



Le progrès, une passion à partager

LABORATOIRES DE TRAPPES

29 avenue Roger Hennequin – 78197 Trappes Cedex

Tél. : 01 30 69 10 00 - Fax : 01 30 69 12 34

ETUDE DE LA DEGRADATION NATURELLE D'UNE COLLECTION DE CD-R GRAVES ENTRE 2000 ET 2002

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

Auteur : Jean-Michel LAMBERT

Octobre 2009

Financement :

Laboratoire National de Métrologie et d'Essais

Ministère de la Culture et de la Communication
(Mission de la Recherche et de la Technologie)

Fiche R&D N° 202 / 2009

Subvention n° 16473 du 18 août 2009

Référence LNE :

Etude 27CDR2009 - Affaire K080714

Laboratoire national de métrologie et d'essais

Établissement public à caractère industriel et commercial • Siège social : 1, rue Gaston Boissier - 75724 Paris Cedex 15 • Tél. : 01 40 43 37 00
Fax : 01 40 43 37 37 • E-mail : info@lne.fr • Internet : www.lne.fr • Siret : 313 320 244 00012 • NAF : 7120B • TVA : FR 92 313 320 244
CRCA PARIS C.AFF.RENNES - IBAN : FR76 1820 6002 8058 3819 5600 104 - BIC : AGRIFRPP882

SOMMAIRE

1. PRESENTATION DE L'ETUDE	3
2. DESCRIPTION DE LA COLLECTION DE CD-R	3
3 ANALYSES DES CD-R	6
3.1 DESCRIPTION DES ANALYSES	6
3.2 DATES DES ANALYSES	9
3.3 APPAREILLAGE	9
3.4 ANALYSES REALISEES	10
4 RESULTATS DES ANALYSES	12
4.1 TAUX D'ERREURS NUMERIQUES	12
4.2 AMPLITUDE ET CONTRASTE DU SIGNAL HF	16
4.3 JITTER	18
4.4 PARAMETRES D'ASSERVISSEMENT DE LA TETE DE LECTURE	19
5 SYNTHESE DES ANALYSES	20
5.1 UNE DEGRADATION LEGERE MAIS GENERALE DE CERTAINS PARAMETRES	20
5.2 UNE DEGRADATION IMPORTANTE DES TAUX D'ERREURS POUR UN QUART DES DISQUES	21
6 ETUDE DU SIGNAL HF DES DISQUES FORTEMENT DEGRADEES	22
6.1 LES DISQUES ETUDIES	22
6.2 METHODOLOGIE ET MOYENS UTILISES	22
6.3 RESULTATS POUR CHAQUE REFERENCE DE DISQUE ETUDIEE	26
7 CONCLUSION	38
ANNEXE 1 REPRESENTATIONS GRAPHIQUES DU BLER POUR CHAQUE DISQUE	40
- Courbes en fonction du rayon	
- Représentations de surface	
ANNEXE 2 VALEURS DES TAUX D'ERREURS NUMERIQUES POUR CHAQUE DISQUE	110
- BLER moyen sur la totalité du disque	
- BLER max (1 minute) sur le disque	
- Somme E22 sur la totalité du disque	
- Somme E32 sur la totalité du disque	

1. PRESENTATION DE L'ETUDE

Le Laboratoire National d'Essais réalise des analyses de qualité des CD-R depuis une dizaine d'années, soit dans le cadre d'études soit dans le cadre d'essais pour des fournisseurs de CD-R.

En 2002, il a été décidé de constituer une collection de 69 CD-R comportant 53 références différentes, afin d'évaluer leur dégradation au cours du temps. Ces disques sont conservés dès lors dans des conditions climatiques relativement stables : température comprise entre 20 et 25 °C, taux d'hygrométrie inférieur à 60%, absence de lumière. Tous les disques avaient subi au moins une analyse des taux d'erreurs, juste après leur gravure. En septembre 2003, une nouvelle analyse a été effectuée qui a montré une dégradation significative d'une dizaine de disques. La synthèse des analyses de cette époque a été effectuée dans un rapport LNE daté de septembre 2004 ^[1].

Il a été décidé en 2009 de procéder à de nouvelles analyses de la collection, afin de constater les dégradations après une conservation d'une durée qui est maintenant comprise, selon les disques, entre 7 et 9 années. Cette investigation a été soutenue par la Mission de la Recherche et de la Technologie du Ministère de la Culture et de la Communication. Au-delà de l'importance des dégradations et du nombre de disques concernés, on étudie plus en détail la nature des dégradations de certains disques (paramètres, zones du disque concernées, etc.). En effet à l'heure actuelle, on dispose de très peu d'informations sur les causes physiques qui produisent des taux d'erreurs en lecture. L'analyse détaillée du signal issu de la tête de lecture dans les parties dégradées et non dégradées de certains disques permet de faire le lien entre la dégradation physique et les taux d'erreurs mesurés.

[1] Etude LNE N° 021 / 2000 – Rapport du 13 septembre 2004 – B. Courbet, L. Faille, C.Hélot, JM Lambert
Création d'un pôle de compétence pour la conservation des informations enregistrées sur disques optiques numériques

2. DESCRIPTION DE LA COLLECTION DE CD-R

Les disques proviennent d'essais réalisés au LNE de 2000 à 2002. Ils ont été gravés entre juin 2000 et janvier 2003. L'échantillon comprend 69 disques de 53 références différentes, chaque référence correspondant à un approvisionnement distinct associé à un essai. Une même référence peut être représentée par plusieurs disques (de 1 à 3). Dans ce cas, il s'agit de disques gravés par des graveurs différents.

Les caractéristiques des 69 disques (référence, gravure) sont données dans le tableau, page 5. Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques des graveurs utilisés.

Liste des graveurs utilisés

Code	Marque	Vmax	Modèle	type
D	Sony	8x	CRX-140S	PC (scsi)
E	Lite-On	12x	LTR-1240	PC (scsi)
F	Sony	12x	CRX-160E-RP	PC (ide)
G	HP	12x	9600si	PC (scsi)
I	Teac	12x	CD-W 512E	PC (ide)
K	Plextor	16x	Plexwriter	PC (ide)
Q	Plextor	40x	PX-W4012A	PC (ide)
R	LG	32x	GCE-8320B	PC (ide)
S	Sony	40x	CRX-195A	PC (ide)
U	Plextor	48x	PX-W4824A	Externe (usb2)
V	LG	48x	GCE-8480B	PC (ide)
AA	Philips	4x	CDR 820	salon
Hp8	HP	8x	9210i	PC (scsi)
lo	lomega	24x	Predator	Externe (usb2)
Ph24	Philips	24x	CDRW 2412A	PC (ide)
Sy32	Sony	32x	?	PC
Gravpc	?	?	?	PC

Le tableau suivant donne la description des différentes références de CD-R. Le modèle, la capacité (exprimée en MBytes ou en durée en lecture 1x), les vitesses possibles ou maximales de gravure sont reprises des indications figurant sur l'étiquette du disque ou de son boîtier. Le code ATIP, inscrit dans le sillon du disque, est lisible par logiciel et permet d'identifier le fabricant. La nature de la couche sensible ("dye") est déduite de son aspect visuel (couleur) et du dernier chiffre du code ATIP, les valeurs à partir de 5 correspondant normalement à des phthalocyanines.

Liste des références de CD-R

53 REFERENCES DE CD-R							
N° REF	MARQUE	MODELE	Capacité	Vitesses	Code ATIP	Fabricant	Couche sensible
1	Fujifilm	Silver Disc	650 MB	1x - 12x	26 40	FUJI Photo Film	Cyanine
2	VIVASTAR	-	74 min - 650 MB	-	25 40	VIVASTAR	Cyanine (clair)
3	Neat	Sans étiquette			32 14	Prodisc	Cyanine
4	Carrefour	Audio	74 min	-	25 22	Hitachi Maxell	Cyanine
5	SOUND&DATA	For consumer	-	-	24 24	Computer Support Italy	Cyanine
6	LG	-	80 min - 700 MB	1 - 12x	21 45	Optical Disc	Phtalo
7	ESN	Professional	80 min - 700 MB	1x - 16x	32 19	Prodisc	Phtalo
8	Erntec	Sans étiquette		-	24 25	Computer Support Italy	Phtalo
9	SKC	Solus	80 min - 700 MB	1x - 20x	26 24	SKC	Cyanine (clair)
10	Basf	Extra	74 min - 650 MB	-	26 60	CMC Magnetics	Cyanine
11	Mam - Mitsui	Silver	700 MB	32x	27 57	Mitsui	Phtalo
12	Verbatim	DataLifePlus	700 MB	32x	34 22	Mitsubishi	Azo
13	Sony	Supremas	700 MB	-	24 12	Sony	Cyanine (clair)
14	MPO	Sans étiquette			25 07	MPO	Phtalo
15	Csita	Optimized for High Speed	80 min	-	24 26	Computer Support Italy	Phtalo
16	Hi Space	Metal CD	80 min - 700 MB	-	25 07	MPO	Phtalo
17	Omiz	Sans étiquette			26 66	CMC Magnetics	Phtalo
18	Intenso	Sans étiquette			32 19	Prodisc	Phtalo
19	Csita (8cm)	Sans étiquette			28 32	Auvistar	Cyanine
20	Verbatim	DataLifePlus - Super Azo - Crystal	700 MB	48x	34 23	Mitsubishi	Azo
21	Imation	-	80 min - 700 MB	32x	26 66	CMC Magnetics	Phtalo
22	Mmore	Sans étiquette			17 06	Moser Baer	Phtalo
23	MPO	Sans étiquette			25 07	MPO	Phtalo
24	MPO Hollande	Sans étiquette			23 16	Doremi	Phtalo
25	Exel	-	74 min - 650 MB	2x - 8x	24 24	Computer Support Italy	Cyanine (clair)
26	Silver Pro	-	74 Mn	-	26 40	FUJI Photo Film	Cyanine
27	Mitsui	Sans étiquette			27 55	Mitsui	Phtalo
28	Sun	Silver	74 min - 650 MB	-	28 26	Multi media	Phtalo
29	Acer	-	74 min - 650 MB	1x - 12x	28 12	Gigastorage	Cyanine (clair)
30	TDK	Reflex CD-R74	650 MB	1x - 8x	24 01	Taiyo Yuden	Cyanine
31	Verbatim	DataLifePlus - Super Azo - Crystal	700 MB	40x	34 23	Mitsubishi	Azo
32	TDK	Reflex Ultra CD-R80	80 min - 700 MB	32x	15 05	TDK	Phtalo
33	Verbatim	DataLifePlus - Metal Azo	650 MB	1x - 8x	34 21	Mitsubishi	Azo (foncé)
34	Mitsui	L 400 XX	700 MB	1x - 12x	27 55	Mitsui	Phtalo
35	Traxdata	Gold	74 min	8x	31 07	Ritek	Phtalo
36	Silver Pro	-	74 Mn	-	28 26	Multi media	Phtalo
37	Hi Space	-	74 Mn - 650 MB	2x - 4x - 8x	26 40	FUJI Photo Film	Cyanine
38	TDK	Reflex CD-R74	650 MB	1x - 8x	24 01	Taiyo Yuden	Cyanine
39	Fujifilm	-	650 MB	1x - 8x	26 40	FUJI Photo Film	Cyanine
40	Verbatim	DataLifePlus - Metal Azo	74 min - 650 MB	-	34 21	Mitsubishi	Azo (foncé)
41	Verbatim	DataLifePlus - Metal Azo	650 MB	1x - 16x	34 21	Mitsubishi	Azo (foncé)
42	Memorex	Professional	80 min - 700 MB	1x - 12x	15 17	Ritek	Phtalo
43	Mitsui	L 200 ME	650 MB	1x - 12x	27 56	Mitsui	Phtalo
44	TDK	d-view	650 MB	-	24 01	Taiyo Yuden	Cyanine (clair)
45	Pny	-	80 min - 700 MB	16x	27 01	Digital Storage	Cyanine (clair)
50	Pacoje	Sans étiquette			15 17	Ritek	Phtalo
51	Pacoje	Sans étiquette			27 19	Plasmon	Phtalo
52	Sony	CRM74 - Audio	74 min	-	24 15	Sony	Phtalo
53	Verbatim	DataLifePlus - Super Azo - Crystal	700 MB	48x	34 23	Mitsubishi	Azo
56	Omiz	Sans étiquette			17 06	Moser Baer	Phtalo
58	Maxell	CD-R 80 XL-S	700 MB	48x	24 01	Taiyo Yuden	Cyanine (clair)
59	Médiastar	Disc Power - Ultimax	80 min - 700 MB	48x	26 26	SKC	Phtalo
60	Silver	-	74 Mn	-	27 19	Plasmon	Phtalo

Note : Les références N° 20 et 53 correspondent au même modèle de CD-R.

