250 heures**.

DataTresorDisc

Après 250 heures d'exposition le taux d'erreur PI8 moyen sur le disque atteint 161. Le DC jitter atteint 11,3 %. Les disques Data Tresor Disc sont illisibles après 500 heures d'exposition.

La durée de vie retenue pour le **DVD+R DataTresorDisc** est : **250 heures**.

5.4. SYNTHÈSE DE L'ESSAI DE VIEILLISSEMENT ACCELERÉ

Les durées de vie des différents DVD pour les conditions climatiques de 90°C et 85% HR sont données dans le tableau ci-après :

Vieillessement accéléré 90°C 85% HR		Durée de vie (heures)				
Marque	Modèle	0	250	500	750	1000
MPO	DVD+R Gold					
Verbatim	DVD-R		< 250 h			
Maxell	DVD+R		< 250 h			
Verbatim	DVD-R Archival		< 250 h			
Syylex	DVD GlassMasterDisc					> 1000 h
Millenniata	DVD+R M-Disc		< 250 h			
Northern Star	DVD+R Data tesor disc					

Parmi les sept modèles étudiés seul le GlassMasterDisc résiste à 1000 heures d'exposition à 90°C et 85% d'humidité relative. Son taux d'erreur PI8 n'ayant pas évolué de façon significative après 1000 heures d'exposition. Sa durée de vie est donc supérieure à 1000 heures soit supérieure à 4 fois celle des meilleures DVD±R (MPO modèle DVD+R Gold et Northern Star modèle DataTresorDisc).

Les DVD+R à couche enregistrable inorganique M-Disc et DataTresorDisc ne présentent pas une durée de vie supérieure à celle des DVD±R classiques.

6. CONCLUSION

L'objectif de cette étude était d'étudier la tenue dans le temps du DVD en verre GlassMasterDisc de la société Syylex dans des conditions climatiques très sévères (température 90°C et humidité relative 85%) et montrer ainsi le potentiel de cette technologie pour l'archivage des données numériques. En l'absence de référence absolue, les DVD GlassMasterDisc ont été étudiés en comparaison des différents modèles de DVD±R enregistrables présents sur le marché.

Il ressort de cette étude, qu'en vieillissement accéléré (à 90°C et 85% HR) le DVD GlassMasterDisc a une durée de vie nettement supérieure à celle des DVD±R existants sur le marché qu'ils soient avec une couche enregistrable organique ou inorganique. En effet après 1000 heures d'exposition dans ces conditions climatiques très sévères, le DVD GlassMasterDisc ne présente pas d'évolution significative de qualité alors que le meilleur des autres modèles de DVD±R a une durée de vie maximale de 250 heures.

Le DVD GlassMasterDisc présente donc le meilleur potentiel, parmi les DVD enregistrables existants sur le marché, pour réaliser un archivage longue durée des données numériques.

ANNEXE 1 : PARAMETRES MESURES

Paramètres liés aux erreurs numériques

En lecture du disque, le signal HF délivré par la tête de lecture est décodé afin d'en extraire l'information numérique. Le codage numérique à l'enregistrement est redondant de façon à permettre la correction de certaines erreurs qui sont inévitables lors de ce décodage. Le décodage s'effectue par blocs (ECC) comprenant 37 856 octets rangés en 208 lignes de 182 octets chacune. Il existe deux niveaux successifs de correction des erreurs numériques :

- Correction ligne par ligne, lorsque le nombre d'octets erronés dans une ligne est inférieur à 3,
- Correction colonne par colonne, lorsque le nombre d'octets erronés dans une colonne est inférieur à 3.

En lecture à la vitesse 1x, la durée d'un bloc ECC est d'environ 0,02 secondes. Chaque seconde du signal comprend ainsi environ 42 blocs ECC.

On retient deux indicateurs PI8 et POF dont les définitions sont les suivantes :

PI8 (Parity Inner Sum 8)	Nombre de lignes erronées dans une succession de 8 blocs ECC. Sa valeur maximale possible est 1664. La valeur maximale recommandée est de 280. Le PI8 peut être moyenné sur une durée quelconque (supérieure à 0,02 secondes).
POF (Parity Outer Fails)	Nombre de colonnes non corrigeables (plus de 2 octets faux) dans un bloc. On peut mesurer le nombre total de POF sur une durée quelconque, éventuellement la totalité du disque.

