

Le disque optique et l'archivage vers un disque haute densité spécifique

Jean-Marc Fontaine

Ingénieur Recherche Ministère de la Culture & Communication

Institut Jean le Rond d'Alembert – LAM

11, rue de Lourmel 75015 Paris

jmfontai@ccr.jussieu.fr

Groupe Pérennisation des Informations numériques

CNES – 15 Janvier 2008

Présentation

- Disques optiques, bref parcours historique

- Notre expérience en matière d'étude des disques d'archivage

- Un Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS-DON), regroupement de compétences :
 1. Vieillissement des disques polymères
 2. Concept d'un disque pérenne compatible

numérisation & transfert



Supports graphiques, photographiques



Minicassettes audio



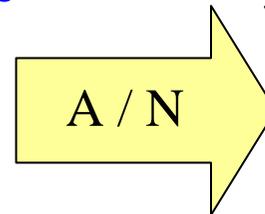
Bandes magnétiques audio



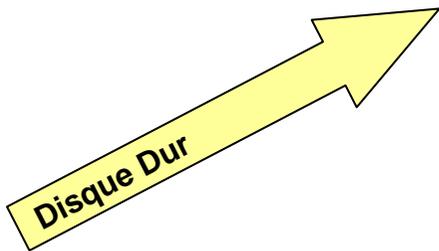
Bandes magnétiques & cassettes vidéo



Supports audio et vidéo analogiques



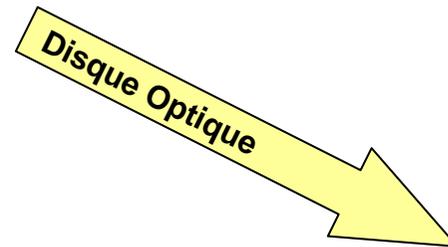
**Conversion
Analogique /
Numérique**



Disque Dur



Bande Magnétique



Disque Optique

**Supports
numériques**



principales technologies d'enregistrement

ferromagnétisme



Bande magnétique

Analogique : son & vidéo analogique,

Numérique : toutes données

Disque dur

Numérique : toutes données

colorant (dye)



CD, DVD, BR enregistrable une fois

(son, vidéo, photos, multimédia, données)

changement d'état
(inorganique)



CD, DVD, BD réinscriptibles

BD enregistrable une fois

(son, vidéo, multimédia, données)

semi-conducteur



Carte mémoire

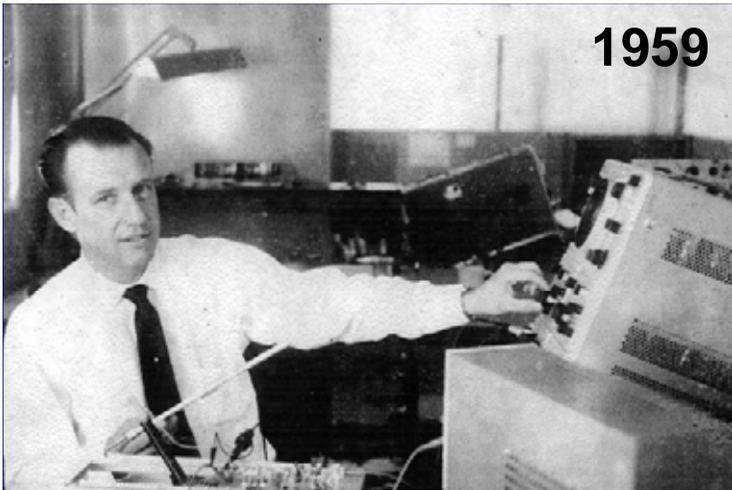
(photo, son, "petite" vidéo, données)

Pour rappel :

- **Procédé ablatif** (disque optique, bande optique) : obsolète
- **Procédé magnéto-optique** (disque mémoire de masse, MiniDisc) : obsolète
- **Procédé holographique** : à venir

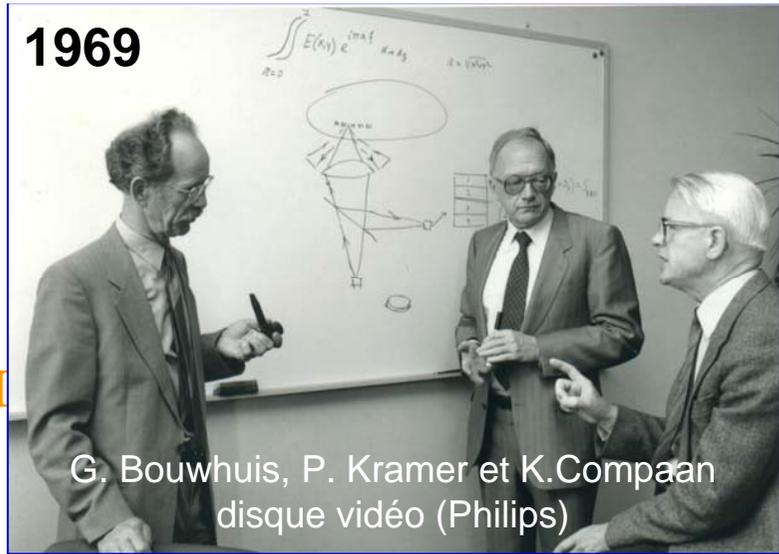
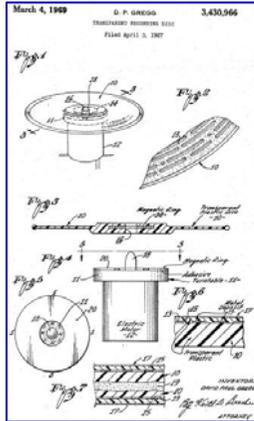
fiabilité des supports

- Tous les supports / systèmes d'enregistrement présentent des risques inopinés de perte des données, aucun d'entre-eux (disque dur, bande magnétique, disque optique) n'échappe à cette réalité.
- Pour les DON, le constat est clair : la qualité initiale d'enregistrement et la stabilité au cours du temps sont particulièrement aléatoires
- Comment l'utilisateur final peut-il se doter de garanties en terme de fiabilité à l'état initial et au cours du vieillissement ?
 - Mettre à profit la capacité des disques optiques de pouvoir être précisément décrits grâce aux possibles analyses effectuées en cours de lecture :
 - Sélection des disques / graveurs / processus de gravure (tiers prestataires, ...)
 - Relevé, à tout moment, de l'état des informations inscrites sur le disque.
 - A plus long terme :
 - S'appuyer sur des modèles de vieillissement fondés sur une connaissance des processus d'évolution chimique,
 - Susciter le développement de produits répondant aux exigences de la conservation à long terme des informations.



1959

David Paul GREGG dans son laboratoire en 1959
(crédit Francis Pelletier /MOS)



1969

G. Bouwhuis, P. Kramer et K. Compaan
disque vidéo (Philips)



1979

avènement du Compact Disc

8 Mars 1979 :
présentation par Philips
de son disque audio
numérique (Jop Sinjou)



Avril 1981 : prototypes Philips et Sony

Réalisation Jean-José Wanègue

Août 1979 : accord Philips et Sony

le LaserDisc (1978)



← **CLV**

(Constant Linear Velocity)

60 mn audio/vidéo / face

Popular science The What's New magazine

Here at last: **VIDEO-DISC PLAYERS**

Strange world of SUPERPRESSURE
SECRETS OF SHARPENING
BIG BOATING SECTION:
• Ski-hull boat
• Windsurfing thrills
• Kevlar replace fiberglass?
• '77 outboards
• Hot cats
• Cuddy cabins
• Marine CB

ICE-BLOCK HOUSE cools with winter heat

JMF-LAM

CAV →

(Constant Angular Velocity)

54000 images (30mn audio/vidéo)

EXTRAITS DES COLLECTIONS NATIONALES

998	- 1 ^{er} millénaire	10818	10 - MUSÉE NATIONAL DU CHATEAU DE VERSAILLES ET DES TRIANONS	24388
999	- 1 ^{er} millénaire	10877	Les jardins	24389
000	5 - DÉPARTEMENT DES ANTIQUITÉS GRECQUES ET ROMAINES DES MUSÉES DU LOUVRE ET BORELY	10909	L'opéra	24421
001			La chapelle	24425
431			Peinture d'histoire et portrait :	
592	Musée du Louvre (Paris) :		- Galerie des Batailles	24444
653	- Sculptures grecques exposées	10911	- La Révolution	24492
654	- Sculptures romaines exposées	11257	- L'Empire	24567
869			Extrait des collections de peinture	24605
434	Musée Borely (Marseille) :		11 - MUSÉE NATIONAL DES ARTS ET TRADITIONS POPULAIRES : ESTAMPES	24976
	- Vases grecs	11495	12 - LABORATOIRE DE RECHERCHE DES MUSÉES DE FRANCE : COUPES STRATIGRAPHIQUES DE LA MATIÈRE PICTURALE	34686
	- Marbres grecs et romains	12375	LA CINÉMATHEQUE FRANCAISE	
726	- Figurines de terre cuite	12512	13 - COLLECTION DE LAQUER DE NIPPON DE	
	- Bronzes	12784		
737	- Lampes en terre cuite et ampoules à eulogies	13058		
	- Verrerie	13429		
	- Divers	13644		
468	6 - DÉPARTEMENT DES ANTIQUITÉS ÉGYPTIENNES DU MUSÉE DU LOUVRE	13666		
ET	Stèles :			
ICE	- N° inventaire C			
469	- N° inventaire B			
470	- N° inventaire N			
471	- N° inventaire E			
863	- N° inventaire AF			
997	- N° inventaire IM			
	Statues :			
	- Époque Thinite			
988	- Ancien Empire			
	- Moyen Empire			
841	- Nouvel Empire			
	- Basse Époque			
005	7 - DÉPARTEMENT DES ARTS GRAPHIQUES MUSÉES DU LOUVRE ET D'ORSAY			
789	Dessins des écoles flamande et hollandaise (ce fonds n'est accessible qu'aux départements de la Direction des Musées de France)			
750				
753	8 - DÉPARTEMENT DES PEINTURES DU LOUVRE			
102	Peintures des écoles flamande et hollandaise (ce fonds n'est accessible qu'aux départements de la Direction des Musées de France)			
250				
420				
492				
627	9 - MUSÉE DES THERMES ET DE L'HÔTEL CLUNY : SCULPTURE MÉDIÉVALE			
LES	Statuaire			
714	Décor d'architecture			
	Décor de meuble et d'objet			
715	Sculpture funéraire			
716	Albâtre			
	Ivoire			