D'autres références (1-39 / 27-34 / 14-23 / 30-38-44 / 33-40-41) de même marque et de même code ATIP ne sont pas de même modèle. Elles diffèrent en terme de présentation (étiquette) et parfois de vitesse de gravure maximale affichée sur le boîtier ou le disque.

Liste des CD-R de la collection

N° CD-R	REFERENCE DE CD-R			GRAVURE			
	N° REF	MARQUE	Code ATIP	N° graveur	Remplissage	DATE	
1	1	Fujifilm	26	40	F	70 minutes	oct-01
2	2	VIVASTAR	25	40	G	70 minutes	oct-01
3	3	Neat	32	14	F	70 minutes	oct-01
4	4	Carrefour	25	22	D	72 minutes	mai-00
5	5	SOUND&DATA	24	24	Hp8	71 minutes	mai-00
6	6	LG	21	45	F	80 minutes	mars-01
7	7	ESN	32	19	F	80 minutes	mars-01
8	8	Emtec	24	25	E	77 minutes	mars-01
9	8	Emtec	24	25	G	77 minutes	avr-01
10	9	SKC	26	24	G	76 minutes	oct-01
11	9	SKC	26	24	I	76 minutes	oct-01
12	10	Basf	26	60	D	71 minutes	oct-00
13	10	Basf	26	60	Hp8	71 minutes	oct-00
14	11	Mitsui	27	57	R	77 minutes	mai-02
15	12	Verbatim	34	22	Q	77 minutes	juin-02
16	12	Verbatim	34	22	R	77 minutes	juin-02
17	12	Verbatim	34	22	Ph24	77 minutes	juin-02
18	13	Sony	24	12	Q	77 minutes	juin-02
19	13	Sony	24	12	R	77 minutes	juin-02
20	14	MPO	25	07	R	77 minutes	mai-02
21	14	MPO	25	07	io24	76 minutes	juin-02
22	15	Csita	24	26	V	77 minutes	déc-02
23	16	Hi Space	25	07	V	77 minutes	déc-02
24	17	Omiz	26	66	U	77 minutes	déc-02
25	18	Intenso	32	19	U	77 minutes	déc-02
26	19	Csita (8cm)	28	32	V	18 minutes	déc-02
27	20	Verbatim	34	23	G	77 minutes	janv-03
28	21	Imation	26	66	sy32	77 minutes	juil-02
29	21	Imation	26	66	Q	77 minutes	juil-02
30	22	Mmore	17	06	Q	77 minutes	juil-02
31	23	MPO	25	07	Q	77 minutes	juil-02
32	23	MPO	25	07	R	77 minutes	juil-02
33	23	MPO	25	07	S	77 minutes	juil-02
34	24	MPO Hollande	23	16	Q	77 minutes	juil-02
35	24	MPO Hollande	23	16	R	77 minutes	juil-02
36	24	MPO Hollande	23	16	S	77 minutes	juil-02
37	25	Exel	24	24	D	71 minutes	juil-00
38	26	Silver Pro	26	40	D	71 minutes	juil-00
39	26	Silver Pro	26	40	hp8	71 minutes	juil-00
40	27	Mitsui	27	55	hp8	71 minutes	juil-00
41	28	Sun	28	26	hp8	71 minutes	juil-00
42	29	Acer	28	12	hp8	69 minutes	oct-00
43	30	TDK	24	01	gravPC	71 minutes	oct-00
44	31	Verbatim	34	23	R	77 minutes	juin-02
45	32	TDK	15	05	Q	77 minutes	juin-02
46	33	Verbatim	34	21	gravPC	71 minutes	oct-00
47	34	Mitsui	27	55	gravPC	71 minutes	oct-00
48	35	Traxdata	31	07	D	71 minutes	oct-00
49	35	Traxdata	31	07	hp8	71 minutes	oct-00
50	36	Silver Pro	28	26	D	71 minutes	oct-00
51	36	Silver Pro	28	26	hp8	71 minutes	oct-00
52	37	Hi Space	26	40	hp8	71 minutes	juil-00
53	38	TDK	24	01	hp8	71 minutes	juil-00
54	39	Fujifilm	26	40	hp8	71 minutes	juil-00
55	40	Verbatim	34	21	hp8	71 minutes	juil-00
56	41	Verbatim	34	21	G	70 minutes	sept-01
57	42	Memorex	15	17	I	76 minutes	oct-01
58	43	Mitsui	27	56	G	70 minutes	oct-01
59	44	TDK	24	01	I	70 minutes	sept-01
60	45	Pny	27	01	K	76 minutes	oct-01
61	50	Pacoje	15	17	R	77 minutes	sept-02
62	51	Pacoje	27	19	R	77 minutes	déc-02
63	52	Sony	24	15	AA	71 minutes	déc-02
64	53	Verbatim	34	23	S	77 minutes	déc-02
65	56	Omiz	17	06	V	77 minutes	déc-02
66	58	Maxell	24	01	V	77 minutes	déc-02
67	59	Médiastar	26	26	V	77 minutes	déc-02
68	60	Silver	27	19	hp8	71 minutes	juil-00
69	25	Exel	24	24	hp8	71 minutes	juil-00

Note : Le disque N°69, fortement dégradé dès 2003 comme le disque N°37 de la même référence, a été perdu et n'a de ce fait pas été testé en 2009.

3 ANALYSES DES CD-R

3.1 DESCRIPTION DES ANALYSES

La qualité d'un CD-R gravé est appréciée au moyen d'analyses effectuées avec des analyseurs de CD. Un analyseur comprend essentiellement un lecteur de CD, l'analyse portant sur :

- les taux d'erreurs numériques avant correction par les correcteurs C1 et C2 du système de correction propre aux CD,
- le signal HF issu de la tête de lecture (amplitude, contraste, symétrie, jitter, etc.),
- les signaux de guidage de la tête de lecture : guidage radial de suivi du sillon (tracking), guidage vertical pour la focalisation du faisceau laser.

Les différents paramètres mesurés par les analyseurs sont décrits ci-après.

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. Il existe deux niveaux de correction des erreurs numériques (correcteurs C1 et C2).

En lecture à la vitesse 1x, chaque seconde du signal comprend 7350 blocs numériques. On distingue plusieurs types d'erreurs numériques, selon qu'il s'agit d'erreurs avant ou après la correction apportée par le premier correcteur d'erreur C1 :

- Le BLER (« BLock Error Rate ») est le taux de blocs erronés à l'entrée du correcteur C1 (nombre de blocs erronés divisé par le nombre total de blocs),
- Une erreur de type E22 est détectée lorsqu'un bloc présente 2 erreurs à l'entrée du décodeur C2,
- Une erreur de type E32 est détectée lorsqu'un bloc présente plus de 2 erreurs à l'entrée du décodeur C2 (erreur non corrigible).

Le BLER ainsi que les nombres d'erreurs E22 et E32 sont enregistrés, pour chaque seconde du signal, par les analyseurs. Cinq valeurs globales ou « paramètres numériques » sont retenus pour qualifier le disque.

Les définitions de ces paramètres sont données dans le tableau suivant :

BLER	Nombre de blocs erronés par seconde à l'entrée du correcteur C1. Il est exprimé en s^{-1} . Sa valeur maximale possible est 7350. La valeur maximale recommandée est de 220.
E22	Nombre de secondes, pendant lesquelles le nombre d'erreurs du type E22 excède 15.
E32	Nombre de secondes comportant une ou plusieurs erreurs du type E32.

La présence d'erreurs E22 et E32, lorsque les valeurs du BLER restent modérées, reflète en général l'existence de défauts ponctuels localisés sur la surface du disque, comme par exemple des salissures ou des rayures, mais aussi des taches au niveau de la couche sensible et provenant de la fabrication du disque ou d'un vieillissement ponctuel.

Les données relatives aux erreurs numériques sont directement issues du lecteur, via son interface. Un logiciel d'exploitation de ces données est donc relativement facile à réaliser. Ainsi, beaucoup d'analyseurs ne traitent que ces taux d'erreurs. Par contre, l'analyse des signaux HF et de guidage de la tête de lecture suppose un appareil spécifique et les analyseurs qui traitent ces signaux sont beaucoup plus onéreux. Les analyses effectuées sur la collection de CD-R ont été faites par ces deux types d'analyseur.

L'appréciation de la qualité porte en premier lieu sur les paramètres numériques et surtout sur les erreurs incorrigibles (E32). En effet, l'apparition d'erreurs incorrigibles indique que certaines données gravées sur le CD-R ne pourront pas être récupérées, tout au moins avec le lecteur et la vitesse de lecture utilisée par l'analyseur. Les paramètres liés aux signaux HF et de guidage peuvent être utiles pour mettre en évidence la nature de la dégradation.

Des représentations de surface des paramètres (en particulier Bler) sont très intéressantes, car elles permettent de localiser les défauts. Elles ne sont pas fournies par tous les analyseurs.

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.

VA	Accélération verticale Mesure de l'accélération du système d'asservissement dans sa direction verticale (focalisation) pour les fréquences inférieures à 500 Hz.
RA	Accélération radiale Mesure de l'accélération radiale pour les fréquences inférieures à 500 Hz exprimée en m/s ² . Des valeurs trop élevées peuvent conduire à des sauts de piste
RN	Bruit radial Mesure du bruit radial exprimé en nm. Des valeurs de bruit radial trop importantes empêchent un bon suivi de piste.

Paramètres d'intensité et de contraste du signal HF

Ces paramètres sont mesurés uniquement en lecture à la vitesse 1x. Le signal HF est le signal issu de la tête de lecture optique. Il est modulé par les traits gravés sur le sillon et dont la longueur code l'information numérique. Les différents traits gravés (pits) et les espaces les séparant (lands) ont des longueurs qui peuvent prendre 9 valeurs multiples d'une même valeur élémentaire : 3T, 4T, 5T, 6T, 7T, 8T, 9T, 10T, 11T. En lecture à la vitesse 1x, T prend la valeur 231,4 ns : La modulation associée aux pits et lands les plus courts (modulation 3T) correspond à la fréquence 720 kHz, celle associée aux pits et lands les plus longs (modulation 11T) correspond à la fréquence 196 kHz.

On a retenu trois paramètres (REF, I11R, I3R) caractérisant les amplitudes des modulations du signal HF. L'analyseur mesure la valeur de ces paramètres sur des périodes élémentaires de 1 seconde.

REF	Réflectivité : Intensité de la lumière réfléchiée par les lands 11T, par comparaison à un réflecteur de référence. La valeur minimale exigée est de 60%.
I11R	Amplitude de la modulation 11T par rapport au niveau maximal du signal HF. La valeur minimale exigée est de 0,6.
I3R	Amplitude de la modulation 3T par rapport au niveau maximal du signal HF. La valeur minimale exigée est de 0,3.

Les paramètres I11R et I3R quantifient le contraste entre les zones brûlées (pits) et les zones non brûlées (lands). I3R est toujours plus faible que I11R 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 soit mesurés par période élémentaire de 1 seconde (SYM) ou de 30 secondes (Jitter et Déviations).

SYM	<p>Symétrie. C'est l'écart entre les valeurs moyennes (offset) associées aux modulations 3T et 11T, par rapport au niveau maximal du signal HF.</p> <p>La valeur optimale de ce paramètre est 0. Les limites recommandées sont -15% et +10%</p>
Jitter	<p>Ecart-type de la distribution des longueurs des différentes zones (exprimé en ns). Le jitter est mesuré pour chaque modulation (3T, 4T, etc..) et pour les 2 types de zones (pits et lands); au total 18 valeurs de jitter sont donc relevées.</p> <p>Dans le cadre de cette étude, on a retenu :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La moyenne des 18 valeurs (Jitter moyen) - La valeur maximale de ces 18 valeurs (Jitter MAX) <p>La valeur maximale exigée est de 35 ns</p>

La Symétrie prend des valeurs positives 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 la symétrie reste proche de zéro.

Le jitter est lié aux variations aléatoires de positionnement longitudinal pendant le brûlage. Un niveau élevé de ce paramètre est très défavorable pour le décodage du signal HF.

3.2 DATES DES ANALYSES

Des analyses des disques gravés ont été réalisées sur les périodes suivantes :

- analyse initiale après gravure (2000-2002)
- en 2003 (septembre)
- en 2004 (avril-mai)
- en 2009 (avril à juin)

3.3 APPAREILLAGE

Trois systèmes d'analyse ont été utilisés pour le suivi de la collection de CD-R. Le tableau suivant résume les caractéristiques de ces trois systèmes qui ont quelque peu évolués entre 2000 et 2009.

