

LAM



Dégradations des disques optiques

Réponses pouvant être apportées

Jean-Marc Fontaine

UPMC / Institut Jean le Rond d'Alembert – MCC - CNRS

LAM - 11, rue de Lourmel 75015 Paris

jean-marc.fontaine@upmc.fr

La perte de données du fait de la défaillance du support est généralement imprévisible pour l'utilisateur qui ne dispose ou n'utilise pas d'outils révélant des indices précurseurs. Toutefois, dans le cas du disque optique, l'observation peut révéler des défauts de fabrication, des séquelles d'agression ou bien encore des effets de vieillissement. Quelques (rares) actions pouvant limiter la perte de données seront mentionnées. Les capacités d'un lecteur (driver) à extraire des données issues de disques endommagés seront illustrées dans le domaine de disques audio.

A propos de l'estimation de la longévité des DON, nous présenterons les premières tendances résultants de tests expérimentaux en cours sur des disques de nouvelle génération Blu-ray (BD-R).

La réalisation d'un disque conçu délibérément pour assurer la pérennité des informations à très long terme sera enfin évoquée : le Century-Disc.

1. Défauts pouvant être observés - réponses pouvant être apportées

- Le DON : un support complexe, rappel des spécificités des 3 formats CD-R, DVD-R, BD-R.
- De quels indicateurs apparents de défauts et de dégradation des disques disposons-nous ?
- Quelles solutions pouvons-nous envisager pour pallier certaines défaillances ?

2. Le lecteur permet parfois de compenser certaines défaillances du disque

Exemple de lecteurs audio

3. Expérimentation portant sur le vieillissement du Blu-ray (BD-R) : quelques résultats préliminaires et commentaires

4. Le Century-Disc

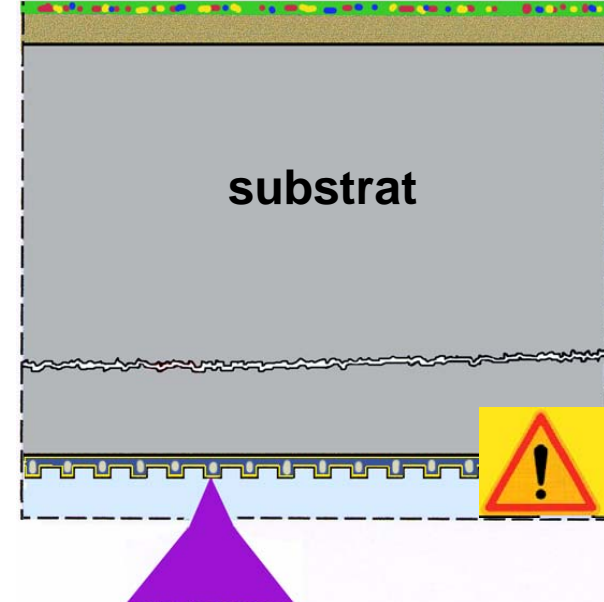
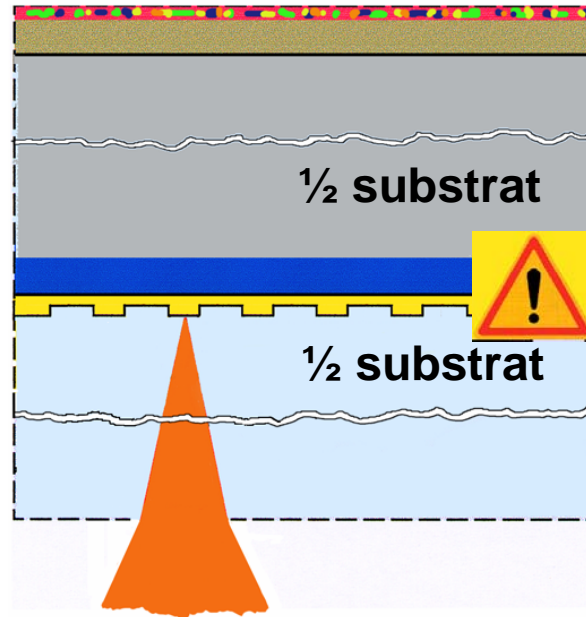
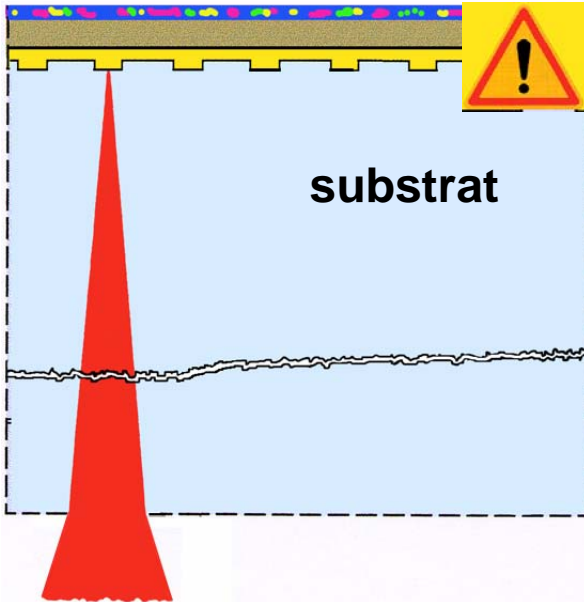
Ce disque de verre gravé représente un exemple rare de fabrication spécifique d'un disque destiné à une très longue conservation (JMF-JJW)

La structure et la composition de la couche sensible déterminent des risques spécifiques de chaque type de disque