is Nationales / Inventaire général des monuments et des collections nationales / I.R.H.T. - C.N.R.S. / M.E.L.T.M. - S.I.C. / CHUZEAU
pour la diffusion des bases de données - Report sur la bande vidéo (TRIBVN) - Graphisme : Jean-Louis BRAHEM (TRIBVN) - Édition TELETRONIC BERTELSMANN - Maquette : Aline

disques optiques : du CD au Laser bleu

- Généralisation des formats
- Produits grand public : longue vie industrielle (décennies) mais qualité de formulation / fabrication irrégulière
- Très large champ d'applications
- Des applications exigeantes en terme
- Stockage physique sur étagères : un mode de gestion
- Information sécurisée : WORM physiques
- Coûts réduits & mise en œuvre aisée
- Une capacité réduite mais qui augmente (x 36)
- ...

Blu-ray Disc (BD) versus HD DVD

Après 3 ans de rivalités particulièrement regrettables, Toshiba retire le disque HD-DVD en février 2008 suite à la décision des principaux producteurs de cinéma de ne retenir que le format BD. L'utilisateur appréciera cette clarification.



En terme de contenu, le CD est dédié à la musique, le DVD joue un rôle déterminant pour la diffusion des films vidéo. Quant aux disques "laser bleu", outre les films haute définition ils rivalisaient jusqu'ici sur le terrain des jeux vidéo : BD pour la PS3 de Sony et HD DVD pour la Xbox de Microsoft. Mais dans tous les cas, les données informatiques sont très directement concernées.

formats physiques

6,4 cm
1 face



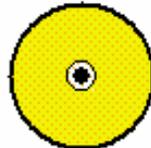
MiniDisc son (compression) : 74 mn

8 cm
1 face

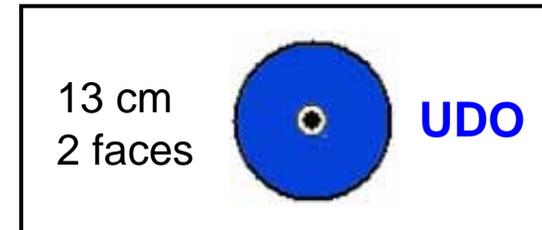


CD-ROM 30 Mo

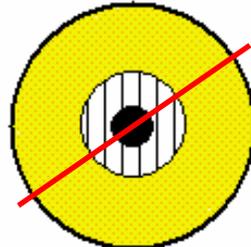
12 cm
1 face



{	CD-Audio	74 mn
	CD-ROM	750 Mo
	DVD	4,7 Go
	HD-DVD	15 Go
	BD	25 Go

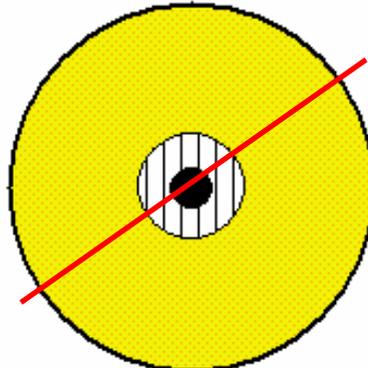


20 cm
1 ou 2 f.



LASERDISC CLV 20mn vidéo / face

30 cm
1 ou 2 f.

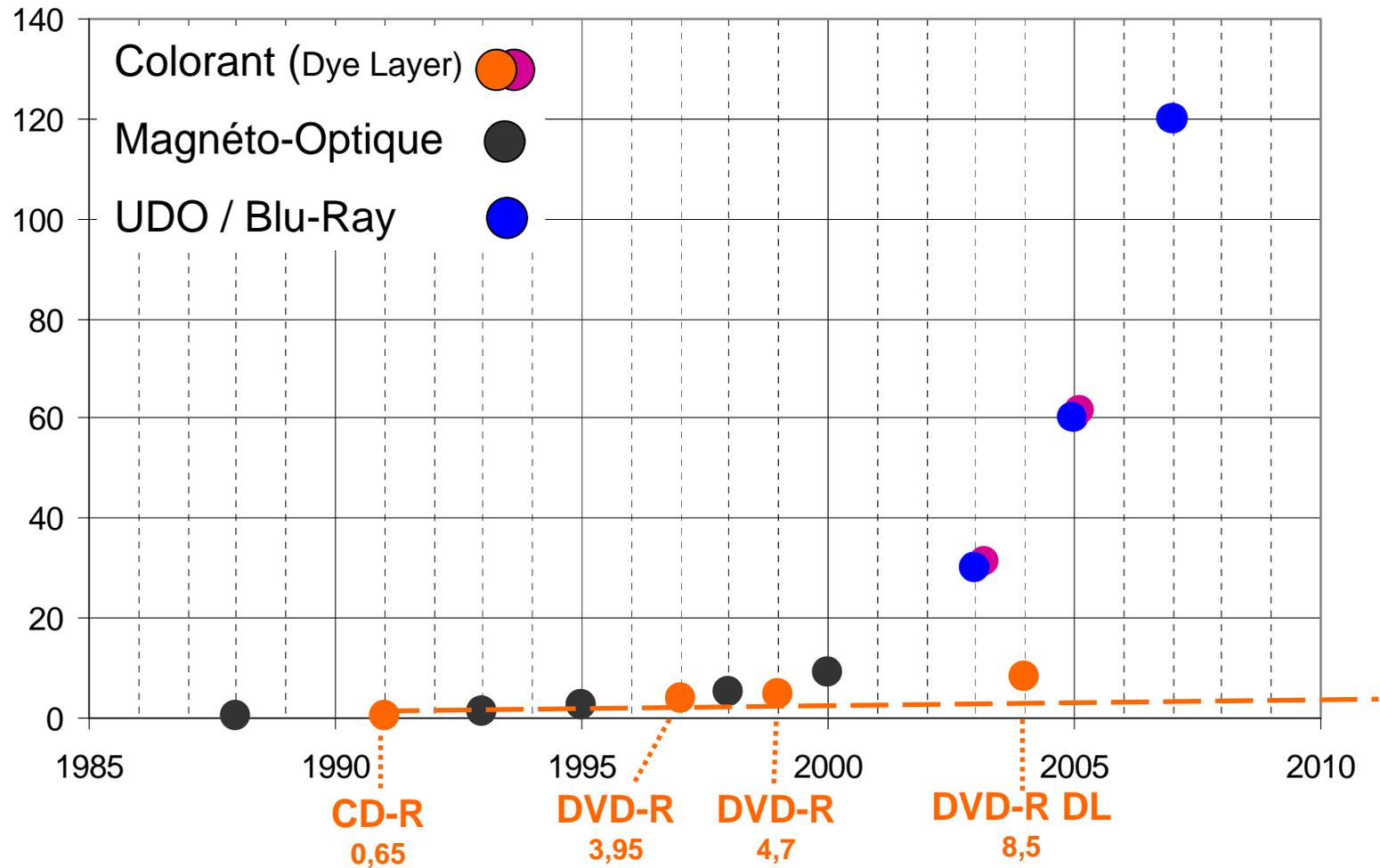


LASERDISC Mode CLV, Vidéo 60 mn / face

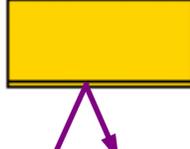
LASERVISION Mode CAV interactif, 30 mn / face
ou 54000 images