Caractéristiques des trois systèmes d'analyse

MARQUE		AudioDev			CDA / DaTARIUS		Clover
MODELE		CATS SA300			CDA 2000	R 40X E	DVX
ROBOTISATION		NON			NON		OUI
Mise en service		janvier-02	mars-03	nov-06	avril-00	juillet-04	juillet-07
Système d'exploitation		IBM OS2	Windows NT	Windows XP	Windows NT	Windows XP	Windows XP
Version logicielle		-	2.x	3.x	-	1.2	2.3.6
Lecteur	Marque	PHILIPS			PLEXTOR		PLEXTOR
	Modèle	référence			PX-32TSi	PX-W4012TS	?
	Type	Tête de lecture mono-faisceau			Tête de lecture tri-faisceaux		tri-faisceaux
	Vitesse Max	1x (CLV)			24x ⁽¹⁾	40x (CAV)	40x (CAV)
Types d'analyse	Taux d'erreurs	OUI			OUI		OUI
	Signal HF	OUI			NON		OUI
	Guidage tête	OUI			NON		NON
Mapping des paramètres		OUI			NON	OUI ⁽²⁾	NON

(1) Début en 32x CAV puis 24x CLV lorsque la vitesse réelle 24x est atteinte

(2) Mapping (représentation de surface) possible pour le seul paramètre Bler

Analyseur Audio Development

Cet analyseur (modèle CATS SA300) a été acheté début 2002. Il n'a de ce fait pas pu être utilisé pour l'ensemble de la collection pour la mesure initiale, mais seulement pour les disques gravés à partir de 2002 (29 CD-R sur 69).

Il dispose d'un lecteur qui n'a pas changé depuis l'achat de la machine en 2002. Il s'agit d'un lecteur d'origine PHILIPS qui peut être considéré comme un lecteur de référence. La tête de lecture est mono-faisceau, contrairement à la quasi-totalité du parc des lecteurs actuels qui ont des têtes de lecture tri-faisceaux.

Le système d'exploitation du PC et la version du logiciel d'analyse ont changé 2 fois depuis 2002. A l'achat, l'analyseur était connecté à un PC fonctionnant sous le système IBM OS2. On est passé au système Microsoft WINDOWS NT au début de 2003, puis au système WINDOWS XP en 2007.

Les analyses sont effectuées à la vitesse de lecture 1x. Elles donnent des informations sur les erreurs numériques (Bler, E22, E32, etc.) mais aussi sur les caractéristiques du signal HF issu de la tête de lecture (REF, I3, I11, SYM, etc.) et sur les caractéristiques des signaux d'asservissement de la tête de lecture (RN, RA, FE, etc.).

Analyseur CDA / DaTARIUS

Cet analyseur, distribué par la société CDAssociate a été acheté en 2000 (modèle CDA 2000). Il a été utilisé pour l'analyse initiale de l'ensemble de la collection et pour les analyses de 2003 et 2004. Suite à une panne, il a été remplacé fin 2004 par un analyseur similaire (modèle R 40X E, version 1.2) fourni par la société DaTARIUS qui a racheté entre temps CDAssociate.

Les deux versions utilisées de cet analyseur ont des lecteurs de marque PLEXTOR, mais de modèles différents : PX-32TSi pour le CDA 2000, PX-W4012TS pour le R 40X.

Cet analyseur ne donne que des informations sur les erreurs numériques (Bler, E22, E32, etc.). Seule la version R 40X permet d'obtenir une représentation de surface du Bler.

Les analyses peuvent être effectuées à différentes vitesses de lecture : jusqu'à 24x pour le CDA 2000 et 40x pour le R 40X. Les analyses initiales de 2000 à 2002, ainsi que les analyses de 2003 et 2004 ont été effectuées à la vitesse maximale du CDA 2000 soit 24x. Le lecteur du CDA 2000 fonctionne au début en mode CAV 32x (vitesse angulaire constante) puis, lorsque la vitesse 24x est atteinte, en mode CLV (vitesse linéaire constante). Les analyses de 2009 avec le R 40X ont également été effectuées à la vitesse de lecture 24x, mais le lecteur du R 40X est en mode CAV (vitesse angulaire constante) et la vitesse de transfert des données n'atteint 24x qu'en toute fin de disque.

Analyseur Clover

Cet analyseur (modèle DVX robotisé – version 2.2) a été acheté en 2007 et a été utilisé pour les analyses de 2009. Il est muni d'un lecteur CD / DVD de marque PLEXTOR.

3.4 ANALYSES REALISEES

L'ensemble des analyses effectuées aux différentes époques n'est pas homogène. Il manque par exemple une partie des analyses initiales avec l'analyseur AudioDev qui n'était pas disponible lorsque les disques les plus anciens ont été gravés. L'analyseur Clover acheté en 2007 n'a été utilisé que pour les analyses de 2009. Enfin, les analyses d'avril 2004 avec l'analyseur AudioDev n'ont été effectuées que sur une partie de la collection.

Le tableau ci-dessous donne le nombre de disques ayant subi chaque analyse. Le tableau de la page suivante donne la liste des analyses effectuées pour chaque disque.

Nombre de disques pour chaque analyse

	Analyse initiale (2000 à 2002)	Septembre 2003	Avril 2004	Avril 2009
Analyseur AudioDev CATS - 1x	29	68	35	67
Analyseur CDA2000 / DaTARIUS - 24x	69	68	68	68
Analyseur Clover DVX - 24x	-	-	-	68

Liste des analyses réalisées pour chaque disque de la collection

CD-R		Analyse initiale (T0)		Septembre 2003		Avril 2004		Avril 2009		
N°	Id LNE	CATS	CDA2000	CATS	CDA2000	CATS	CDA2000	CATS	DaTARIUS	Clover
1	1 F		X	X	X	X	X	X	X	X
2	2 G		X	X	X		X	X	X	X
3	3 F		X	X	X		X	X	X	X
4	4 D		X	X	X	X	X	X	X	X
5	5 Hp8		X	X	X	X	X	X	X	X
6	6 F		X	X	X	X	X	X	X	X
7	7 F		X	X	X	X	X	X	X	X
8	8 E		X	X	X	X	X	X	X	X
9	8 G		X	X	X		X	X	X	X
10	8 G		X	X	X	X	X	X	X	X
11	9 I		X	X	X	X	X	X	X	X
12	10 D		X	X	X		X	X	X	X
13	10 Hp8		X	X	X	X	X	X	X	X
14	11 R	X	X	X	X	X	X	X	X	X
15	12 Q	X	X	X	X	X	X	X	X	X
16	12 R	X	X	X	X	X	X	X	X	X
17	12 Ph24	X	X	X	X	X	X	X	X	X
18	13 Q	X	X	X	X	X	X	X	X	X
19	13 R	X	X	X	X		X	X	X	X
20	14 R	X	X	X	X	X	X	X	X	X
21	14 io24		X	X	X		X	X	X	X
22	15 V	X	X	X	X		X	X	X	X
23	16 V	X	X	X	X		X	X	X	X
24	17 U	X	X					NM	X	X
25	18 U	X	X	X	X		X	X	X	X
26	19 V	X	X	X	X		X	X	X	X
27	20 G	X	X	X	X		X	X	X	X
28	21 sy32	X	X	X	X	X	X	X	X	X
29	21 Q	X	X	X	X	X	X	X	X	X
30	22 Q	X	X	X	X	X	X	X	X	X
31	23 Q	X	X	X	X		X	X	X	X
32	23 R	X	X	X	X		X	X	X	X
33	23 S	X	X	X	X	X	X	X	X	X
34	24 Q	X	X	X	X		X	X	X	X
35	24 R	X	X	X	X		X	X	X	X
36	24 S	X	X	X	X	X	X	X	X	X
37	25 D		X	X	X		X	X	X	X
38	26 D		X	X	X		X	X	X	X
39	26 hp8		X	X	X	X	X	X	X	X
40	27 hp8		X	X	X	X	X	X	X	X
41	28 hp8		X	X	X	X	X	X	X	X
42	29 hp8		X	X	X	X	X	X	X	X
43	30 gPC		X	X	X		X	X	X	X
44	31 R		X	X	X		X	X	X	X
45	32 Q		X	X	X		X	X	X	X
46	33 gPC		X	X	X		X	X	X	X
47	34 gPC		X	X	X		X	X	X	X
48	35 D		X	X	X	X	X	X	X	X
49	35 hp8		X	X	X		X	X	X	X
50	36 D		X	X	X	X	X	X	X	X
51	36 hp8		X	X	X		X	X	X	X
52	37 hp8		X	X	X	X	X	X	X	X
53	38 hp8		X	X	X		X	X	X	X
54	39 hp8		X	X	X		X	X	X	X
55	40 hp8		X	X	X	X	X	X	X	X
56	41 G		X	X	X		X	X	X	X
57	42 I		X	X	X	X	X	X	X	X
58	43 G		X	X	X		X	X	X	X
59	44 I		X	X	X		X	X	X	X
60	45 K		X	X	X		X	X	X	X
61	50 R	X	X	X	X		X	X	X	X
62	51 R	X	X	X	X	X	X	X	X	X
63	52 AA	X	X	X	X	X	X	X	X	X
64	53 S	X	X	X	X		X	X	X	X
65	56 V	X	X	X	X	X	X	X	X	X
66	58 V	X	X	X	X	X	X	X	X	X
67	59 V	X	X	X	X		X	X	X	X
68	60 hp8		X	X	X	X	X	X	X	X
69	25 hp8		X	X	X	X	X			

4 RESULTATS DES ANALYSES

4.1 TAUX D'ERREURS NUMERIQUES

BLER

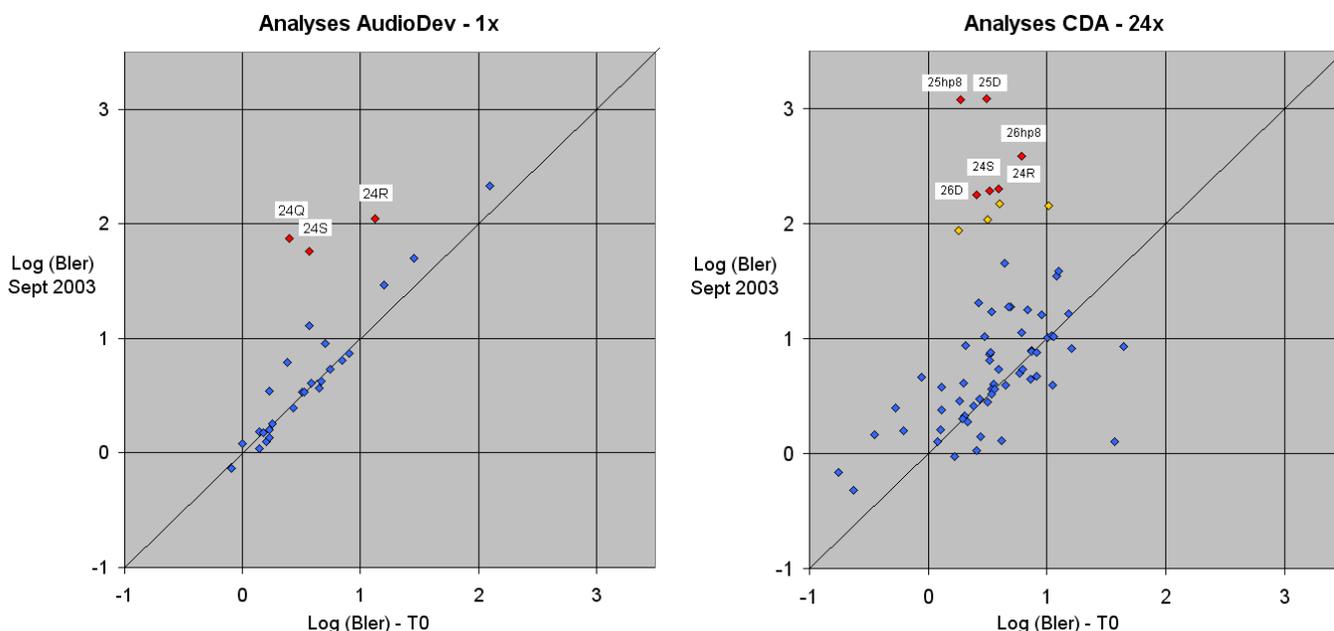
Les courbes de BLER de tous les disques sont données en annexe 1 (une page par disque). Les résultats des analyses avec les trois analyseurs sont portés sur trois graphes différents. Les courbes relatives aux différentes époques d'analyse sont superposées sur chaque graphe, de manière à voir l'évolution de la dégradation si elle existe. L'abscisse des graphiques représente le temps en lecture à la vitesse 1x (entre 0 et 70-80 minutes). La résolution est de 1 minute, c'est à dire que chaque valeur représente la moyenne du BLER sur 1 minute. En ordonnée, on a porté la quantité Log (BLER) pour rendre visible à la fois les faibles valeurs du BLER, par exemple inférieures à 1 (logarithme inférieur à 0) et la valeur maximale de 7350 (logarithme égal à 3,86).