COMPACT
disc

DVD

Blu-ray Disc



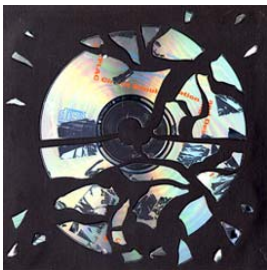
CD-R
Colorant (dye)

DVD±R
Colorant (dye)

BD-R
Colorant (dye)
ou Métal

Le substrat polycarbonate

- Le substrat doit associer les qualités mécaniques et optiques répondant aux exigences que la lecture des informations par le système optique impose, ainsi par exemple des qualités de planéité et de transparence. Des défauts de fabrication conduisent parfois à un phénomène de biréfringence (déviation localisée du faisceau) décelable uniquement par des moyens d'analyses spécifiques. Bien que rare, la présence intempestive de corps étrangers (bulles, particules,...) doit être signalée.
- La longévité des disques CD et DVD, dépend de l'aptitude du substrat à protéger la couche sensible et le film métallique de l'action chimique provoquée par des agents environnementaux (eau, oxygène, polluants,...). Les phénomènes de vieillissement approchés par simulation climatique mettent en évidence l'importance de la cinétique de diffusion de molécules dans la couche de polycarbonate.
- Le substrat des disques BD n'est pas traversé par le rayon laser, les qualités requises de ce composant concernent essentiellement les propriétés dimensionnelles et mécaniques (planéité, excentricité,...) qui doivent respecter un cahier des charges extrêmement rigoureux et naturellement rester stables dans le temps. Les exigences inhérentes à la propagation du rayon laser incombent à une mince couche dont il sera question ci-dessous.



éclatement



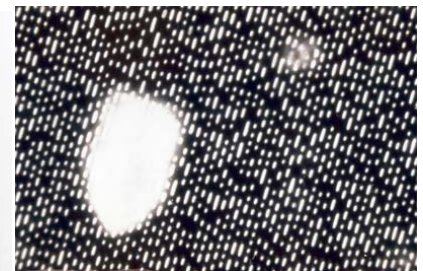
fissure



excentricité



contact solvant



corps étranger⁴

Le substrat polycarbonate, état de surface

Toute atteinte de l'état de surface de la couche transparente perturbe le passage du rayon laser. Il est possible d'y remédier dans bien des cas.

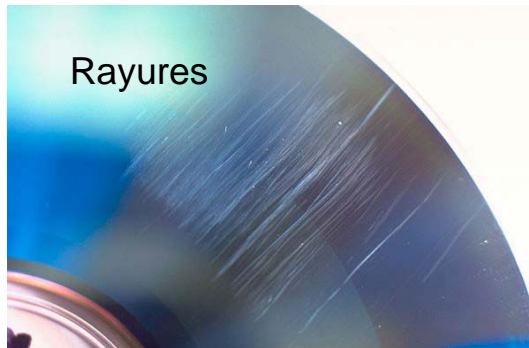
- Les salissures (traces de doigts, fumée de cigarette, poussière,...) peuvent être éliminées, avec précaution pour éviter toute agression mécanique ou chimique du support.
- Les rayures (peu profondes) peuvent être atténuées, éliminées par ponçage : différents systèmes sont disponibles : kit grand public, système de ponçage professionnel. Seuls les formats CD et DVD peuvent faire l'objet de telles interventions. La couche fine des Blu-ray n'autorise aucune intervention de ce type.

Traitement des rayures

Des kits destinés au grand public proposent un nécessaire de polissage (feuilles de papier, liquide abrasif, mécanisme de ponçage,...)



Appareils professionnels



Réaction chimique avec pochette plastique



Empreinte digitale

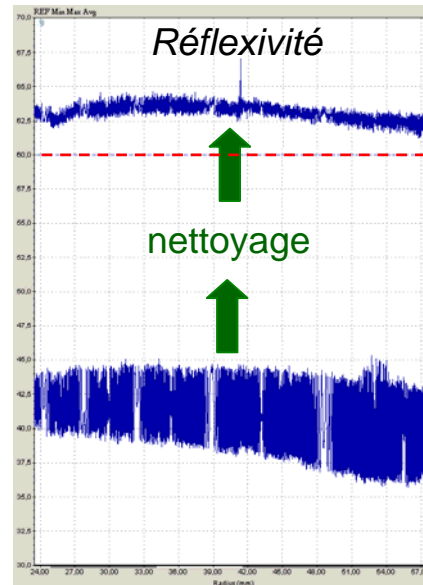
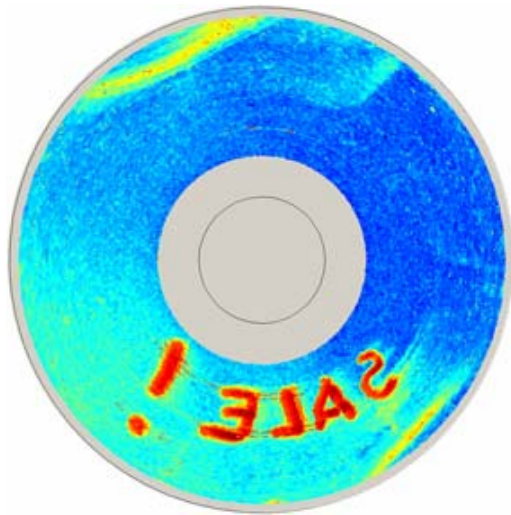


Moisissures superficielles

Substrat transparent - poussière

Cet exemple d'analyses effectuées sur un disque (CD-R) recouvert de poussière puis nettoyé nous renseigne sur la pertinence des indicateurs à partir desquels la notion de qualité est définie. Bien qu'il ait perdu une grande partie de ses qualités de réflexion (avec pour conséquence une forte diminution de l'intensité du signal électrique de lecture), le disque recouvert de poussière ne produit pas d'erreurs notables. L'évaluation des taux d'erreurs n'est pas suffisant pas pour caractériser l'état d'usage d'un disque, d'autres paramètres doivent être examinés.