évolution disque optique

Go / Disc



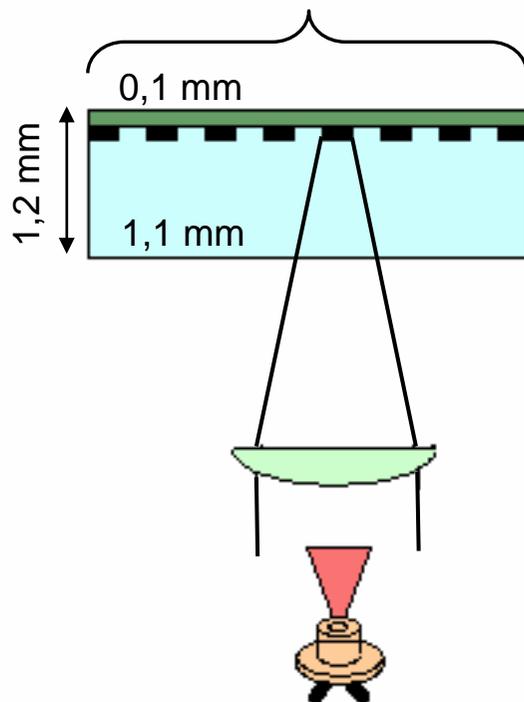
quelques caractéristiques comparées

Item	Unité	CD	DVD	BD
Principe				
Longueur onde laser	nm	780	650	405
Vitesse rotation (1X)	(début – fin) t/mn	500 à 200	1630 à 570	2000 à 800
Vitesse Lecture	m/s	1,2 à 1,4	3,49	4,92
Longueur minimum Pit	µm	0,833	0,40	0,149
Capacité utilisateur (1 c.)	GB	0,75	4,7	25
Gain capacité / CD	-	1	6	31
Débit données utilisateur	Mb/s	1,5	11	36

du format CD au format Blu-Ray

COMPACT
disc

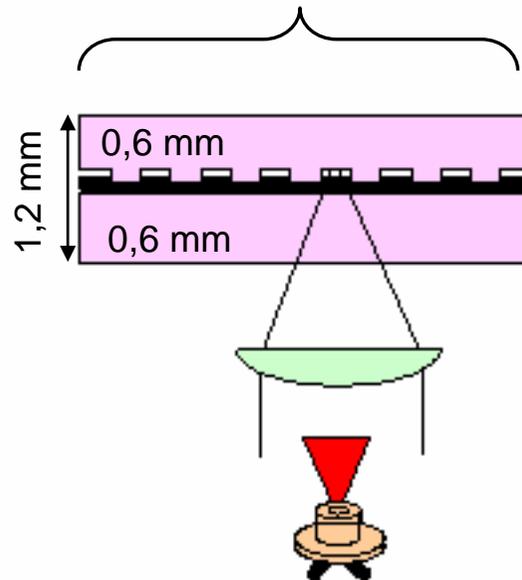
Génération 1



$\lambda = 780 \text{ nm}$
NA = 0,45

DVD
VIDEO

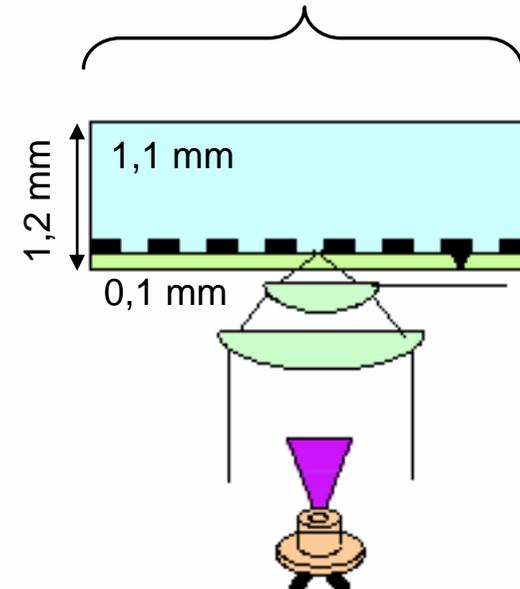
Génération 2



$\lambda = 650 \text{ nm}$
NA = 0,60

Blu-ray Disc

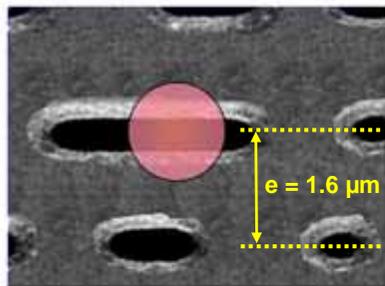
Génération 3



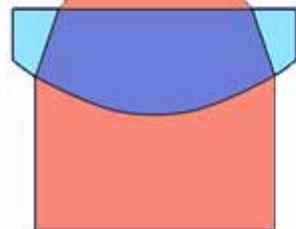
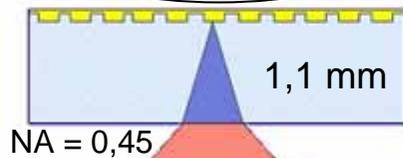
$\lambda = 405 \text{ nm}$
NA = 0,85

structure des disques optiques

COMPACT
disc

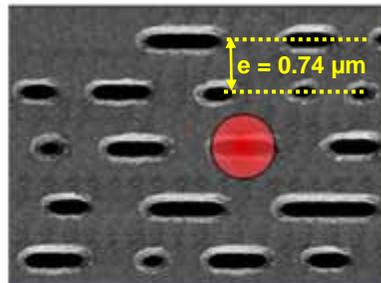


650 Mo

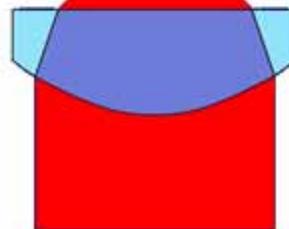
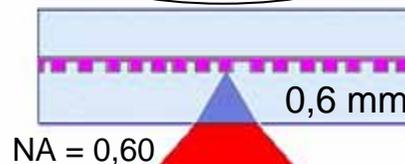


$\lambda = 780 \text{ nm}$

DVD
VIDEO

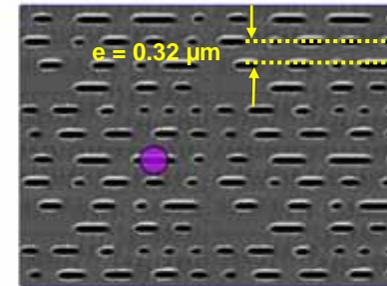


4,7 Go*

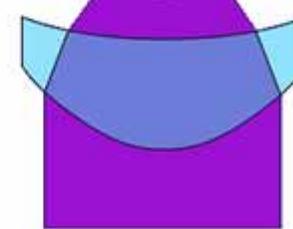


$\lambda = 650 \text{ nm}$

Blu-ray Disc



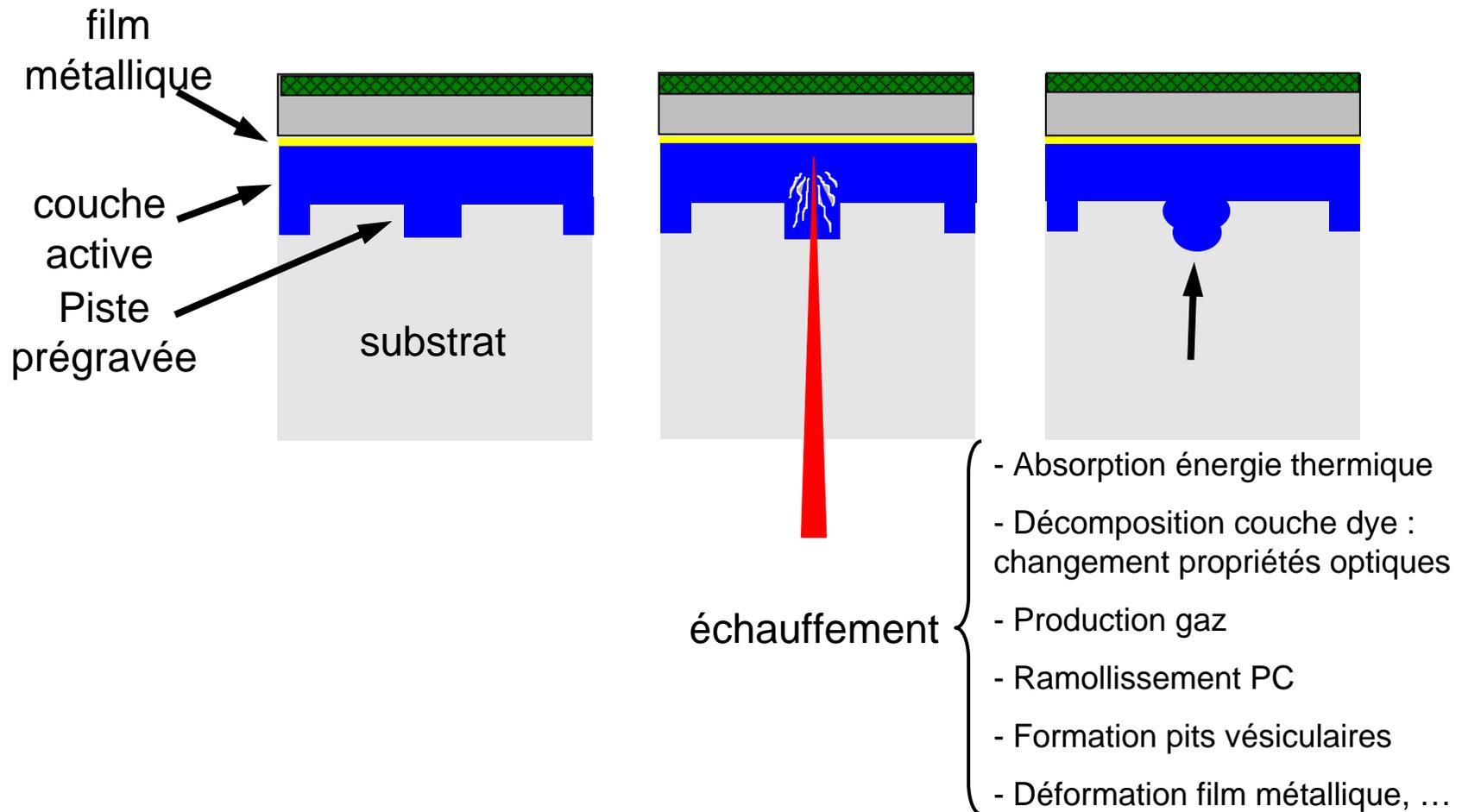
25 Go*



$\lambda = 405 \text{ nm}$

(*) 2 couches possibles

processus gravure (dye process)



Objectif recherché : **atténuer** les propriétés de réflexion des zones marquées par le rayon laser (pits) relativement aux zones non marquées (lands).

optimisation des disques enregistrables (dye)

Convergence des phases de fabrication des stampers, des constituants (formulation, préparation,...), de la mise en œuvre des produits, du pressage et de l'écriture.