Les représentations de surface du BLER sont également données en annexe 1 pour les disques les plus dégradés. Elles sont issues des analyses de 2009 effectuées avec les analyseurs AudioDev et DaTARIUS. L'importance du BLER est représentée par un code de couleur. Les deux analyseurs n'utilisent pas le même code. Avec l'analyseur AudioDev, les faibles valeurs du BLER sont représentées en bleu foncé et les fortes valeurs en rouge, puis en noir, avec la couleur verte en intermédiaire entre le bleu et le rouge. Avec l'analyseur DaTARIUS, les faibles valeurs du BLER sont représentées en blanc et les fortes valeurs en rouge avec la couleur verte en intermédiaire. L'échelle des couleurs n'est pas exactement la même pour tous les disques pour faire ressortir au mieux la localisation de la dégradation. Il s'agit donc de représentations qualitatives.

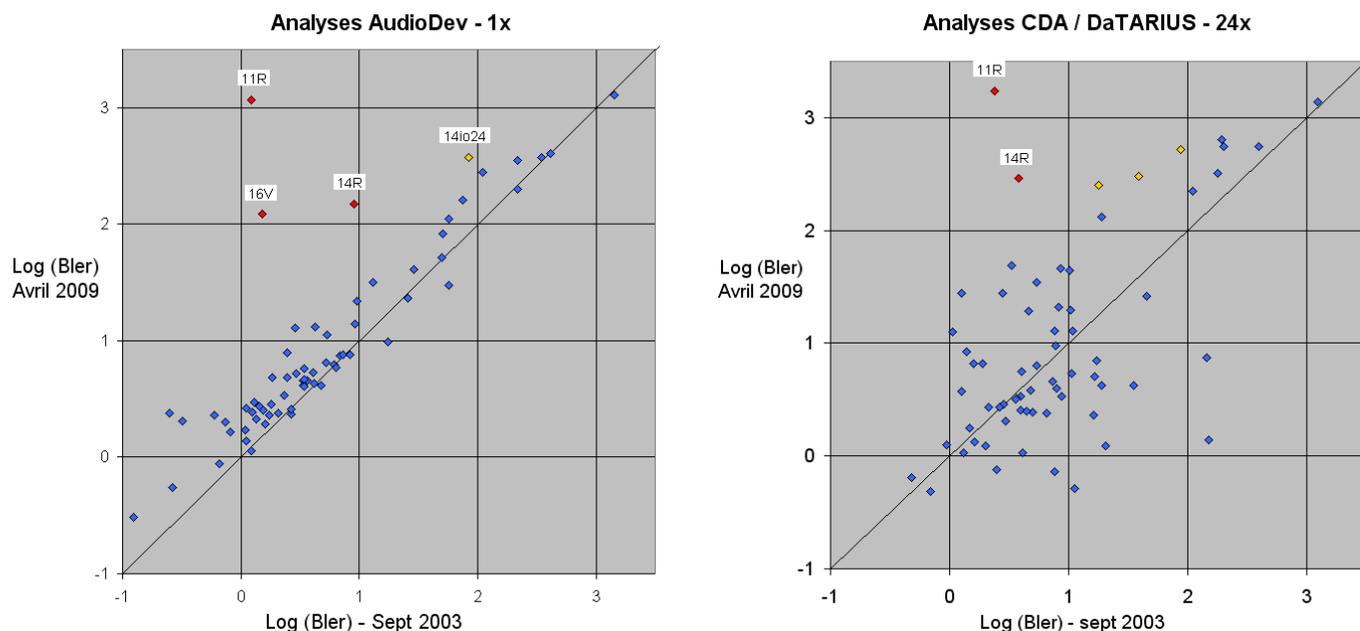
La valeur moyenne du BLER sur l'ensemble du disque et la valeur maximale sur 1 minute sont données dans les tableaux de l'annexe 2 (valeurs logarithmiques). Les valeurs du BLER supérieures à 50 (Log supérieur à 1,7) sont portées sur fond jaune, les valeurs supérieures à 220 (Log supérieur à 2,34) sont portées sur fond rouge.

Les graphes ci-après permettent d'apprécier l'évolution du BLER entre T0 et septembre 2003 d'une part et entre septembre 2003 et avril 2009 d'autre part. Sur ces graphes, un point représente un disque, l'abscisse et l'ordonnée étant les valeurs de Log (BLER) à deux époques différentes. Si aucune évolution du BLER n'existe entre les deux époques, le point est situé sur la diagonale principale du graphe. Il est au-dessus de cette diagonale si le BLER a augmenté.

Evolution du BLER moyen des différents disques entre T0 et septembre 2003



Evolution du BLER moyen des différents disques entre septembre 2003 et avril 2009



Les valeurs de BLER obtenues avec l'analyseur CATS sont plus cohérentes que celles obtenues avec l'analyseur CDA / DaTARIUS : on n'observe pratiquement pas d'améliorations (diminution) du taux de Bler avec le temps.

Avec l'analyseur CDA / DaTARIUS, les résultats de 2009 sont assez souvent sensiblement meilleurs que ceux de 2003 ou 2004 (vrai pour environ 40% des disques). Ceci est certainement à mettre sur le compte du remplacement de l'analyseur CDA fin 2004, ayant entraîné le changement du modèle de lecteur (cf. § 3.3.).

L'analyseur Clover donne généralement les taux d'erreurs BLER les plus faibles pour les analyses de 2009, sans doute en raison de son lecteur qui est d'un modèle plus récent que celui de l'analyseur DaTARIUS.

Taux d'erreurs E22 et E32

Les erreurs E22 et E32 apparaissent soit associées à des valeurs du BLER très importantes (de l'ordre de 1000), soit en raison de défauts localisés sur le disque, tels que des taches.

Les défauts localisés affectent peu le BLER en raison de l'effet de moyenne sur 1 seconde qui représente plusieurs tours de sillon. Les défauts localisés génèrent par contre des erreurs qui ne peuvent entièrement être récupérées par le correcteur d'erreur C1, d'où l'apparition d'erreurs de type E22 ou E32.

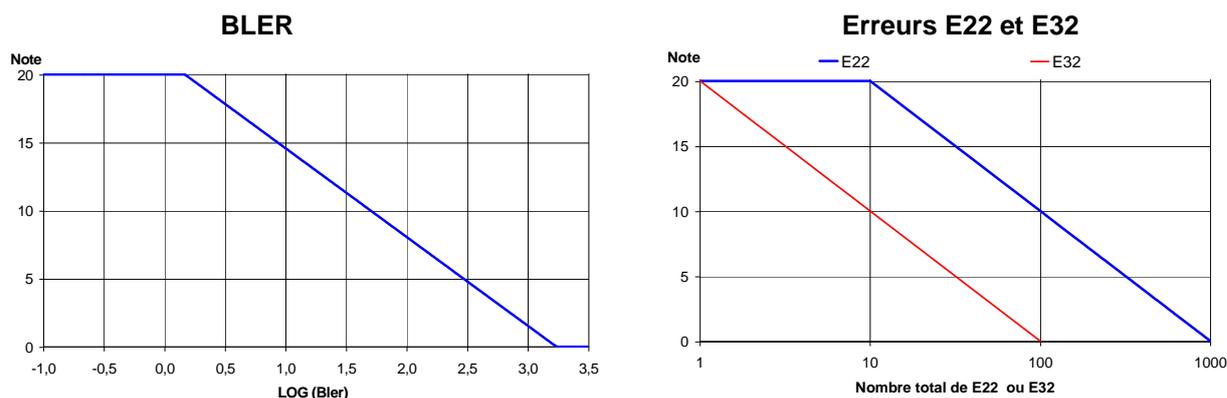
On donne dans les tableaux de l'annexe 2 les valeurs sommées des E22 et des E32 sur l'ensemble du disque (valeurs du logarithme). Pour E22, les valeurs sont portées sur fond jaune dès lors qu'elles sont supérieures à 100 et sur fond rouge si elles sont supérieures à 1000. Pour E32, les valeurs sont portées sur fond jaune dès lors qu'elles sont supérieures à 10 et sur fond rouge si elles sont supérieures à 100. On peut considérer qu'il y a perte de données possible avec un nombre total de E32 supérieur à 10 et certain lorsqu'il est supérieur à 100. L'absence de valeur (fond blanc) indique qu'il n'y a aucun E22 ou E32 sur l'ensemble du disque.

Classement des disques selon leur niveau de dégradation

Afin de réaliser une synthèse des résultats relatifs aux erreurs numériques, on calcule, pour chaque analyse une note pouvant varier de 0 à 20 pour les 4 quantités suivantes :

- BLER moyen,
- BLER maximal sur une minute,
- somme des E22,
- somme des E32.

La relation entre la note et la valeur des paramètres est montrée sur les graphiques ci-dessous.



Une note de synthèse est calculée, pour chaque analyse, en réalisant une moyenne pondérée des 4 notes. Le coefficient de pondération est égal à 2 pour les paramètres BLER moyen et BLER max ; il est égal à 1 pour les paramètres E22 et E32. Cette pondération privilégie les dégradations larges par rapport aux dégradations ponctuelles telles que des petites taches.

Enfin, pour chaque disque et chaque période, on effectue une moyenne des notes de synthèse obtenues avec l'analyseur AudioDev et l'analyseur CDA / DaTARIUS. Les résultats obtenus avec l'analyseur Clover ne sont pas pris en compte pour ne pas introduire un biais dans les résultats de 2009 par rapport aux périodes précédentes pour lesquelles cet analyseur n'a pas été utilisé.

Le tableau de la page suivante donne les notes obtenues pour chaque disque aux différentes périodes. Elles sont portées sur fond jaune, lorsqu'elles sont inférieures à 10 et sur fond rouge en dessous de 5. On donne également l'écart de notes pour 2003 et 2009 avec la note initiale. L'écart entre la note de 2009 et la note initiale est utilisé pour le classement des disques, les disques les plus dégradés figurant en haut du tableau. Une description est donnée pour les disques dont la dégradation est significative. Elle s'appuie principalement sur les représentations de surface du BLER figurant annexe 1.

Dans le tableau ci-dessous on considère différentes classes de dégradation selon l'écart de note par rapport à la note initiale. On peut constater que le nombre des disques ayant subi une très forte dégradation (écart de note supérieur à 10) ou une forte dégradation (écart de note supérieur à 5) a doublé entre 2003 et 2009. Les disques à forte ou très forte dégradation en 2009 sont au nombre de 18 et représente environ un quart de la collection (26%). A l'opposé près de la moitié des disques n'ont subi quasiment aucune évolution depuis l'origine (écart de note inférieur à 1).