La présence de POF sur un disque indique la perte de données, les codes correcteurs étant insuffisants pour retrouver l'intégralité des données.

Paramètres liés à l'asservissement de la tête de lecture

Ces paramètres sont mesurés uniquement en lecture à la vitesse 1x. Ils sont obtenus par analyse des signaux d'asservissement qui assurent le suivi de piste et la bonne focalisation du faisceau laser.

On a retenu trois paramètres décrits dans le tableau ci-dessous.

Radial1	Déplacement radial (nm) Mesure du signal de déplacement du système de suivi de piste (tracking) pour les fréquences inférieures à 1,1 kHz.
Radial2	Déplacement radial (nm) Mesure du signal de déplacement du système de suivi de piste (tracking) pour les fréquences comprises entre 1,1 et 10 kHz.
FE	Focus Error (µm) Mesure du signal de déplacement du système d'asservissement dans sa direction verticale (focalisation), pour les fréquences inférieures à 10 kHz.

Paramètres d'intensité et de contraste du signal HF

Ces paramètres sont mesurés uniquement en lecture à la vitesse 1x. Le signal HF est modulé par les traits gravés sur le sillon dont la longueur code l'information numérique. Les différents traits gravés (pits) et les espaces les séparant (lands) ont des longueurs qui peuvent prendre 10 valeurs multiples d'une même valeur élémentaire : 3T, 4T, 5T, 6T, 7T, 8T, 9T, 10T, 11T, 14T. En lecture à la vitesse 1x, T est égal à 38,2 ns : La modulation associée aux pits et lands les plus courts (modulation 3T) correspond à la fréquence 4,36 MHz, celle associée aux pits et lands les plus longs (modulation 14T) correspond à la fréquence 0,93 MHz.

On a retenu trois paramètres (R14H, I3/I14, I14/I14H) caractérisant les amplitudes des modulations du signal HF. L'analyseur mesure la valeur moyenne de ces paramètres sur des périodes élémentaires de 1 seconde.

R14H	Réflectivité : Intensité de la lumière réfléchie par les lands 14T, par comparaison à un réflecteur de référence. La valeur minimale exigée est de 45%.
I14/I14H	Amplitude de la modulation 14T par rapport au niveau maximal du signal HF. La valeur minimale exigée est de 0,6.
I3/I14	Amplitude de la modulation 3T par rapport à celle de la modulation 14T. La valeur minimale exigée est de 0,15.

Le paramètre I14/I14H quantifie le contraste entre les zones brûlées (pits) et les zones non brûlées (lands) de plus grande longueur. Le rapport des modulations 3T et 14T (I3/I14) est très inférieur à 1 car le faisceau laser du lecteur couvre une longueur supérieure à celle des zones 3T.

Paramètres liés au positionnement des zones brûlées

On a retenu également des paramètres liés au positionnement et aux longueurs des zones brûlées et non brûlées. Ces paramètres sont décrits dans le tableau ci-dessous et sont mesurés par période élémentaire soit de 1 seconde (SYM), soit de 30 secondes (Jitter et Déviations).

ASYM	<p>Asymétrie. C'est l'écart entre les valeurs moyennes (offset) associées aux modulations 3T et 14T, par rapport au niveau maximal du signal HF.</p> <p>La valeur optimale de ce paramètre est légèrement positive. Les limites recommandées sont -5% et +15%</p>
DC Jitter	<p>Jitter to clock</p> <p>C'est l'écart-type des positions des transitions du signal HF par rapport aux tops d'horloge. Il est exprimé en % de la cadence d'horloge.</p> <p>Le DC jitter intègre à la fois des écarts systématiques associés à chaque type de transition (par exemple Land 3T vers Pit 11T) et des écarts aléatoires.</p> <p>La valeur maximale exigée est de 9%.</p>

L'asymétrie prend des valeurs négatives lorsque les pits 3T sont insuffisamment brûlés et des valeurs négatives dans le cas contraire. Ce paramètre est lié à la puissance du laser lors de la gravure. Cette puissance est normalement ajustée en cours de gravure pour que la valeur de l'asymétrie reste proche de zéro.

Le DC Jitter est assez directement lié aux erreurs numériques, car tout écart d'une transition supérieur à 50% de la cadence d'horloge génère une erreur dans le décodage numérique.