- fabricants {
 - géométrie de sillon (forme et dimension) : matrice de pressage (stamper)
 - qualité du substrat pressé
 - propriétés optiques du dye
 - solvant et concentration de dye
 - épaisseur de dye
- utilisateurs {
 - **stratégie d'écriture** (vitesse de rotation, puissance du rayon laser)

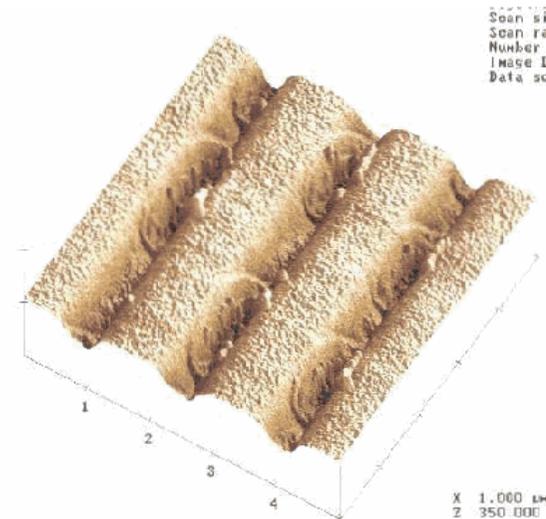
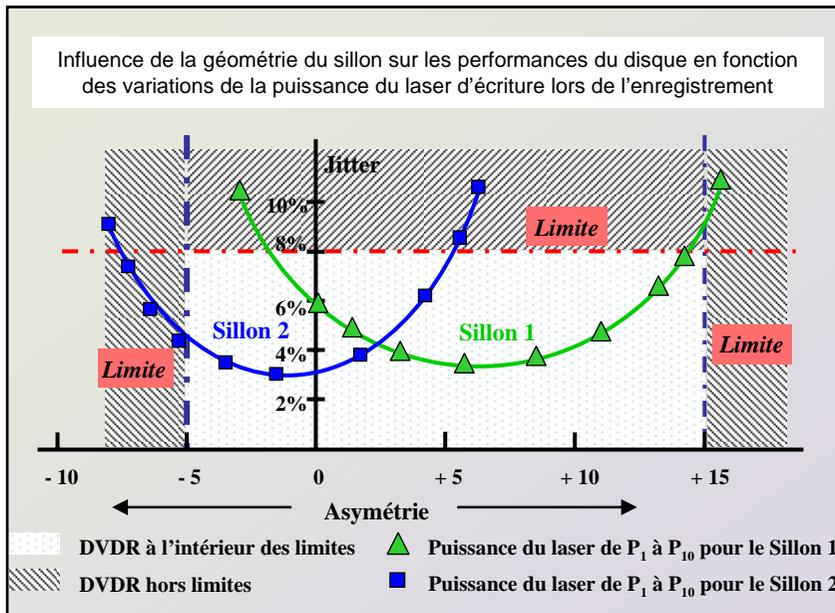
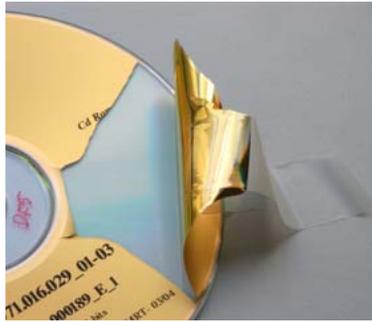
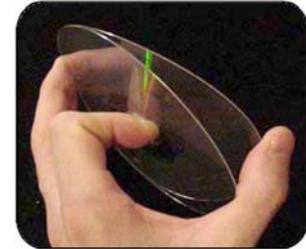


Image microscopie AFM sur substrat de CD-R (Doc PLASMON)

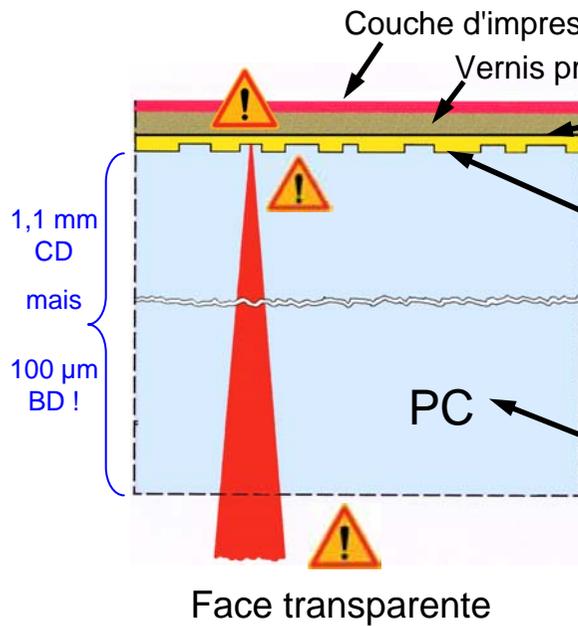


fragilité des Disques Optiques



 points de sensibilité

CD-R, BD-R

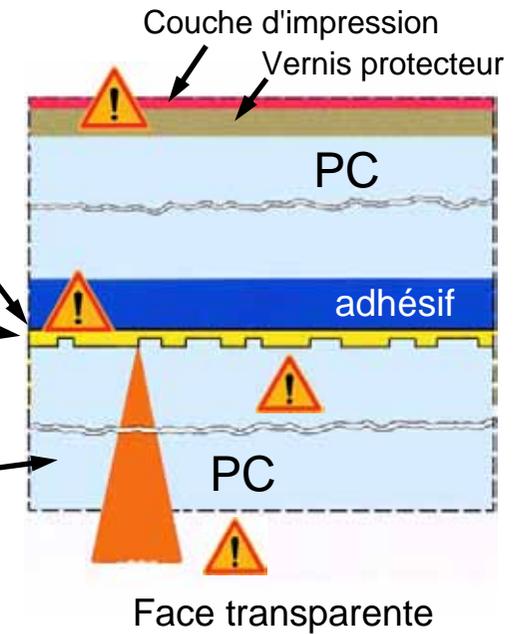


Couche réfléchissante
Sensibilité oxydation, corrosion, ...

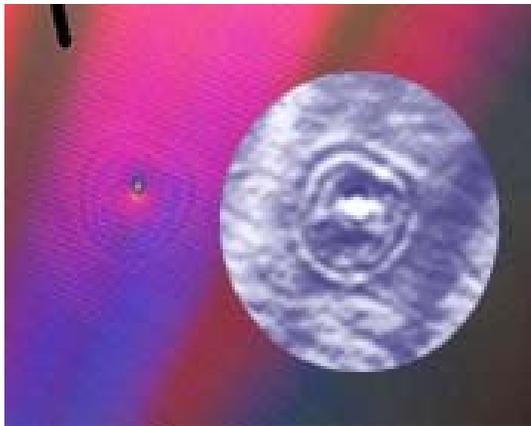
Couche active
Sensibilité lumière,
température, oxygène, ...

Polycarbonate (PC)
Sensibilité lumière (opacification),
environnement,
dégradations mécaniques, ...

DVD±R



défauts de fabrication



- qualité composants base
- préparation dye / solvant
- process recyclages
- mise en œuvre des éléments
- évaporation, refroidissement
- etc.

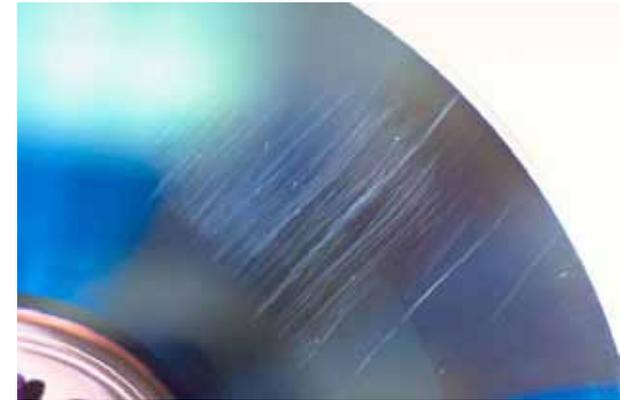


- stabilité couche dye
- bulles dans polycarbonate
- lacunes métallisation
- agressions mécaniques
- ...

des conditions de stockage et d'usage médiocres



- température
- humidité
- poussière
- lumière
- fumée cigarette
- pollution atmosphérique
- etc.