Nombre de disques dégradés

Écart de notes	T0 - 2003	T0 - 2009
- supérieur à 10	5 (7%)	10 (14%)
- compris entre 5 et 10	4 (6%)	8 (12%)
- compris entre 1 et 5	21 (30%)	17 (25%)
- inférieur à 1	39 (57%)	34 (49%)

Notes d'erreurs numériques (de 0 à 20) – Disques classés selon leur niveau de dégradation

CD-R		TD	Sept 2003	Avril 2004	Avril 2009	Ecart de notes		Description de la dégradation		
N°	Id.LNE					TD-2003	TD-2009	Amplitude	évolution	localisation
69	25 hp8	17,2	1,9	1,0	0,0	15,3	17,2	Très forte	dès 2003	non uniforme - par zones
21	14 io24	16,2	2,3	3,8	0,0	13,9	16,2	Très forte	progressive de 2003 à 2009	pourtour extérieur du disque
37	25 D	15,9	1,1	2,3	0,0	14,8	15,9	Très forte	dès 2003	non uniforme - par zones
23	16 V	15,5	13,6	8,9	0,0	1,8	15,5	Très forte	constatée en 2009	en arcs de cercle - vers le bord externe
39	26 hp8	15,1	2,0	1,9	0,3	13,1	14,9	Très forte	dès 2003	anneau - près du bord externe mais sans le toucher
20	14 R	14,6	10,1	10,9	0,0	4,4	14,5	Très forte	constatée en 2009	pourtour extérieur du disque
14	11 R	13,7	9,9	9,4	0,0	3,8	13,7	Très forte	constatée en 2009	sur le dernier tiers - augmentant vers le bord externe
36	24 S	15,8	7,7	7,8	3,7	8,1	12,1	Très forte	progressive de 2003 à 2009	près des bords interne et externe (taches)
35	24 R	12,8	3,5	4,7	1,0	9,3	11,8	Très forte	progressive de 2003 à 2009	près des bords interne et externe
38	26 D	12,2	3,7	4,6	1,7	8,5	10,5	Très forte	dès 2003	anneau - près du bord externe mais sans le toucher
34	24 Q	16,0	7,9	7,5	6,4	8,1	9,6	Forte	progressive de 2003 à 2009	près des bords interne et externe
27	20 G	12,6	11,1	13,3	5,0	1,5	7,6	Forte	progressive de 2003 à 2009	générale sur tout le disque - plus forte vers le centre
1	1 F	15,2	11,1	11,0	7,8	4,1	7,4	Moyenne	progressive avec CDA	répartie
41	28 hp8	16,2	15,2	15,2	8,9	1,0	7,3	Moyenne	constatée en 2009	trace près du bord externe
64	53 S	13,9	10,1	16,3	6,8	3,8	7,1	Moyenne	2009 avec analyseur CDA	répartie - plus forte vers le centre
16	12 R	14,3	15,2	15,0	9,0	-0,8	5,3	Faible	2009 avec analyseur CDA	taches près du bord externe
42	29 hp8	16,4	14,3	13,6	11,2	2,1	5,3	Faible	constatée en 2009	trace près du bord externe
9	8 G	16,7	15,3	11,5	11,6	1,4	5,1	Faible	progressive de 2003 à 2009	petite tache
61	50 R	16,1	18,1	17,0	11,6	-2,0	4,5	Faible	2009 avec analyseur CDA	répartie - plus forte dans un large anneau
17	12 Ph24	12,2	11,4	13,7	7,8	0,8	4,4	Faible	2009 avec analyseur CDA	taches près du bord externe
51	36 hp8	15,7	11,6	8,9	11,7	4,1	4,0	Faible	progressive de 2003 à 2009	petite tache
47	34 gPC	20,0	17,4	19,1	16,0	2,6	4,0			
28	21 sy32	14,6	12,0	11,9	11,2	2,6	3,4			
2	2 G	16,1	12,2	14,0	12,8	4,0	3,3			
85	56 V	15,8	18,1	16,3	12,8	-2,2	3,1			
50	36 D	17,6	16,1	15,9	14,6	1,5	2,9			
33	23 S	15,3	15,8	15,3	12,4	-0,5	2,9			
26	19 V	15,6	12,1	11,1	13,2	3,5	2,3			
46	33 gPC	15,6	14,2	14,2	13,5	1,5	2,1			
6	6 F	18,3	17,4	13,9	16,2	0,9	2,1			
43	30 gPC	18,4	17,6	16,7	16,7	0,8	1,7			
44	31 R	14,6	13,8	15,2	12,9	0,8	1,7			
3	3 F	12,1	11,4	11,4	10,8	0,7	1,3			
32	23 R	13,9	14,8	12,5	12,6	-1,0	1,3			
11	9 I	17,6	15,4	16,4	16,4	2,3	1,2			
58	43 G	18,5	18,4	17,9	17,8	0,1	0,7			
49	35 hp8	20,0	19,6	19,0	19,8	0,4	0,2			
52	37 hp8	16,9	17,0	17,0	16,8	-0,1	0,0			
29	21 Q	15,1	15,2	15,1	15,1	-0,1	0,0			
60	45 K	15,3	11,8	15,8	15,3	3,5	0,0			
67	59 V	16,7	16,6	15,0	16,8	0,1	-0,2			
63	52 AA	15,8	12,1	14,2	16,1	3,7	-0,3			
12	10 D	14,6	12,1	11,4	14,9	2,4	-0,4			
62	51 R	11,1	13,6	10,3	11,6	-2,5	-0,5			
56	41 G	17,0	16,6	16,0	17,6	0,3	-0,6			
45	32 Q	12,4	13,0	12,2	13,0	-0,6	-0,6			
10	9 G	15,2	14,0	14,2	16,1	1,2	-0,9			
25	18 U	14,6	13,7	11,8	15,5	0,9	-0,9			
31	23 Q	16,0	16,9	13,6	17,0	-0,9	-1,0			
59	44 I	16,7	16,3	17,5	17,8	0,4	-1,1			
7	7 F	15,4	16,9	16,5	16,5	-1,5	-1,1			
48	35 D	16,4	16,0	14,9	17,6	0,4	-1,1			
55	40 hp8	13,1	14,6	15,4	14,3	-1,4	-1,2			
18	13 Q	14,6	14,2	12,2	16,0	0,4	-1,4			
66	58 V	15,9	16,7	16,0	17,5	-0,8	-1,6			
30	22 Q	15,3	15,3	17,3	17,2	0,1	-1,9			
24	17 U	13,5			15,4		-1,9			
68	60 hp8	14,0	16,0	15,2	16,0	-2,1	-2,0			
22	15 V	14,0	12,8	14,9	16,2	1,2	-2,2			
57	42 I	16,6	19,6	19,5	19,1	-3,0	-2,5			
19	13 R	12,2	14,8	12,4	14,6	-2,6	-2,5			
54	39 hp8	14,6	16,7	17,2	17,1	-2,2	-2,6			
15	12 Q	15,1	16,3	16,8	17,7	-1,2	-2,6			
4	4 D	11,5	13,6	11,7	14,1	-2,2	-2,7			
53	38 hp8	12,8	14,6	13,3	15,6	-1,8	-2,7			
5	5 Hp8	15,4	16,3	15,8	18,7	-0,9	-3,3			
13	10 Hp8	8,5	7,9	7,8	11,9	0,6	-3,5	Faible	aucune progression	arc très mince près du bord interne - existe déjà à TD
40	27 hp8	14,7	18,0	17,4	18,4	-3,3	-3,7			
8	8 E	13,9	15,8	15,6	18,0	-1,9	-4,1			

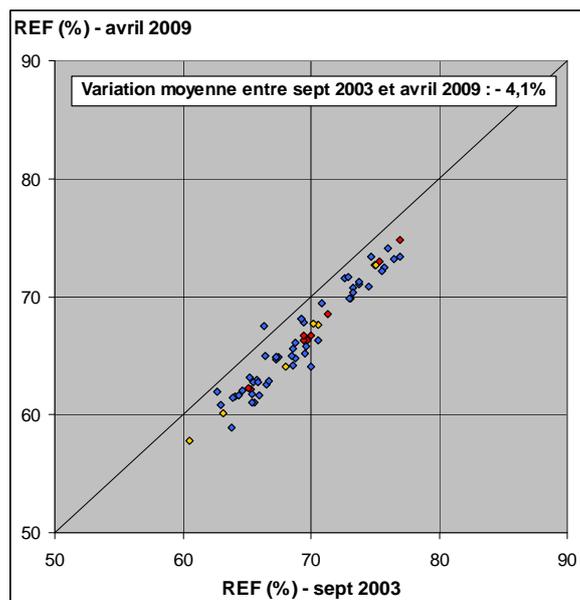
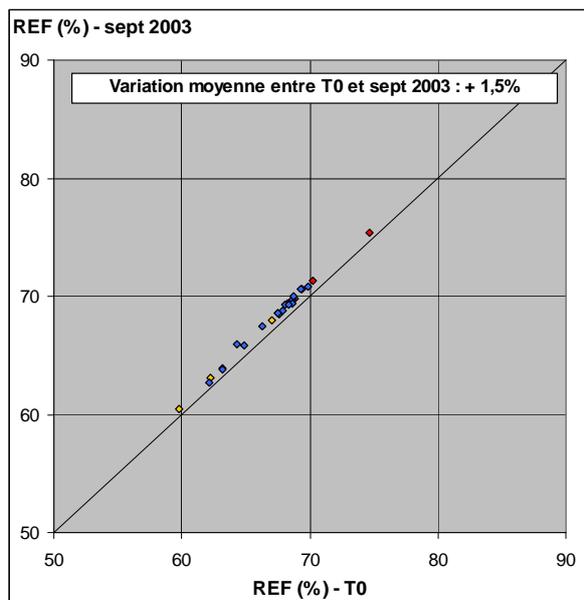
4.2 AMPLITUDE ET CONTRASTE DU SIGNAL HF

L'amplitude du signal HF est caractérisée par le paramètre REF. Les paramètres I11R et I3R caractérisent le contraste pour la modulation 11T et la modulation 3T. Enfin le paramètre SYM qualifie un éventuel écart entre la composante continue de la modulation 11T et la composante continue de la modulation 3T.

Les graphes ci-après donnent une représentation de ces quatre paramètres permettant de mettre en évidence leur évolution d'une part entre T0 et septembre 2003 (28 disques), d'autre part entre septembre 2003 et avril 2009 (58 disques). Chaque point représente un disque, l'abscisse étant la valeur du paramètre à une période et l'ordonnée la valeur du paramètre à une période ultérieure. Un disque qui ne présente pas d'évolution se trouve sur la diagonale principale du graphe. S'il est au-dessus de cette diagonale, cela est dû à une augmentation du paramètre ; s'il est au-dessous, cela est dû à une diminution du paramètre. Pour chaque paramètre, on calcule la variation relative entre 2 périodes (2003/T0 et 2009/2003). La moyenne de cette variation sur l'ensemble des disques figure en encadré (exprimée en pourcentage). Dans le cas du paramètre SYM, la moyenne porte sur les différences entre 2 périodes.

On a représenté les disques ne montrant pas ou peu de dégradation en terme d'erreurs numériques en bleu, les disques ayant une dégradation moyenne en orange et les disques à forte dégradation en rouge.