Intensité du signal (I11)

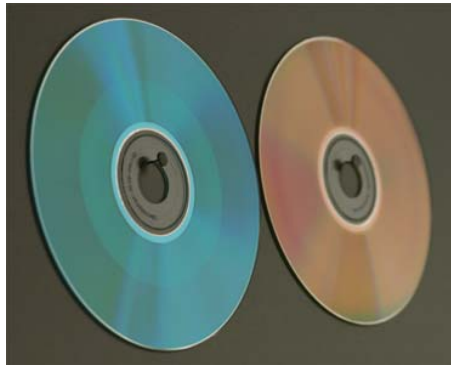


Quantification de l'amélioration des propriétés de réflexion par nettoyage du CD



La couche sensible

La couche sensible des disques enregistrables concentre les plus grandes préoccupations vis-à-vis des phénomènes susceptibles de provoquer la perte de données. La méconnaissance des formulations (dont les variantes sont infinies) et des mécanismes détaillés du marquage de la couche sensible par le rayon laser ne permettent pas de prétendre à une estimation formelle de durée de vie de l'information. La sélection de disques d'archivage, le suivi longitudinal de comportement de ceux-ci s'appuyant sur des analyses telles que celles évoquées, de telles dispositions apportent les garanties nécessaires à la préservation de l'information.



Exemple de décoloration du dye accompagnant la perte de données suite à l'exposition à la lumière

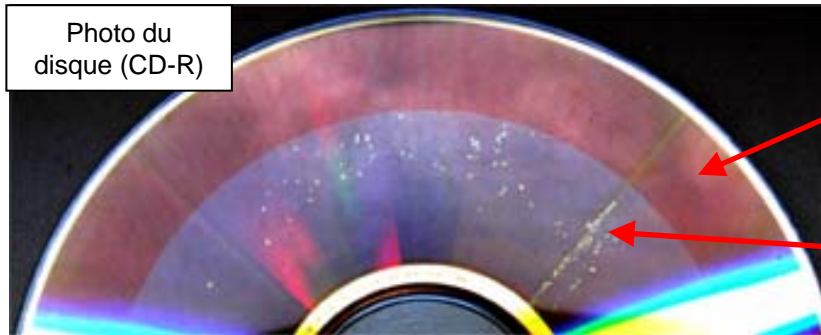
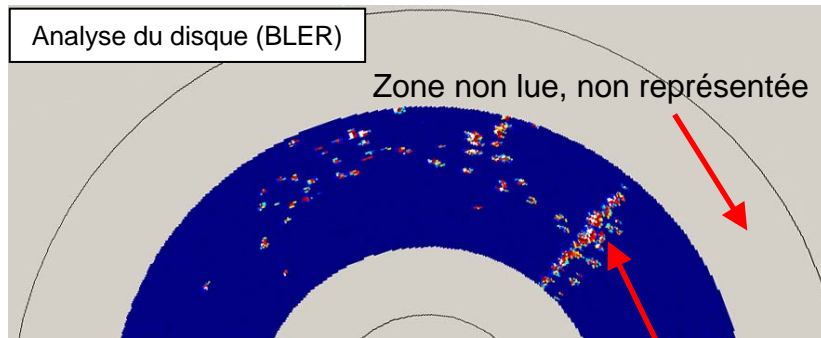


Photo du disque (CD-R)

La zone non irradiée par le rayon laser reste intacte : défaut indétectable avant gravure

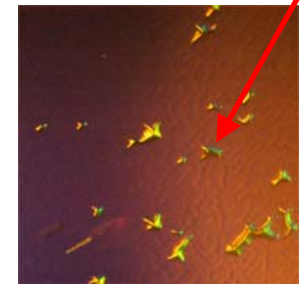
La décomposition du dye défectueux a engendré des dégagements gazeux : formation de cloques



Analyse du disque (BLER)

Zone non lue, non représentée

Taux d'erreurs provoqués par le phénomène

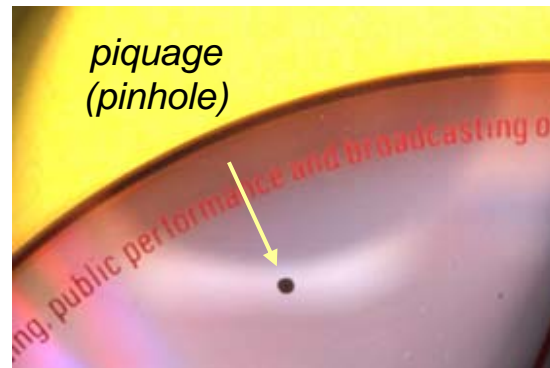


Représentation d'un défaut de fabrication par les taux d'erreurs.

La couche métallique

- Des incidents survenus lors de la phase de métallisation peuvent conduire à les lacunes (pinholes)
- Dès que la couche de protection (format CD) n'assure plus l'étanchéité vis-à-vis de l'humidité, l'oxydation se produit (Ag, alliages)
- Toute altération de la capacité de réflexion (oxydation, de la couche réfléchissante (oxygène, humidité, moisissure, pollution, blessure...) conduit à une perte d'information.