- manipulation
- lecteur : température, très grande vitesse rotation, ...
- etc.

Un disque détérioré ne peut pratiquement pas être restauré ; poser un diagnostic par les analyses non destructives reste déterminant pour déclencher les mesures de sauvegarde adaptées.

estimation de la qualité des disques

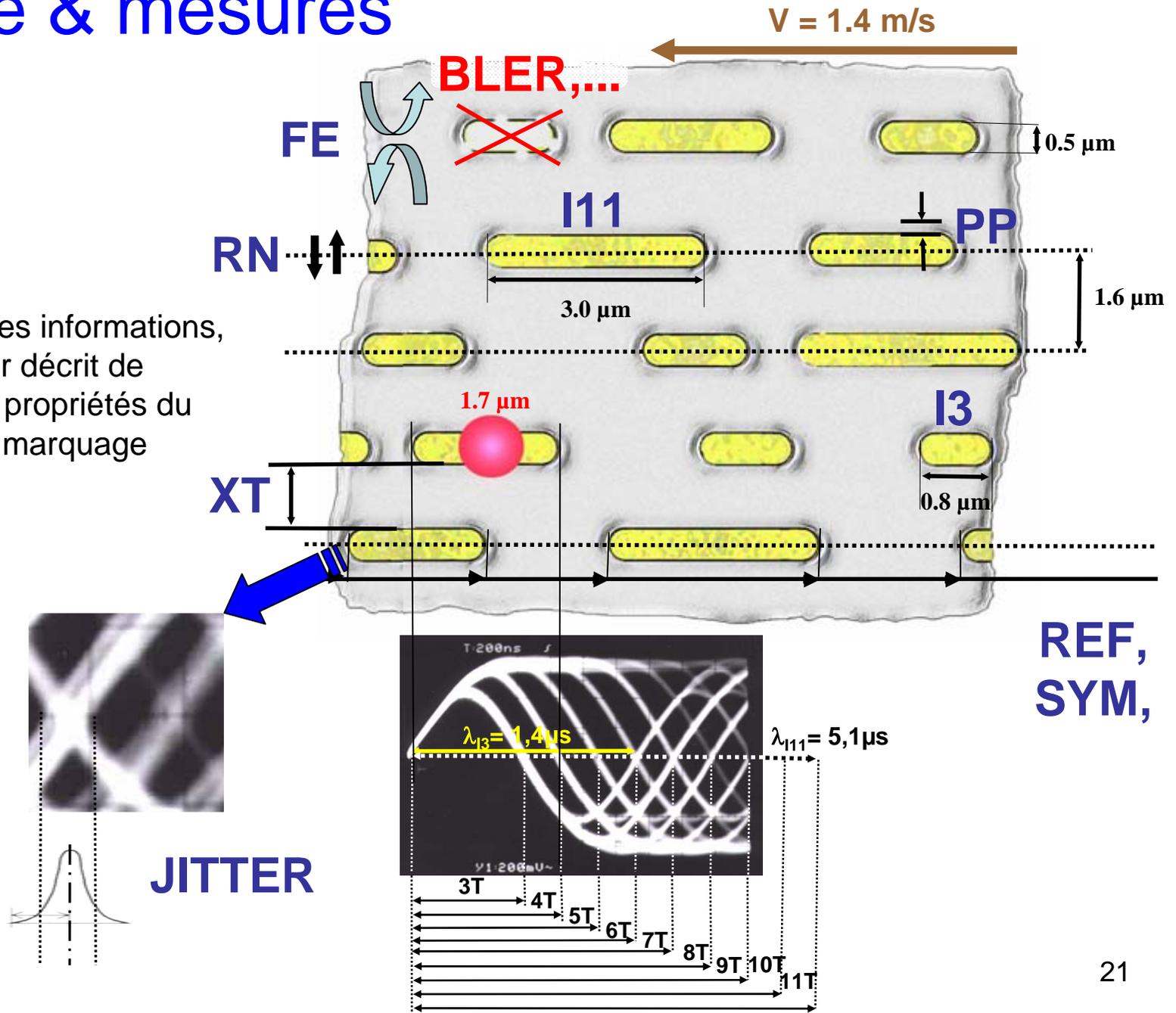
- ❑ Poser un diagnostic du disque
 - Sélection initiale : disque + gravure du disque
 - Assurer un "suivi longitudinal"

- ❑ Anticiper les conséquences de dégradation des disques
 - Les points de fragilité
 - Vieillessement

Sur quels critères ?

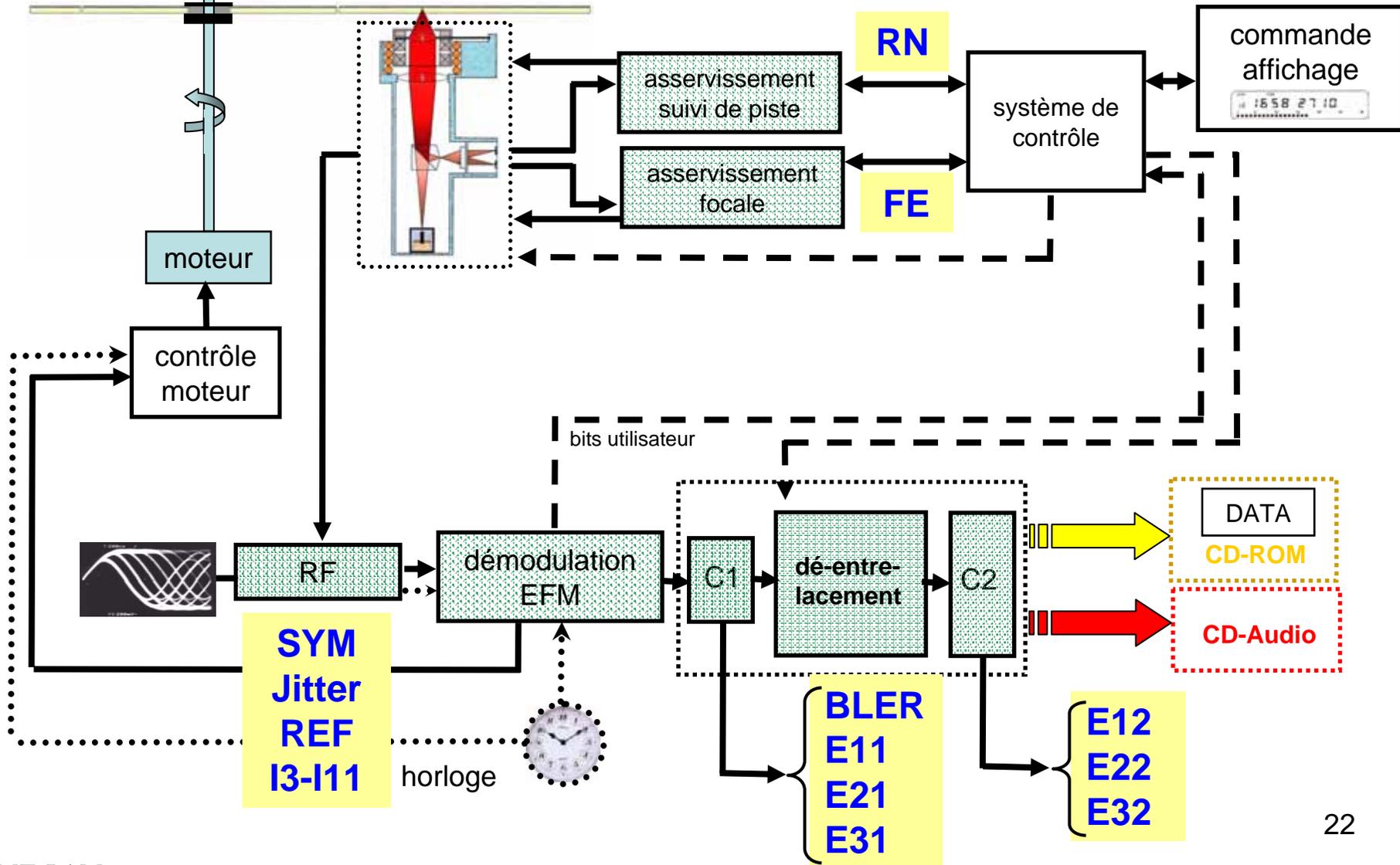
lecture & mesures

En scrutant les informations, le rayon laser décrit de nombreuses propriétés du disque et du marquage

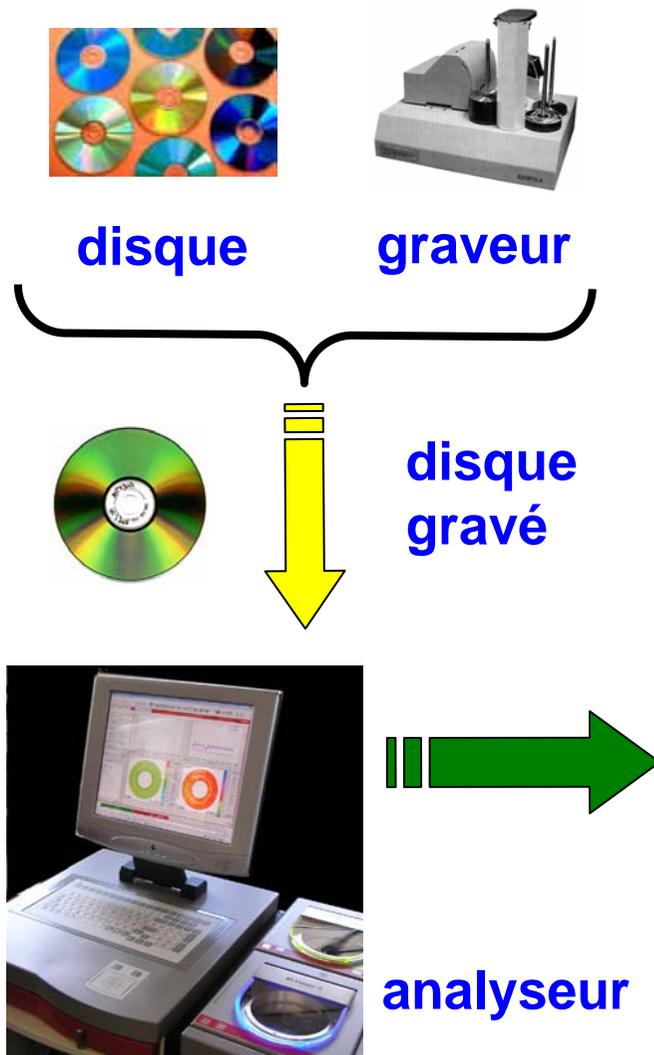


extraction de nombreux paramètres...