Amplitude



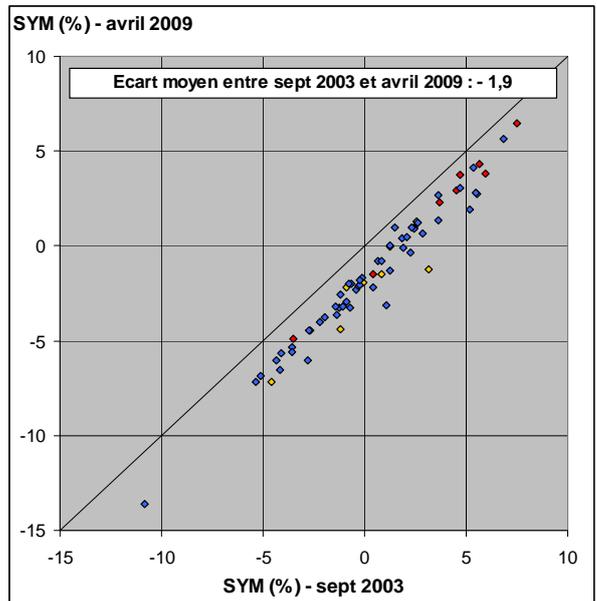
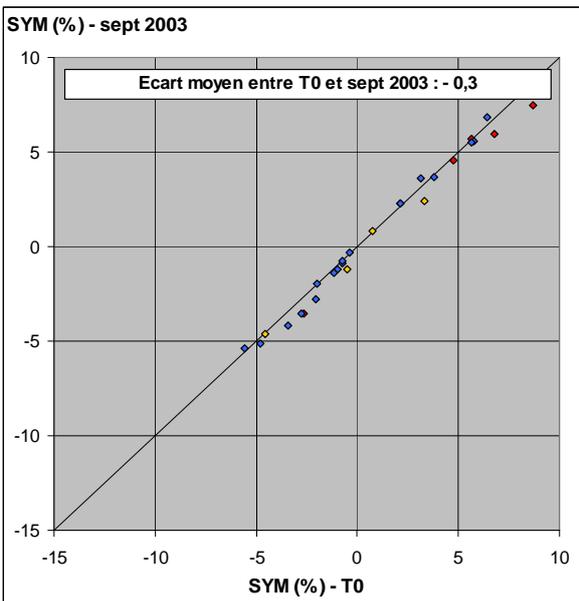
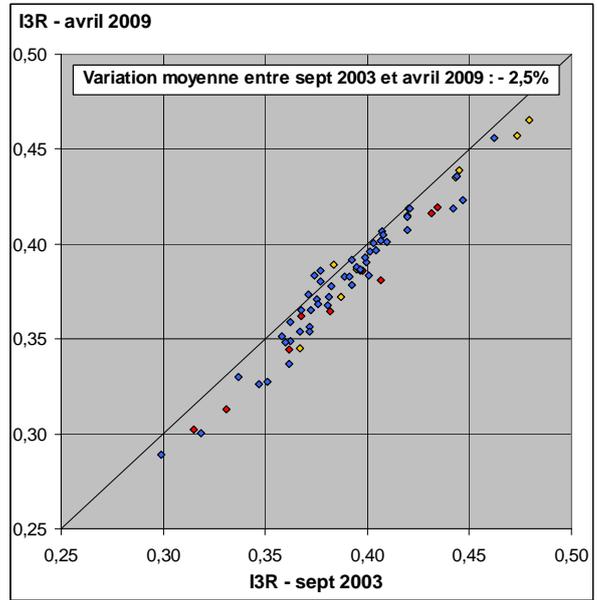
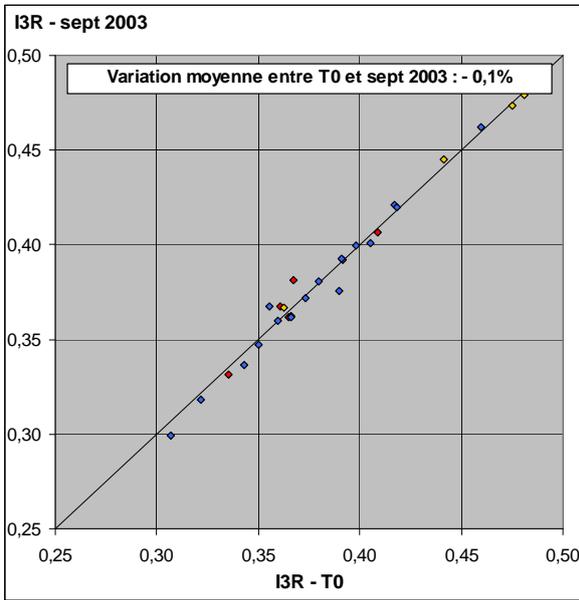
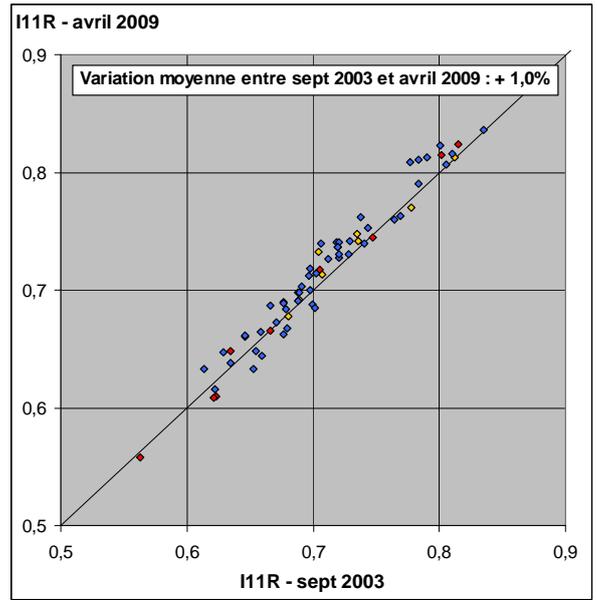
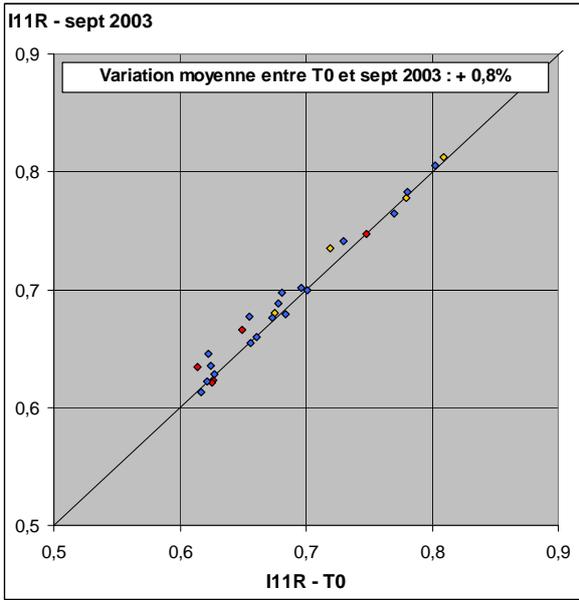
Pour l'ensemble des disques, le paramètre REF augmente légèrement entre T0 et septembre 2003 puis baisse entre 2003 et 2009. La baisse est de 4,1% en moyenne, sans toutefois être rigoureusement identique pour tous les disques.

Contraste des modulations

Les graphes de la page suivante font apparaître une légère augmentation du contraste de la modulation 11T entre T0 et 2009 (inférieur à 2% en moyenne) et une légère baisse du contraste de la modulation 3T entre 2003 et 2009 (2,5% en moyenne).

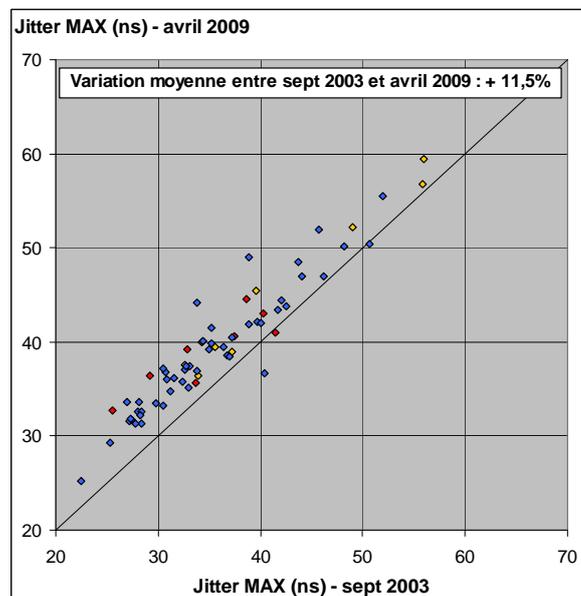
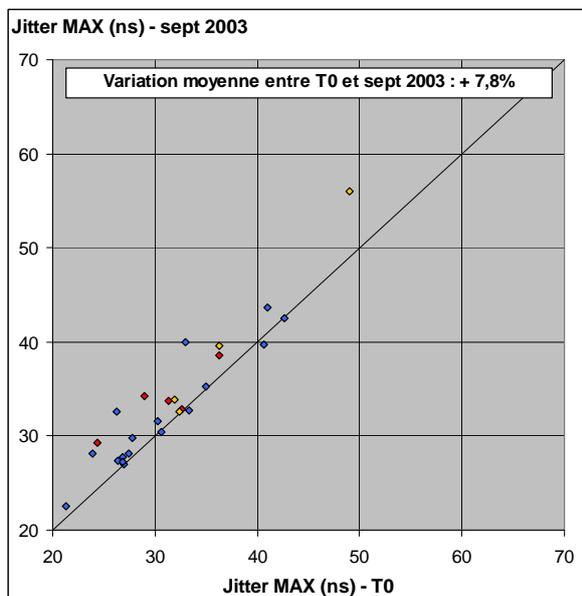
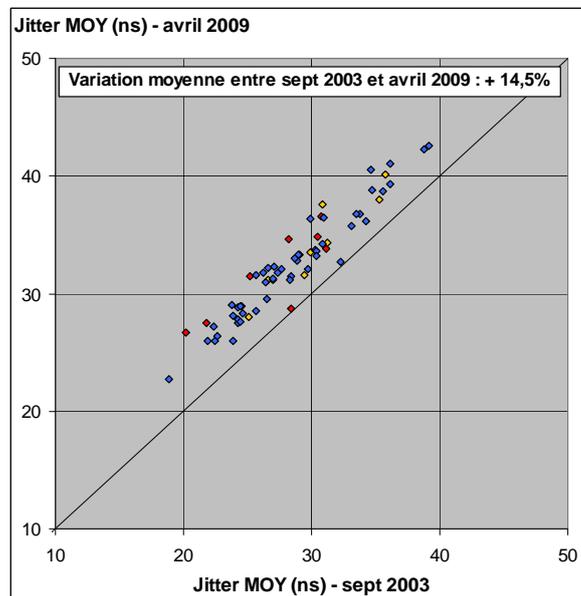
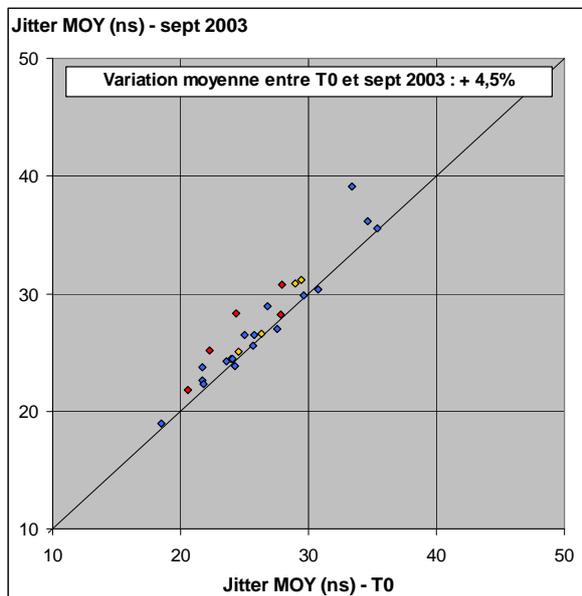
Symétrie

Quasi inchangée entre T0 et 2003, on constate, entre 2003 et 2009, une baisse de 1,9 en moyenne sur les valeurs du paramètre SYM, tous les disques étant concernés.



4.3 JITTER

Le jitter caractérise la distribution des longueurs des zones gravées (« pits ») et des zones non gravées (« lands »). De manière synthétique on s'intéresse au jitter MOY qui est la moyenne des jitters de chaque type de plage et au jitter MAX qui est le jitter le plus élevé. On donne ci-dessous les graphiques obtenus pour ces deux paramètres.

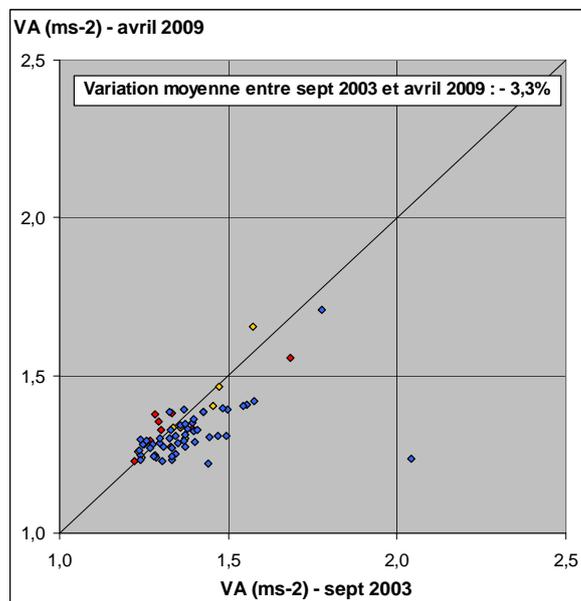
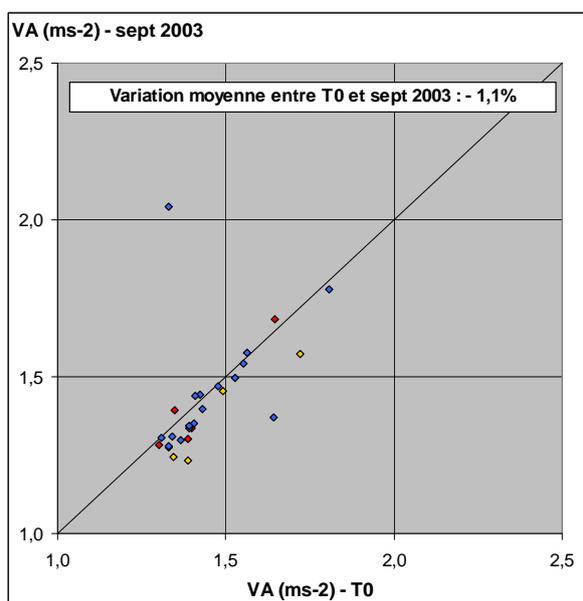


Pour pratiquement tous les disques, on constate une augmentation significative du jitter entre T0 et 2003 puis entre 2003 et 2009. Cette augmentation atteint en moyenne près de 20% en 2009. L'augmentation du jitter reflète une dégradation dans la précision des limites des zones brûlées. Elle doit normalement avoir une incidence sur le taux d'erreur BLER. Toutefois les disques dont la dégradation en terme d'erreurs numériques est très importante (points de couleur rouge et orange sur les graphes) ne se distinguent pas par une augmentation du jitter anormalement élevée.