- Argent
- Or
- Alliages



Moisissure (tranche du disque non protégée)



Exposition de la couche métallique aux agents extérieurs en l'absence (accidentelle dans ce cas) de la couche de protection

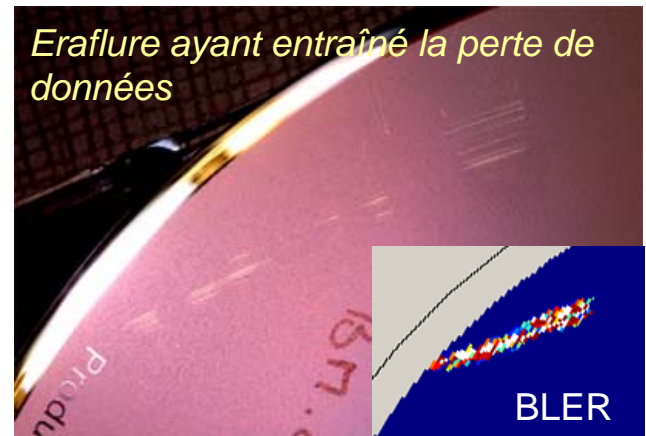
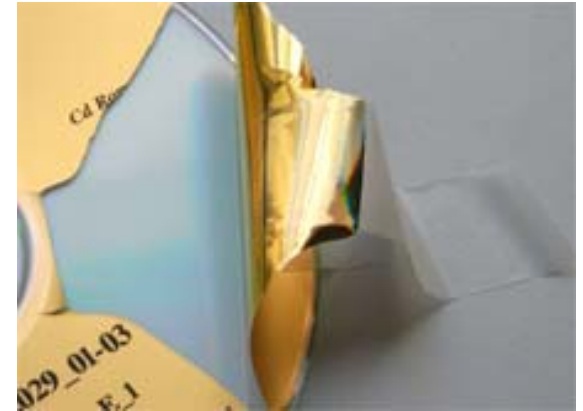


La couche de protection (CD-R)

Alors que la couche active du DVD est protégée par une paroi d'épaisseur conséquente (600 microns), la couche active des CD ne bénéficie que d'une protection très réduite : de l'ordre de 15 microns, cette épaisseur n'est pas normalisée. Des précautions doivent être prises pour éviter les agressions ...

- Les défauts d'adhérence des disques CD-R peuvent être mis en évidence par un test pratiqué avec un ruban adhésif. (pelage ou peeling) afin de rejeter les disques qui risqueraient de présenter des défauts de délaminage.
- Des éraflures provoquées par des manipulations maladroites, des conditionnements défectueux, peuvent avoir des conséquences désastreuses pour les informations (destruction de l'information révélée ici par les taux d'erreurs).
- Les caractéristiques physico-chimiques de la couche de protection peut évoluer sous l'action de facteurs climatiques, de la lumière,... et voir ses propriétés initiales compromises avec le temps.

Phénomène de délaminage



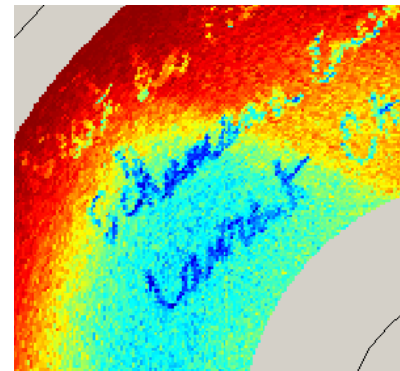
Effet de jaunissement de la couche de protection d'un disque (pressé dans cet exemple) exposé à la lumière

La couche de protection (CD-R) marquage

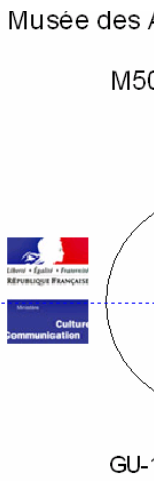
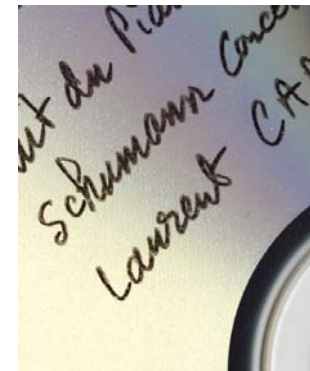


- Critique surtout pour les CD-R
- Impression jet d'encre : acceptée
- Marquage manuel : zone centrale de préférence, marqueur dédié (sans solvant agressif), légère pression

L'influence du marquage est illustrée par l'exemple paradoxal observé sur ce disque très dégradé : l'encre a localement "protégé" la couche de protection, donc la couche active. L'efficacité, la stabilité chimique de la couche de protection constitue, ici aussi, une variable imprévisible pour l'utilisateur.



Taux d'erreurs (E31)