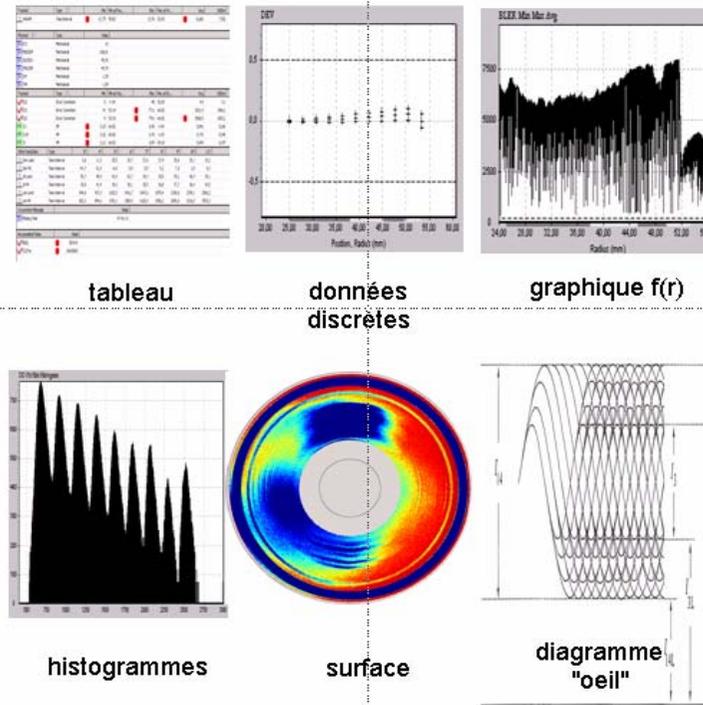
exemple : synoptique simplifié de la lecture d'un CD



...à l'aide d'un analyseur



- La qualité du disque et du marquage sont toujours estimées par les taux d'erreurs déclenchés pendant la lecture des données.
- En outre, l'état du disque peut être précisé à l'aide de très nombreux paramètres produits par les analyseurs :



nombreux indicateurs disponibles

(exemple d'un CD-R de bonne qualité)

```

Operator:      JMF
Date:         04/13/04
Time:        11:38:51 AM
Duree:       67:17
Type:        5
Serie:       9
Commentaires: A.P.P. Gravure 1998

Parameter     Min      Max      Average
BLER ←        0       24       6
E11           0       23       5
E21           0       5        0
E31           0       12       0
E12           0       115      0
E22           0       0        0
E32 ←        0       0        0
E32Tot ←     0       0        0
CRC           0       3        0
BERL          0       3        0
BEGL          0       0        0

SYM           -9      -4       -7
REF           67      70       68
I3            0.37   0.42    0.39
I11          0.63   0.73    0.70
I3R          0.41   0.46    0.43
I11R         0.69   0.80    0.77

RN            5.46   13.90   8.57
RA            0.24   0.33    0.26
VA            1.40   1.71    1.57

Parameter     Min      Max      Average
PP            0.090  0.098  0.094
XT            25      32      27
DEV          -0.04   0.10   0.01
DEFL         -0.1    0.3    0.1
PPC          0.090  0.099  0.094
ECC          24

Physical
SPD/SDP      49.88
MID/EDP     110.93
SLD/SDL     46.12
SVY_OL      1.20   1.21   1.21
SVY         1.20
TRP_OL      1.56   1.60   1.58
TRP         1.59

Jitter       Min      Max      Average
WAWM        21.31  37.95  30.32

Jitter Data/Data  3T    4T    5T    6T    7T    8T    9T    10T   11T
Dev Land        -41    5    27    33    37    42    48    50    66
Dev Pit          2    -1    7    -2   -14   -17   -21   -30   -45
Jit Land        31    28    27    26    25    26    28    29    28
Jit Pit         29    25    24    24    23    24    25    24    23
    
```

Taux d'erreurs perte information

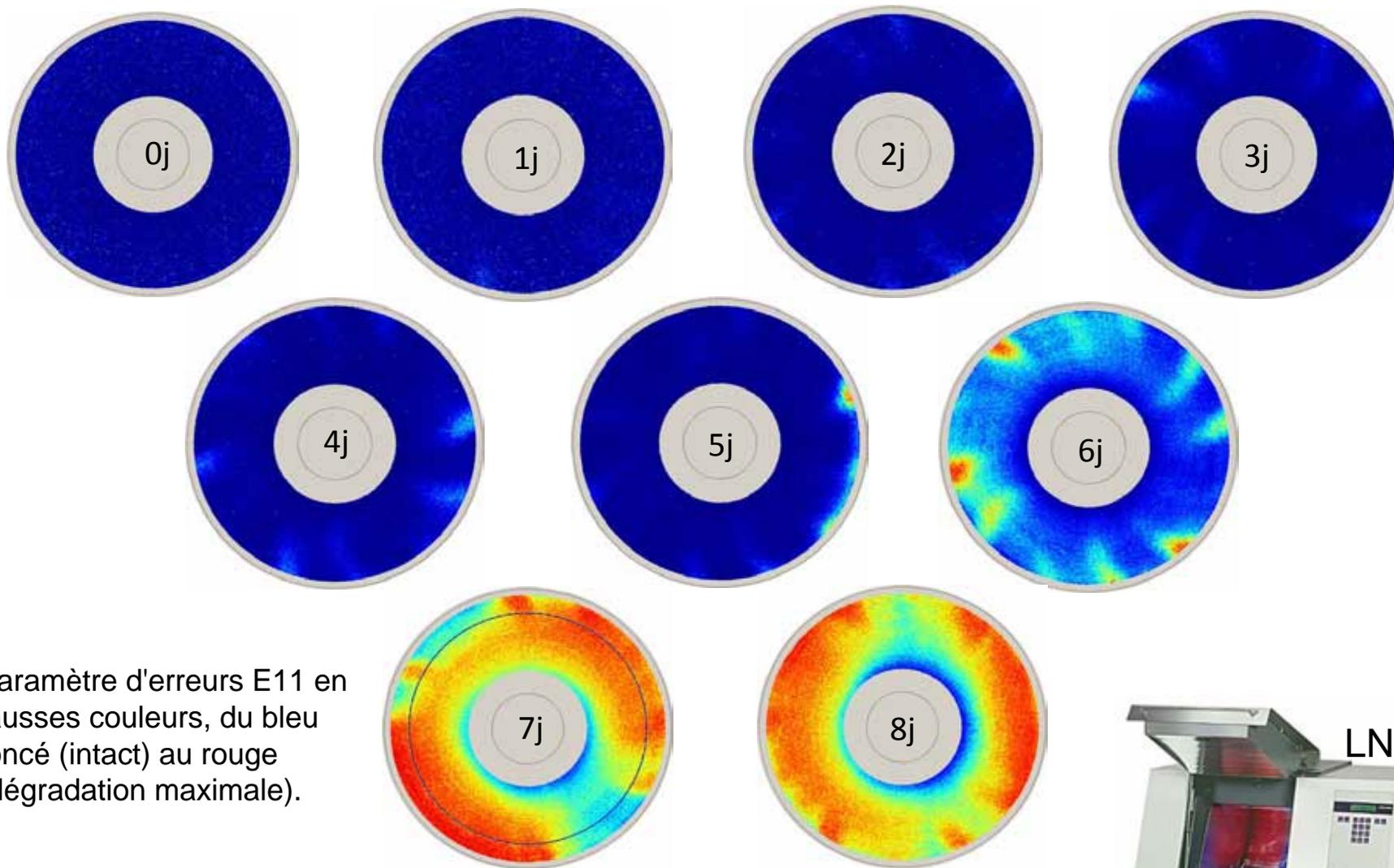
Qualité gravure, optique, signal,...

Qualité gravure & disque mécanique, signal,...