4.4 PARAMETRES D'ASSERVISSEMENT DE LA TETE DE LECTURE

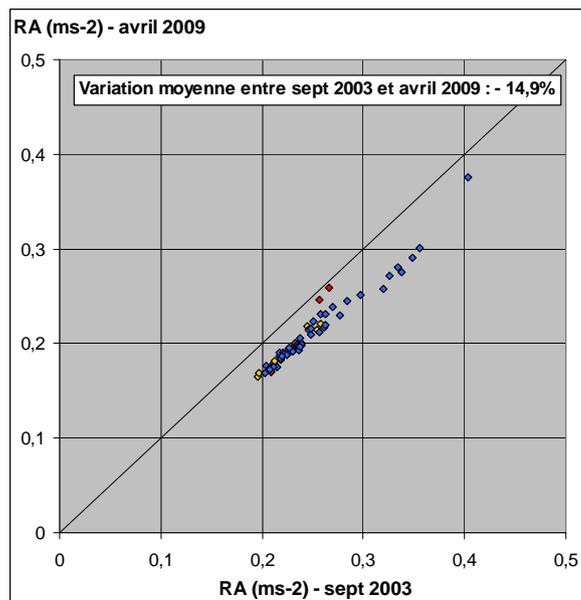
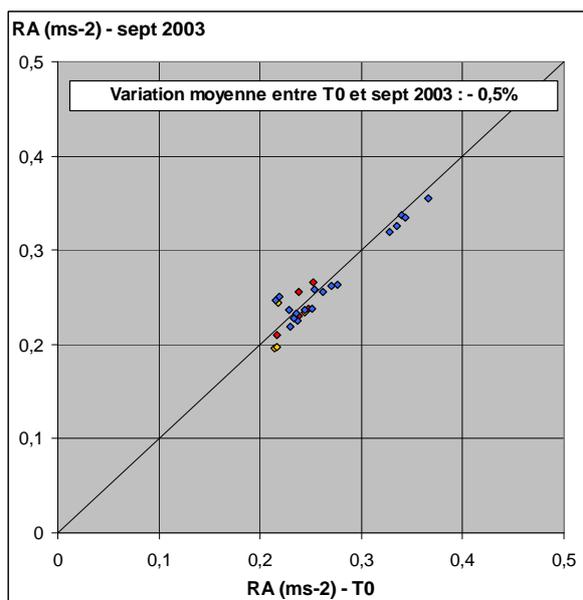
Les trois paramètres relevés sont VA, RA, RN (voir § 3.1 – page 6). On donne ci-après des représentations pour les évolutions de ces paramètres entre T0 et 2003 d'une part, et entre 2003 et 2009 d'autre part.

Paramètre VA (« Vertical Acceleration »)



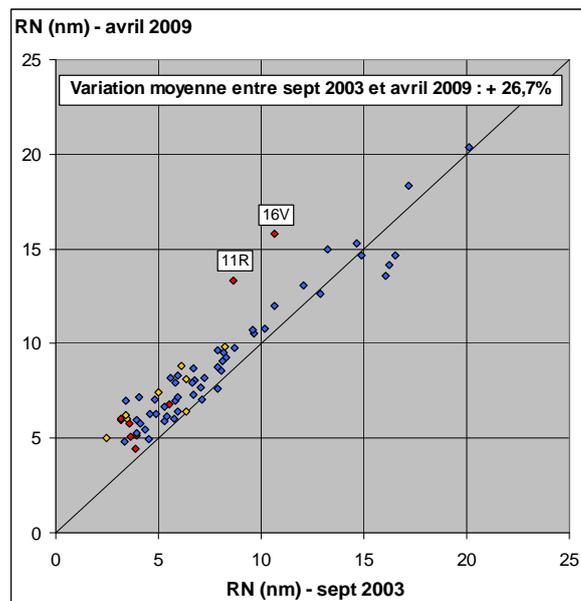
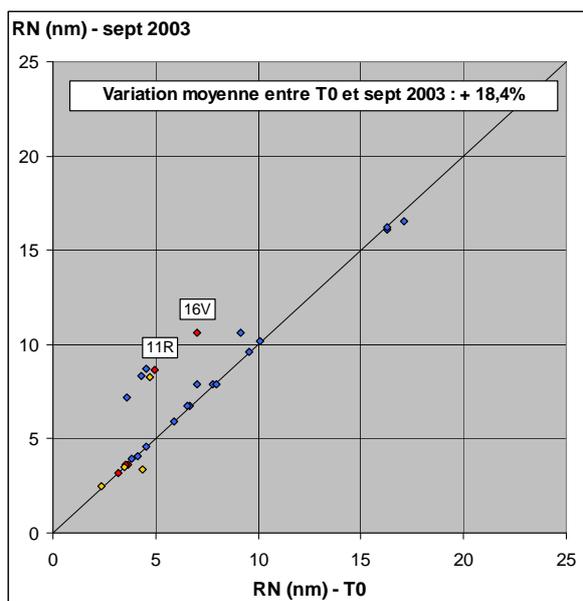
A l'exception d'un disque dont l'analyse de 2003 a donné une valeur excessive sans doute en raison d'un problème de positionnement (il s'agit du disque N° 26 de diamètre 8 cm), on peut considérer qu'il n'y a pas d'évolution significative du paramètre VA.

Paramètre RA (« Radial Acceleration »)



Le paramètre RA baisse en moyenne de 14,9% entre 2003 et 2009, ceci de manière très similaire pour tous les disques. Cela pourrait provenir d'un problème lié à l'analyseur (calibrage par exemple) car les courbes, en fonction du rayon sont toujours identiques à celles de 2003, mais décalées vers les faibles valeurs d'environ 15%.

Paramètre RN (« Radial Noise »)



On observe une augmentation significative du paramètre RN entre 2003 et 2009 pour l'ensemble des disques (+26,7% en moyenne). Quelques disques ont une augmentation plus importante comme les N° 14 (11R) et 23 (16V) qui sont des disques dont la dégradation en terme d'erreurs numériques est également importante.

5 SYNTHÈSE DES ANALYSES

5.1 UNE DEGRADATION LÉGÈRE MAIS GÉNÉRALE DE CERTAINS PARAMÈTRES

Les paramètres caractéristiques de l'amplitude et du contraste du signal HF (REF, I11R, I3R, SYM) ont subi une évolution légère et assez homogène pour l'ensemble de la collection.

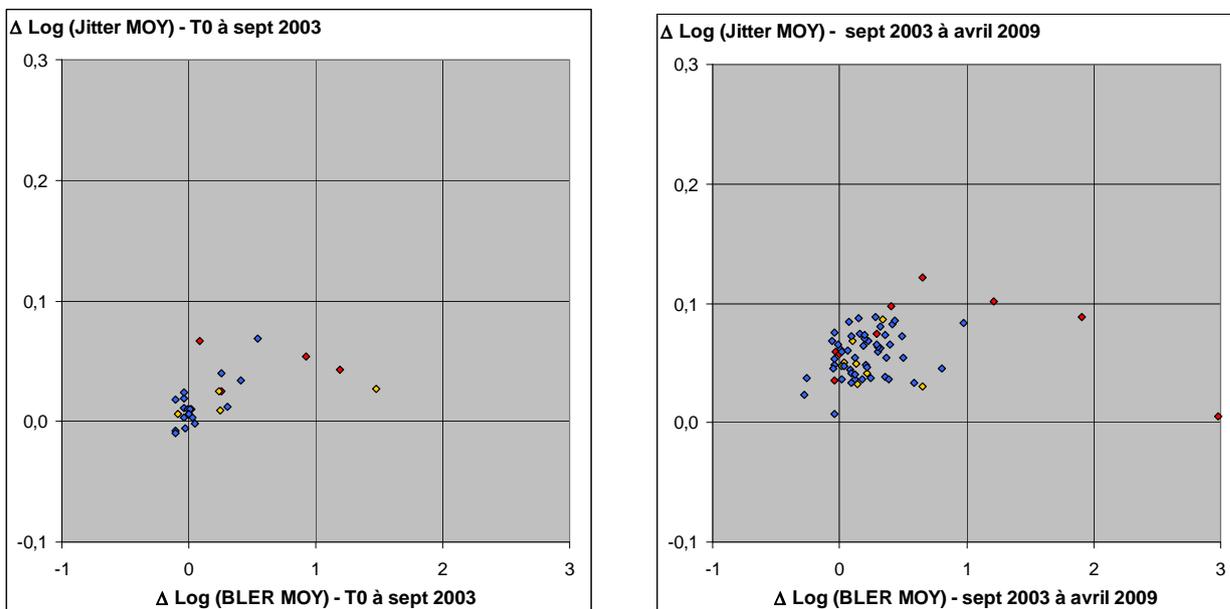
Il s'agit tout d'abord d'une diminution de l'amplitude du signal (REF), qui peut être attribuée à une perte de réflectivité de la couche métallique ou à un assombrissement des couches traversées (polycarbonate, « dye » des zones non brûlées). Toutefois cette diminution est très légère (inférieure à 5%) et moins importante que la variabilité observée entre les disques dont l'écart type relatif est d'environ 6%. Cette diminution n'est pas observée entre T0 et 2003, mais seulement en 2009. Il est à noter que le paramètre REF est un paramètre absolu qui peut être sensible à une variation de l'analyseur (calibrage) au cours du temps.

Les paramètres I11R, I3R, SYM sont des paramètres relatifs. Ils évoluent lentement et les écarts sont surtout visibles sur les analyses de 2009. L'élément le plus significatif est une baisse du paramètre SYM de 2% environ. Cette déformation du signal HF s'explique si le vieillissement des disques produit un assombrissement des zones brûlées un peu plus important que celui des zones non brûlées.

On peut considérer que les évolutions de l'amplitude et du contraste du signal HF sont trop faibles pour avoir une incidence sur les taux d'erreurs numériques. Sur aucun disque, on n'a constaté de variations de ces paramètres (en fonction du rayon) qui soient corrélées à la variation du taux d'erreurs BLER.

Le jitter augmente significativement avec le temps pour la quasi-totalité des disques entre T0 et 2009, l'augmentation moyenne étant de 4,5% jusqu'en 2003, puis de 14,5% entre 2003 et 2009.

On a essayé de relier cette augmentation du jitter avec l'augmentation du taux d'erreur BLER. Les différents disques sont représentés sur le graphe ci-dessous en portant en abscisse l'augmentation de Log (BLER) et en ordonnée l'augmentation de Log (Jitter MOY), d'une part entre T0 et septembre 2003 et d'autre part entre septembre 2003 et avril 2009.



On ne constate pas de corrélation significative entre les augmentations du Jitter et les augmentations du BLER.

Concernant les paramètres d'asservissement de la tête de lecture, seul le paramètre RN présente une évolution significative, mais sans corrélation ni avec l'évolution du Jitter ni avec celle du taux de BLER.

5.2 UNE DEGRADATION IMPORTANTE DES TAUX D'ERREURS POUR UN QUART DES DISQUES

Les dégradations observées en termes d'erreurs numériques sont importantes sur environ un quart des disques, avec des pertes de l'information enregistrée. Ces très fortes dégradations ne sont pas corrélées aux variations observées sur le signal HF ou sur les signaux d'asservissement de la tête de lecture.

Elles sont le plus souvent localisées dans certaines parties du disque, en particulier à proximité de sa limite extérieure. Cela est visible sur les représentations de surface du BLER des disques dégradés.

La nature de ces dégradations reste pour le moment mystérieuse. Dans la suite de l'étude, des analyses plus approfondies du signal HF sont effectuées, pour certains des disques les plus intéressants. On cherche en particulier à mettre en évidence des différences entre les zones fortement dégradées et les zones non dégradées d'un même disque.

6 ETUDE DU SIGNAL HF DES DISQUES FORTEMENT DEGRADEES

6.1 LES DISQUES ETUDIES

L'analyseur Audiodev fournit des valeurs statistiques (moyennes) sur le signal HF issu de la tête de lecture. La statistique est effectuée sur la durée de base de 1 seconde en lecture à la vitesse 1x. Cela correspond à plusieurs tours sur le sillon et englobe des centaines de milliers de marques codant l'information numérique. On a constaté qu'il y a le plus souvent peu de corrélation entre les valeurs statistiques relatives au signal HF et les taux d'erreurs numériques. Pour comprendre quel type de dégradation du signal HF induit des erreurs au décodage, il est nécessaire d'étudier le signal HF plus en détails.

L'étude détaillée du signal HF a été réalisée pour les 6 modèles de disque suivants, présentant une dégradation très importante, au moins sur certaines zones des disques. L'étude des zones dégradées est faite en comparaison des zones peu ou pas dégradées.