La couche de protection (CD-R) Etiquette adhésive d'impression

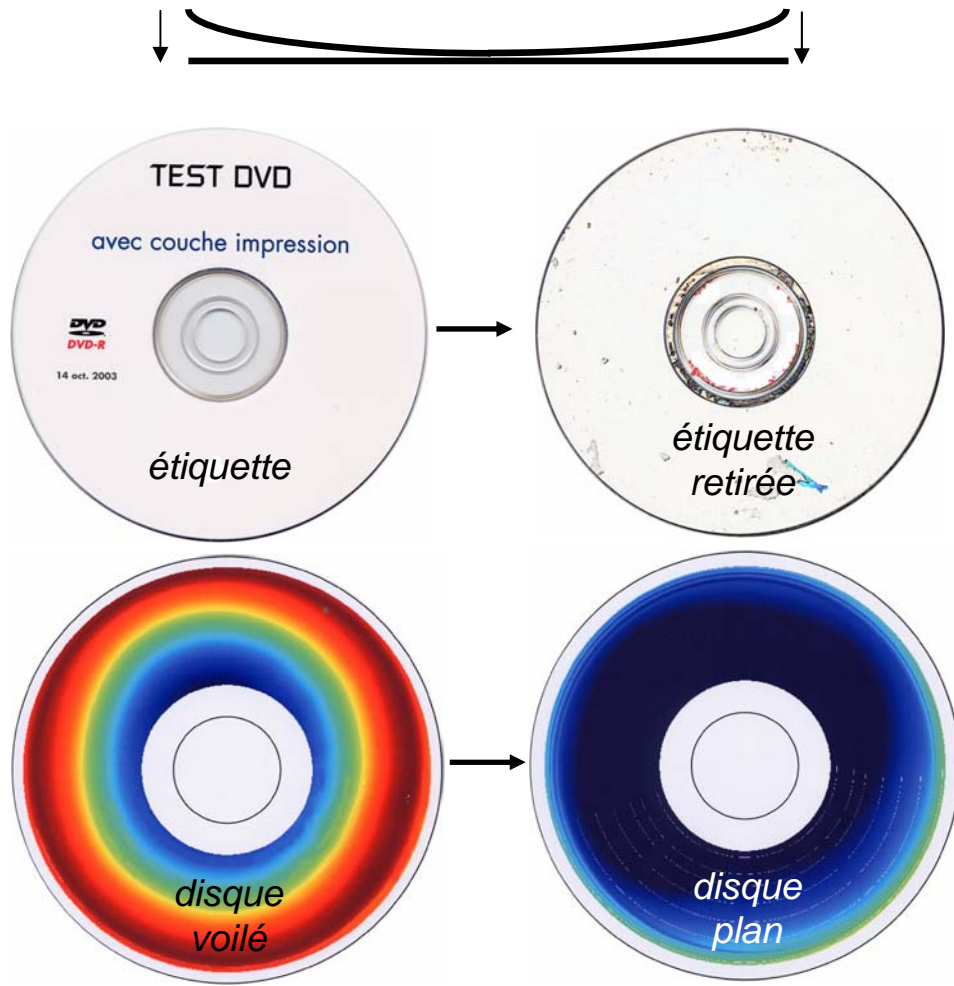
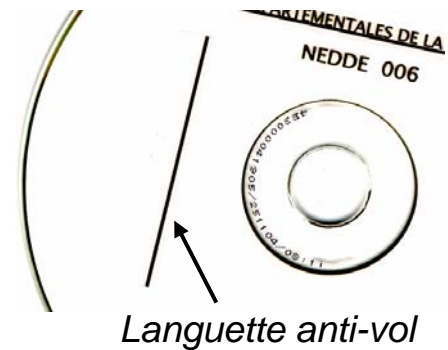


Illustration de l'influence d'une étiquette sur la planéité d'un disque (DVD-R)

L'application d'étiquettes autocollantes est à proscrire du fait de la possible agression de la couche en contact (solvant de la colle), des contraintes induites lors de changements climatiques, des effets de balourd redoutables à grande vitesse.



Le Blu-ray

Tests de vieillissement - Résultats préliminaires

Porteur des derniers perfectionnements d'une technologie mise en œuvre avec le disque compact il y a bientôt 30 ans, le disque Blu-ray réalise les ultimes compromis de cette technologie : matériaux, gravure haute densité, traitement du signal électrique, codage des données,...

Ne disposant d'aucun recul et d'un manque flagrant d'informations de la part des fabricants, nous devons, de manière urgente, faire en sorte de mieux connaître ce nouveau support, évaluer son comportement, ses limites, estimer son aptitude à constituer un support pérenne de l'information.

Le disque Blu-ray produit actuellement constitue-t-il un support pérenne de l'information ?

Vieillesse accélérée : CD-R - DVD±RW & BD-R

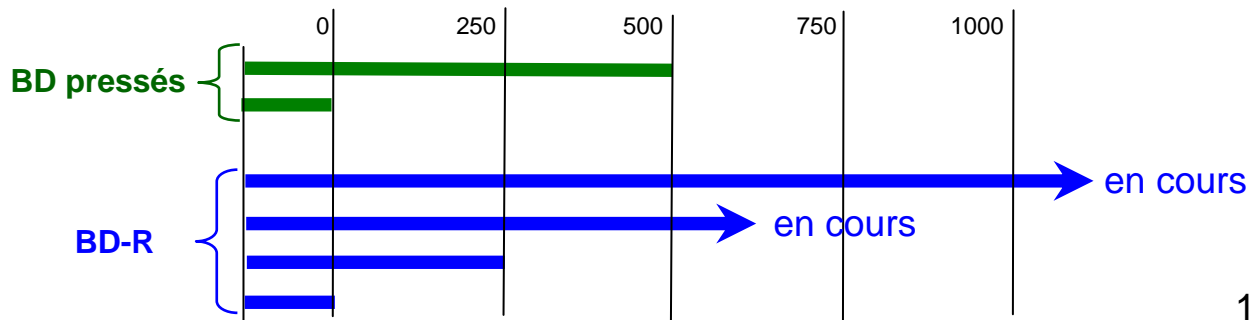
**CD-R
Archivage 2008
(LNE)**

Type	Durée d'exposition à 80°C et 85% (heures)						
	0	250	500	750	1000	1250	1500
CD-R Archival Gold	[Barre bleue continue]						
CD-R Gold	[Barre bleue continue]						
CD-R Gold	[Barre bleue]						
CD-R Gold Pro	[Barre bleue]						
CD-R	[Barre bleue]						
CD-R	[Barre bleue]						
CD-R Archival	[Barre bleue]						
CD-R Pro	[Barre bleue]						