Répartition information/disque (Mastering)

Jitter

disques CD-R & DVD-R exposés à la lumière : propagation des zones dégradées



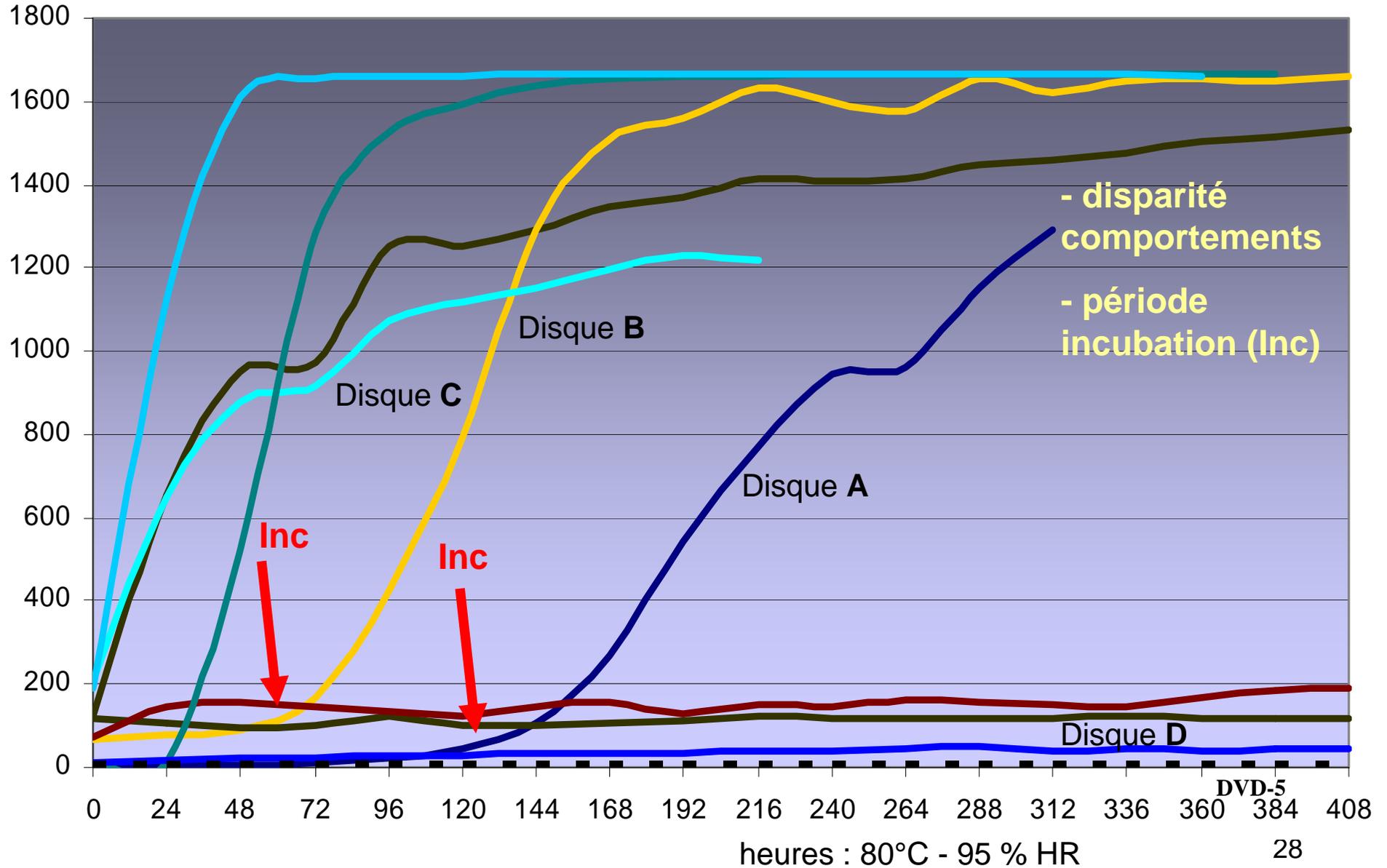
Paramètre d'erreurs E11 en fausses couleurs, du bleu foncé (intact) au rouge (dégradation maximale).



Vieillesse & taux d'erreurs des difficultés d'anticipation de phénomènes d'évolution

erreurs de parité interne vs exposition

9 types de DVD-R



remise en question des lois de modélisation actuellement utilisées

- Contrairement aux disques pressés, l'évolution de certains CD-R ne suit pas une loi régulière : après un temps de latence (période d'incubation), le paramètre d'erreurs considéré peut évoluer très rapidement. Les processus, la cinétique des évolutions chimiques engagés restent encore inconnus et imprévisibles.
- Les modélisations d'estimation de durée de vie établies sur l'évolution régulière d'un critère d'erreurs ne peuvent se montrer pertinentes.

estimation de la durée de vie établies selon des variations régulières des taux d'erreurs

Loi d'Arrhénius

Log (fin de vie nominale) = f (1/T)

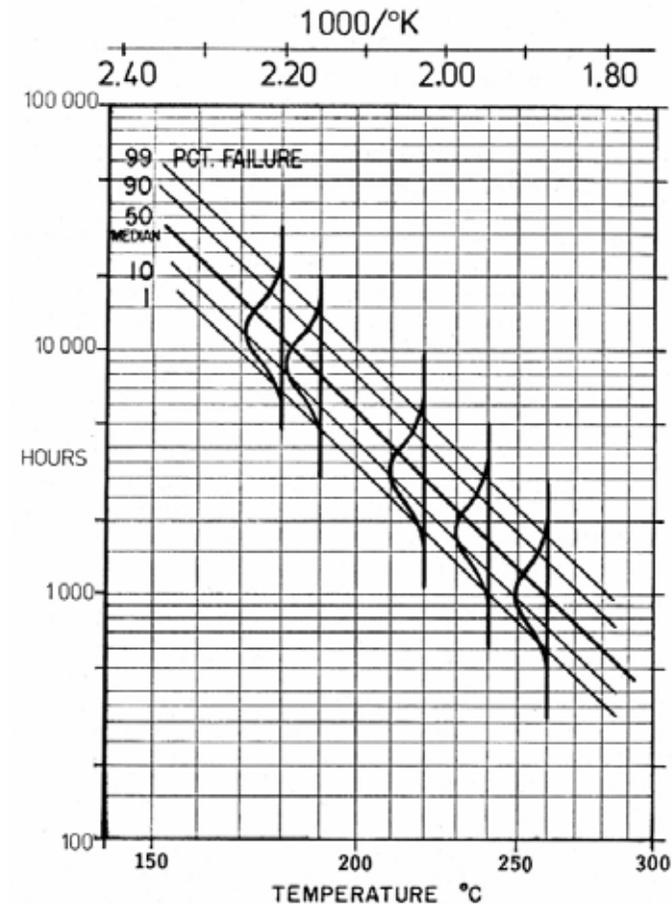
$$\tau_{50} = A e^{E/kT} e^{(B)RH}$$

Loi d'Eyring (température et humidité relative)

☺ estimation générale de la durée de vie des DON

MAIS...

- ☹ méconnaissance des mécanismes physico-chimiques fondamentaux de dégradation
- ☹ taux d'erreurs, critères insuffisants de description
- ☹ durée d'incubation : **modèle erroné**





Avis de tempête sur les Normes CD-R ...

- Remise en question de l'aptitude des taux d'erreurs à décrire – **seuls** - l'état d'un disque...
- Vers le retrait en cascade de plusieurs normes : AFNOR (Z42-011-2,...), ISO, AES,...
- Définir **les indicateurs** les plus pertinents...
 - pour décrire l'état d'origine,
 - pour décrire l'évolution en cours de "vieillissement"

défiance vis-à-vis des outils de contrôle basés sur le seul critère des taux d'erreurs :

retrait de la norme AFNOR Z42-011-2 (2005) Imagerie électronique - Contrôle des informations conservées sur CD

2 contestations majeures :

- Le classement dépend d'un driver non certifié dont les résultats peuvent varier de manière significative : interopérabilité des résultats réduite,
- La prédisposition d'un disque à mieux se conserver si son taux d'erreurs est faible à un moment donné n'est pas validée.