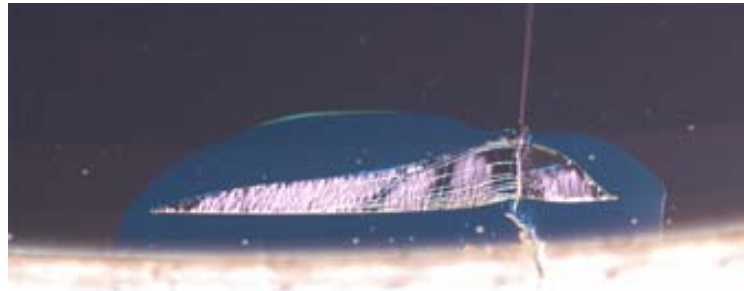
**DVD±RW
grand public 2008
(LNE)**

Type	Durée d'exposition à 80°C et 85% (heures)				
	0	250	500	750	1000
DVD-RW	[Barre bleue]				
DVD+RW	[Barre bleue]				
DVD+RW	[Barre bleue]				
DVD+RW	[Barre bleue]				
DVD-RW	[Barre bleue]				
DVD-RW	[Barre bleue]				
DVD-RW	[Barre bleue]				

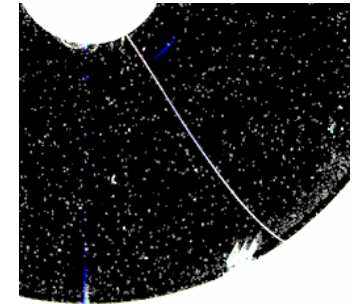
**BD & BD-R
grand public 2009
(LAM - part. LNE)**



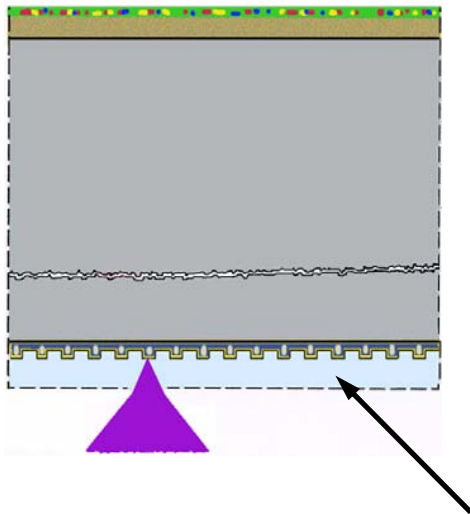
Tests de vieillissement du Blu-ray Disc



Décollement de la couche transparente (500h)



Fissure de la couche transparente (250h)



Les séries de tests effectués sur des disques Blu-ray (couche sensible inorganique) placés dans les mêmes conditions que celles présentées précédemment (J. Perdereau, LNE) nous permettent de mettre les premiers résultats obtenus en comparaison avec ceux des CD-R d'archivage et des DVD-RW (technologie d'enregistrement comparable). Ne disposant pas d'un effectif d'échantillonnage suffisamment représentatif, il ne peut être question de généraliser ces résultats mais de noter toutefois :

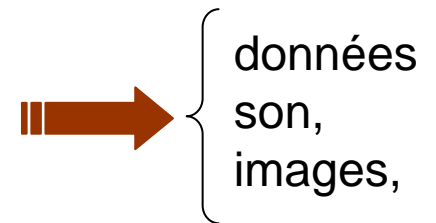
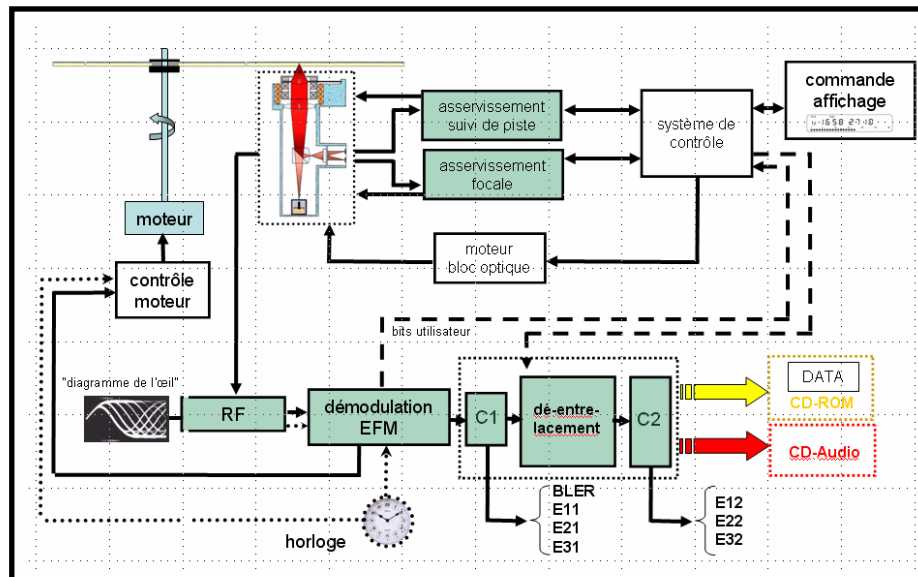
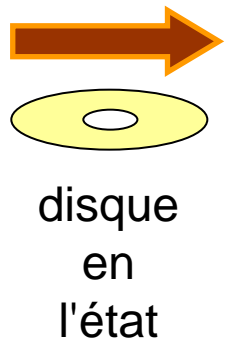
- La très grande disparité des comportements des BD-R...
- Les performances extrêmement modestes des disques pressés, des résultats qui n'ont jamais atteint ce stade de sensibilité lors de tests effectués avec des disques CD et DVD. De tels résultats (préliminaires, nous le soulignons) orientent notre attention vers le comportement de la couche mince transparente (100 microns) qui assurent à la fois le passage du rayon laser et la protection de la couche d'inscription des données. Le format Blu-ray suscite la plus grande vigilance vis-à-vis de cette couche sans pour autant négliger la couche sensible.

Lecture des disques dégradés

de l'importance du système de lecture...

Un lecteur comporte de très nombreux composants qui participent à ses performances (notion de "bonne" ou de "moins bonne" lecteur de disques standards), mais aussi à ses tolérances à l'égard d'un disque défaillant :

- **bloc optique** : diode laser, lentilles, diode voltaïque,...
- **ensembles mécaniques et électro-mécaniques**
- **asservissements** (focalisation, déplacement, rotation du disque,...
- circuits de traitements de **mise en forme du signal électrique**
- circuits de **décodage, correction d'erreurs**,...

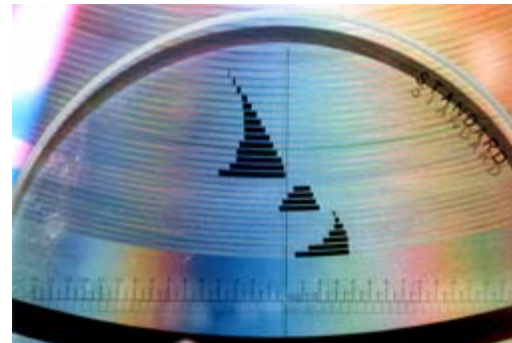


Lecture de disques dégradés

Ainsi, la déclaration de la "**mort d'un disque**" est-elle plus délicate qu'il n'y paraît :

- Dans le cadre normatif (ECMA, ISO), la qualité des disques est évaluée par l'intermédiaire des caractéristiques de paramètres recueillis par des analyseurs qui comportent notamment un lecteur (driver) de référence. Le disque est déclaré défectueux dès qu'un paramètre dépasse un seuil limite fixé par la norme.
- En dehors du champ normatif, l'expérience montre que le cahier des charges (dépassement d'un seuil) peut-être transgressé au regard des performances des lecteurs. Dans un usage courant, la moindre perturbation (son, image) ainsi que, bien évidemment la moindre perte de donnée (ROM) signe la fin du disque. Mais, cette manifestation peut-être révélée par un lecteur et non par un autre.
- Disposant de disques tests de défauts progressifs, de disques dégradés (nombreux !) et d'un analyseur, les niveaux de tolérance d'un lecteur donné peuvent être quantifiés.

Disque test à défauts progressifs

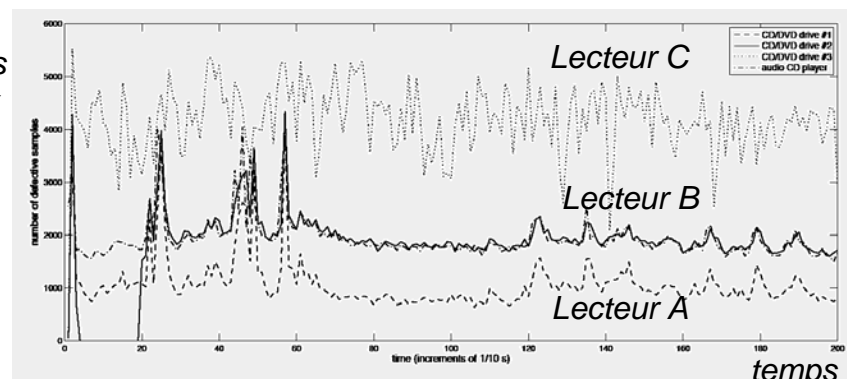


Lecture de disques dégradés



Lecteur audio de référence (Nagra)

Échantillons
défectueux



Laurent Daudet - LAM

● Un disque très dégradé ou les zones très dégradées d'un disque ne seront lues par aucun lecteur. Mais de très nombreux cas de disques se présentant dans un état "intermédiaire" doivent pouvoir bénéficier d'un lecteur se montrant le plus tolérant aux imperfections. Une lecture ultime sera ainsi tentée pour transférer les données sur un nouveau support. Les exemples présentés en séance concernent des séquences audio mais tous les types d'information peuvent prétendre à cette dernière chance. Malheureusement les drivers de telle qualité sont rares et coûteux.

● En outre, il a été montré (Ravan de Senigon - LAM) que la plupart des lecteurs n'utilisaient pas la pleine capacité de correction des erreurs. L'auteur précise qu'il serait possible d'augmenter la capacité de correction en recourant à un algorithme plus sophistiqué.

La technologie Century-Disc® de Plasmon OMS :



Usine Plasmon OMS à Caen (ex. Digipress)