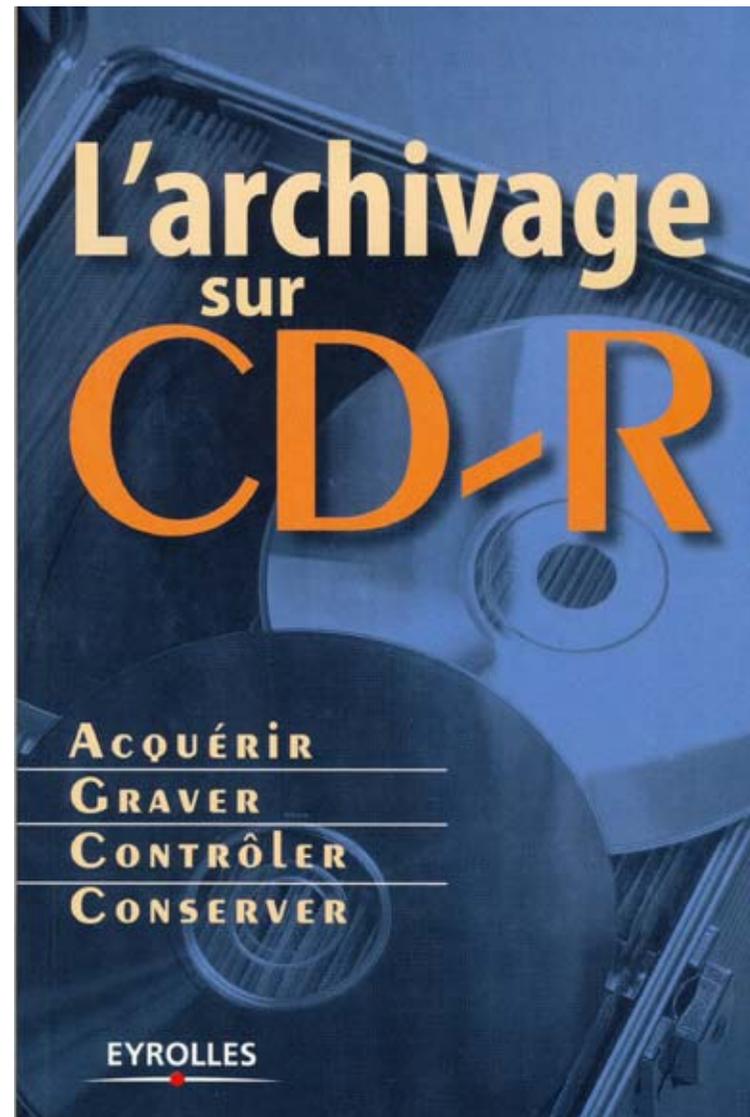
Norme retirée mais non remplacée à ce jour : reste donc de facto en référence

Il est à noter que les normes internationales (ISO 12024.2, AES 28, ...) utilisent toujours le modèle d'Eyring

Classe du CD	BLER max.	BLER moyen	E22	E32
1	< 10	< 5	= 0	= 0
2	< 50	< 10	= 0	= 0
3	< 220	< 100	= 0	= 0
4	>= 220	< 220	>= 0	= 0
5	>= 220-	>= 220	>= 0	>= 0

quelques
informations
supplémentaires

...



Création d'un GIS-DON

Créé en 2004 à la suite de la mise en place d'un Programme collectif de recherche par le Ministère de la Culture (PCR 2000-2003), ce pôle réunit sous la forme d'un Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) quatre organismes de recherche spécialistes du domaine. Il s'est fixé comme objectif d'**améliorer la conservation des informations enregistrées sur les Disques Optiques Numériques (DON), de proposer des solutions d'archivage stables et de guider les acteurs du domaine** (instituts patrimoniaux, fabricants, utilisateurs) notamment dans le choix des supports en précisant leurs conditions d'utilisation. Et ainsi d'apporter une contribution efficace à la pérennité des données archivées.

Groupement d'intérêt scientifique GIS-DON

Conseil scientifique

Président : Franck Laloe - Ecole normale Supérieure

Institut Jean-Le Rond d'Alembert - Equipe LAM

Université P. & M. Curie - Ministère de la Culture & Communication – CNRS UMR 7604

Laboratoire national de métrologie et d'essais, Trappes

Laboratoire de Photochimie Moléculaire et Macromoléculaire

Université Blaise PASCAL - CNRS UMR 6505, Aubière

CEA / LETI - MINATEC Département Optronique, Grenoble

LAM

Institut Jean-Le Rond d'Alembert

Université P. & M. Curie - Ministère de la Culture & Communication – CNRS UMR 7190

Dans le cadre de Conventions UPMC, MCC et CNRS, les études concernent des champs d'applications du MCC, notamment :

- Conditions de conservation des disques CD et DVD édités (exemplaires du dépôt légal de la Bibliothèque nationale de France à partir de 1984), comportement des CD enregistrables, média disponible à partir de 1993 ;
- Conditions de transferts sur CD-R et DVD-R dans le cadre de plans de numérisation de fonds audiovisuels relevant du Ministère de la Culture : état de nouvelles collections constituées (1999 – 2004) ;
- Elaboration d'outils statistiques de modélisation du vieillissement ;
- Contributions normalisation : ISO TC42, AFNOR TC 171,...

Le Laboratoire national de métrologie et d'essais

Le LNE a développé des compétences et renforcé les moyens permettant de qualifier les disques optiques :

- Métrologie de l'analyse des DON (CD et DVD) vierges et gravés ;
- Opérations à grande échelle d'analyses de paramètres opto-mécaniques de disques issus de collections existantes (INA, DAF) ;
- Etat de l'art de l'offre industrielle concernant la qualité combinant différents types de disques et différents graveurs : évaluations et comparatifs ;
- ...



Le laboratoire de Photochimie Moléculaire et Macromoléculaire (LPMM)

- Consacre son activité de recherche, notamment à l'étude des effets de la lumière dans le domaine des matériaux polymères.
- Les recherches en photochimie macromoléculaire (interactions lumière solaire/composés polymères) sont focalisées sur l'étude du vieillissement à l'échelle moléculaire et prennent également en compte l'évolution des propriétés physiques résultant des modifications de structure chimique des macromolécules.



Le CEA – LETI

LETI - Laboratoire d'Electronique de Technologie de l'Information
Grenoble

- Le CEA-LETI est impliqué dans la conception de disques optiques enregistrables depuis une dizaine d'années. Plus particulièrement dans la recherche et le développement de disques enregistrables des générations DVD et laser bleu.
- A développé avec des partenaires (recherche et industrie) différentes technologies de disques inorganiques enregistrables une fois et réinscriptibles : concept, prototypage, process industriel.

Objectif n°1 : l'existant

- ❑ Comprendre les mécanismes de vieillissement des disques existants (standards) et notamment de la couche sensible
 - Caractériser la composition chimique des disques polymères CD-R, DVD-R, BD : avant et après gravure
 - Associer les indicateurs établis à partir des signaux de lecture
- ❑ Elaborer un modèle de vieillissement sur la base de la connaissance des phénomènes de dégradation et de la manifestation d'indicateurs :
 - chimiques,
 - taux d'erreurs (lecture)
 - signaux électriques (lecture)
- ❑ Mettre en place des procédures de certification

Modélisation du vieillissement

- Caractérisation de la composition chimique avant et après gravure
- Expliciter, interpréter les mécanismes chimiques de vieillissement
- Relier si possible les indicateurs du vieillissement aux fonctions d'usage accessibles au moyen des analyseurs
- Elaborer un modèle établi sur les paramètres les plus significatifs d'une évolution

Objectif n° 2 : Nouveau disque pérenne

- ❑ Concevoir et réaliser un support WORM optimisé pour assurer la préservation des données d'archives à long terme, et compatible avec le format BD : matériaux entièrement inorganiques ou hybrides.
- ❑ Elaborer, optimiser les outils et procédures de tests de suivi de qualité de ces nouveaux supports.
- ❑ Mettre en place un environnement propice aux supports de conservation : normes, certification, recommandations, spécifications,...

Disque pérenne de nouvelle génération

➤ Une technologie verre éprouvée :

- CD "Century" Digipress (1986)
- l'UDO glass master, Plasmon

mais qui ne concerne pas le disque enregistrable

➤ Projet :

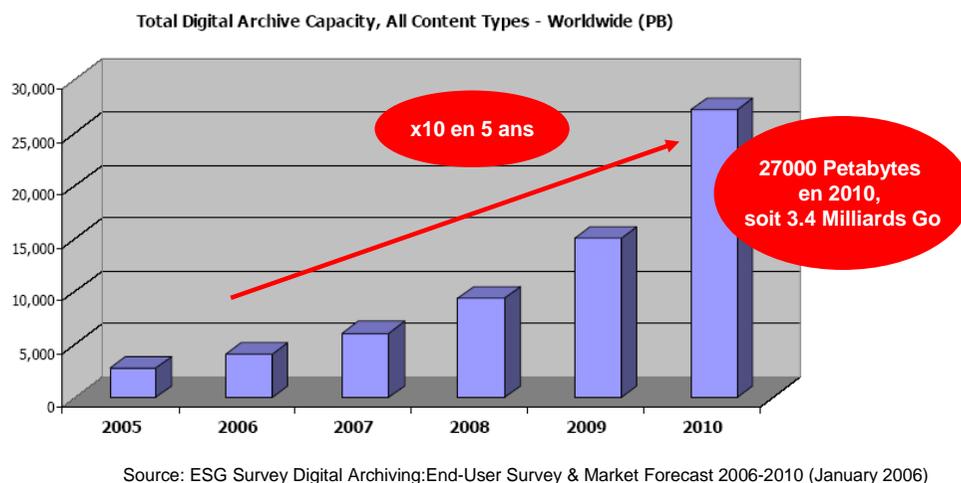
- disque enregistrable inorganique ou hybride
- format compatible BD

➤ Domaines d'application visés :

- professionnels archivage,
- institutionnels,
- prestataires auprès grand public

Quelques données Marketing

Problématique: « Nécessité d'archiver de plus en plus de documents numériques, tout en assurant la pérennité des supports de stockage »



	Coût/Go (2006)
Bande magnétique	10 €
Disque dur	3-40 €
Clé USB	10-30 €
DVDR	0.13-0.2 €

Mode d'archivage Professionnel

33% sur DON exclusivement
38% sur DON et/ou BM/DD
28% sur DD exclusivement
1% ne sait pas

Besoin identifié d'un dispositif d'archivage enregistrable :

- ➔ Haute capacité - Bas coût - Au format standard - Pérenne
- ➔ Marchés visés : Semi-prof./Gd Public