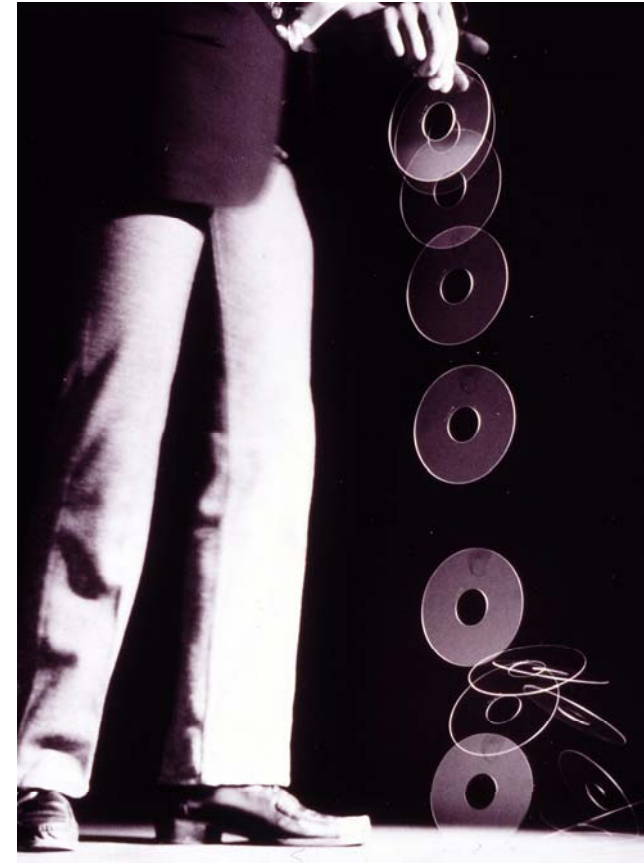
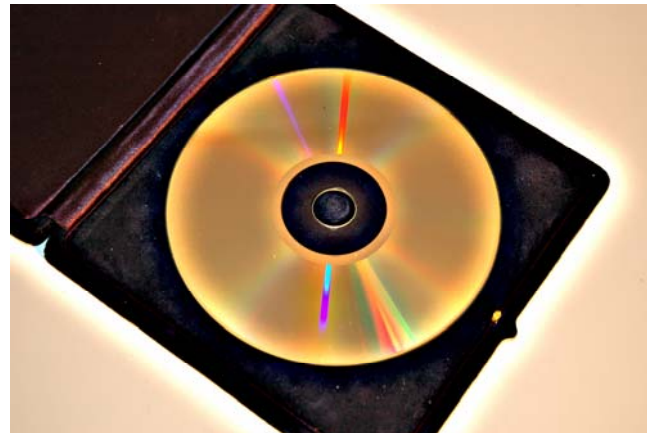
un disque en verre pour l'archivage

Idée de départ :

- support d'archivage à très long terme de haute sécurité
- avec un coût de maintenance et d'exploitation quasi nul

*En utilisant comme substrat un disque en verre trempé et en ayant éliminé tout matériau organique ou oxydable, le **Century-Disc** se présente comme un support d'archivage pérenne à haut niveau de sécurité ne nécessitant aucune contrainte d'environnement particulière pour sa conservation*

La technologie Century-Disc® de Plasmon OMS :

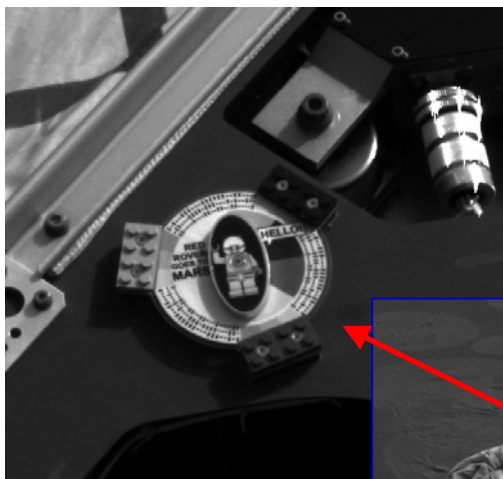


- ✓ *Implication forte du Ministère de la Culture dans le soutien de cette technologie dès 1988, montrant ainsi tout l'intérêt d'une solution d'archivage pérenne*
- ✓ *Technologie ayant obtenu en 1990 le label Eureka (projet Eureka EU 390 LAST) mis au point en collaboration avec Glaverbel, fournisseur des substrats en verre*

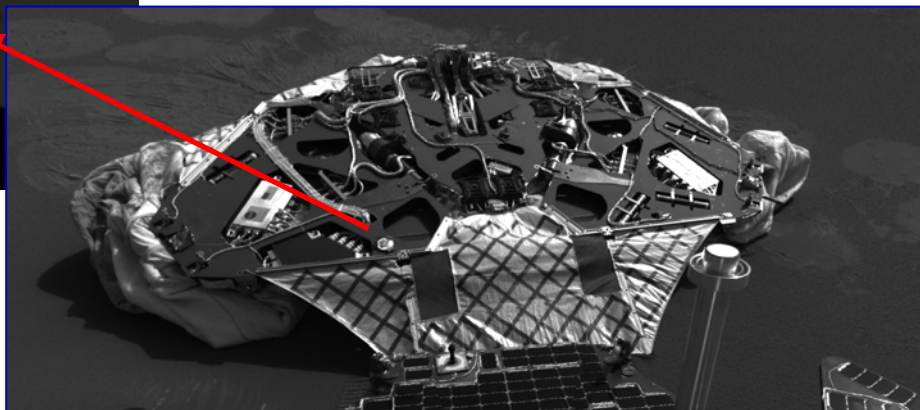
La technologie Century-Disc® de Plasmon OMS :

Le Century Disc est utilisé pour des applications exigeantes d'archivage comme la numérisation de documents de la BNF.

Il est aussi utilisé par exemple pour le domaine spatial, ainsi les 2 disques mini-DVD envoyés sur la planète Mars à bord des sondes Spirit et Opportunity, toujours actives.



projet Mars Exploration Rover
de la NASA avec les véhicules
Opportunity et Spirit (2003 -2004)



En guise de conclusion...

Le malentendu entre fabricants et utilisateurs est de taille. Bien que s'agissant de "supports de mémoire", les DON ne prennent pas suffisamment en compte les exigences de pérennité des données. Néanmoins, certains types de disques, âgés maintenant d'une quinzaine d'années (CD-R) ou soumis à des tests de vieillissement accélérés (LNE, LAM) présentent d'excellents résultats. Ils laissent entrevoir une bonne maîtrise de la technologie et par là une réponse aux exigences de l'utilisateur (institutionnel, professionnel, privé). Seulement l'expérience nous a montré que les contrôles restaient nécessaires pour parer à toute éventualité d'irrégularité de qualité de production. L'implication des usagers, de leurs médiateurs reste essentielle.