Marque	Code ATIP	Fabricant	Références des disques testés
Mitsui	27 57	Mitsui	11R
MPO	25 07	MPO	14R et 14io24
Hi Space	25 07	MPO	16V
MPO Hollande	23 16	Doremi	24Q, 24R et 24S
Exel	24 24	Computer. Support Italy	25D
Silver Pro	26 40	Fuji	26D et 26Hp8

6.2 METHODOLOGIE ET MOYENS UTILISES

L'étude détaillée du signal HF est réalisée en transférant dans un tableau Excel une portion du signal HF échantillonné à l'aide d'un oscilloscope et en réalisant un traitement du signal via des macros spécifiques.

L'oscilloscope utilisé (Tektronix type TDS5054B) permet de transférer 8 millions d'échantillons. La cadence d'échantillonnage et la vitesse de lecture définissent la longueur de signal traité. On a retenu une lecture à la vitesse de 8x effectuée par l'analyseur Clover, le signal délivré par l'analyseur Audiodev étant de moindre qualité (signal sans composante continue et filtré au-dessus de 0,5MHz). Avec une cadence d'échantillonnage de 4ns, la durée totale étudiée est de 32ms en lecture à la vitesse 8x, ce qui correspond à environ 30 cm de longueur de sillon. On a ainsi une portion de signal correspondant à 1,7 tours au début du disque et un peu moins d'un tour en fin de disque.

L'étude détaillée du signal HF comporte deux volets :

- l'étude des positions des transitions du signal par rapport aux tops d'horloge,
- l'étude des débuts de trame constitués d'un land 11T et d'un pit 11T.

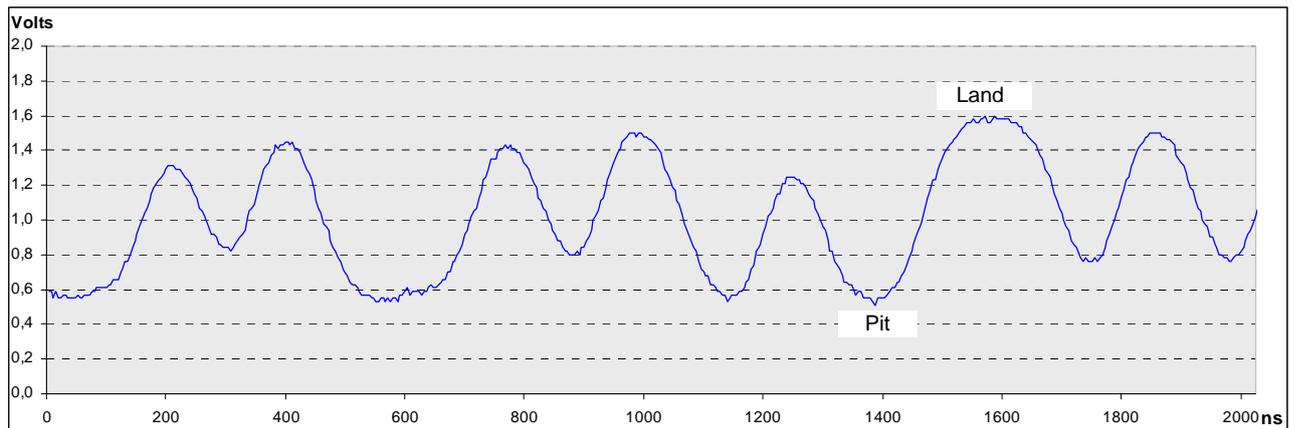
Description du signal HF

L'information numérique est codée par les longueurs des zones gravées (pits) et des zones non gravées (lands) les séparant.

Lors de la lecture du disque, ces longueurs correspondent à des durées qui sont multiples de la cadence d'horloge dT. La cadence d'horloge vaut 231,4 ns en lecture à la vitesse 1x, et environ 29 ns en lecture à la vitesse 8x. Le codage est tel que seules les durées 3dT, 4dT, 5dT, 6dT, 7dT, 8dT, 9dT, 10dT et 11dT sont permises.

Le graphique de la page suivante montre une petite portion de signal HF (lecture à la vitesse 8x) comportant 8 pits et 7 lands. Les pits sont les creux de la courbe qui sont associés à une réflexion minimale de la lumière du laser sur les zones brûlées, alors que les lands sont les bosses associées à une réflexion maximale sur les zones non gravées.

Signal HF issu de la tête de lecture (lecture à la vitesse 8x)



Etude des positions des transitions du signal par rapport aux tops d'horloge

On appelle transition l'instant de passage d'un pit à un land (transition montante) ou d'un land à un pit (transition descendante). La position précise d'une transition dépend du niveau dit « seuil de décision » qui est choisi pour distinguer pits et lands. Chaque transition est repérée par rapport aux tops d'une horloge. Une transition ne tombe pas exactement sur un top d'horloge. L'écart ne doit toutefois pas excéder $0,5dT$ sous peine de créer une erreur au décodage. La mesure des positions des transitions nécessite les opérations préalables suivantes :

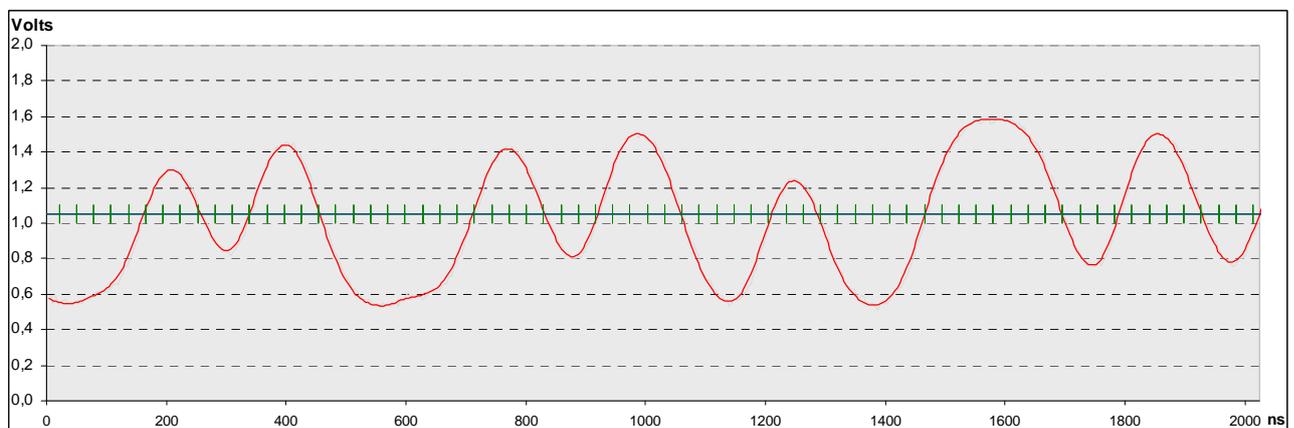
- filtrage du signal pour éliminer le bruit haute fréquence,
- calcul du seuil de décision,
- reconstitution des tops d'horloge

Les deux derniers points sont obtenus par des asservissements sur le signal HF, chacun des asservissements comportant une constante de temps adaptée. Ainsi le seuil de décision et l'horloge s'adaptent continûment et rapidement au signal HF.

Pour le seuil, le principe de l'asservissement est basé sur le fait qu'en moyenne la longueur totale des pits doit être égale à la longueur totale des lands (caractéristique liée au codage). Pour l'horloge, l'asservissement est basé sur une boucle à verrouillage de phase (PLL), qui synchronise l'horloge avec le signal HF, de manière à minimiser leur déphasage relatif.

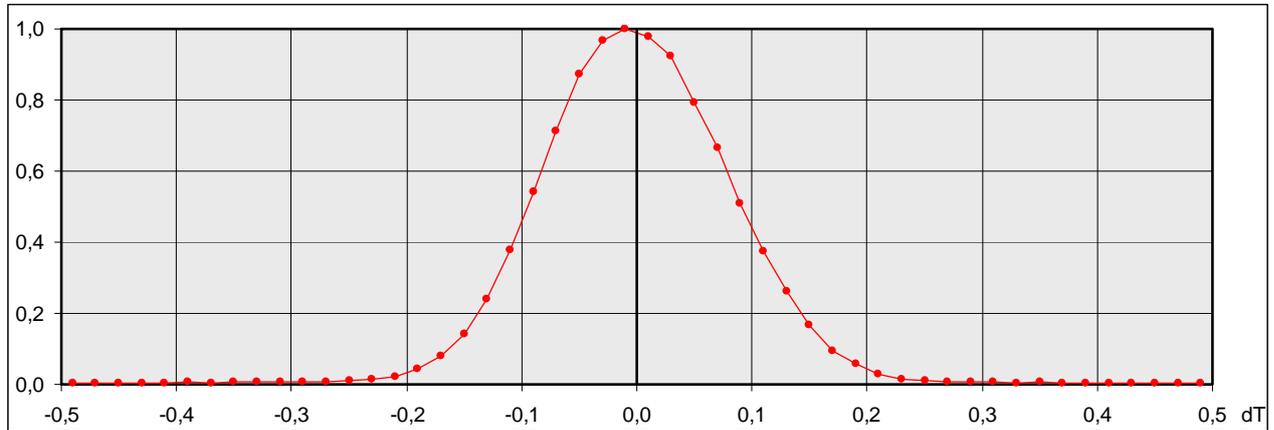
Le graphique ci-dessous montre une portion de signal après filtrage, avec le seuil de décision et la position des tops de l'horloge reconstituée.

Signal HF filtré avec seuil de décision et tops d'horloge (en vert)



L'étude statistique des positions des transitions par rapport aux tops d'horloge est riche d'enseignement sur la probabilité de générer des erreurs et donc pour l'étude de la qualité du disque. Après avoir calculé les écarts de toutes les transitions (environ 225 000 sur la durée du signal traité), on peut calculer leur distribution de probabilité (histogramme). Le graphe ci-dessous montre un exemple d'histogramme obtenu avec un disque présentant un taux d'erreurs très élevé. L'allure de la distribution semble gaussienne avec un écart-type correct d'environ 0,08 dT.

Histogramme $H(x)$ des positions des transitions relativement aux tops d'horloge



Les erreurs numériques sont dues à des transitions dont l'écart avec un top d'horloge est en dehors de la plage [-0,5 dT ; +0,5 dT]. Cela concerne très peu de transitions qui se trouvent dans la « queue » de la distribution. Afin de visualiser cette queue, on réalise une transformation de l'histogramme par la fonction :

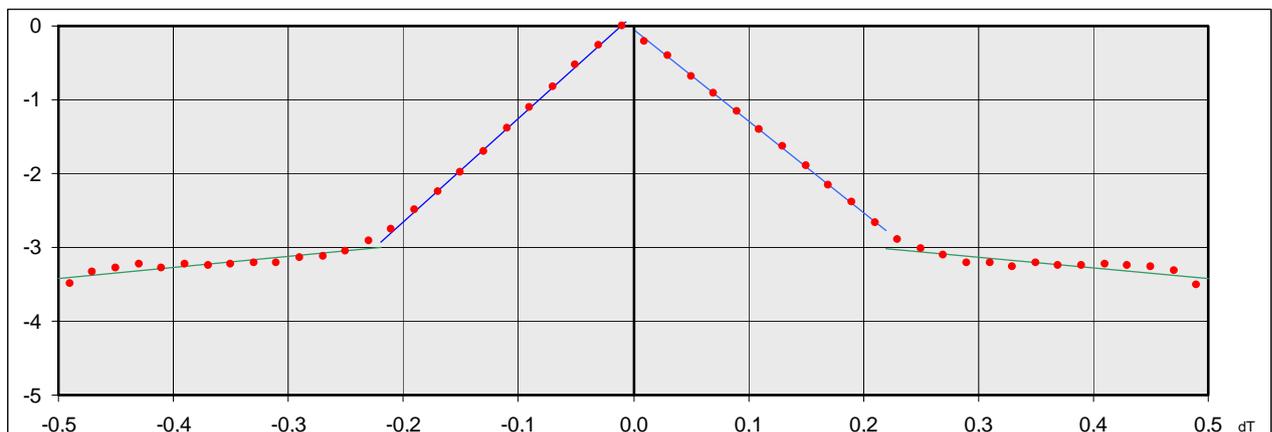
$$F = -\sqrt{-2 \operatorname{Ln}(H)}$$

Cette transformation transforme une distribution gaussienne en deux droites issues de l'origine, si la distribution gaussienne est normalisée à 1 pour $x=0$:

$$H(x) = e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \longrightarrow F(x) = -\frac{|x|}{\sigma}$$

Le graphe ci-dessous montre la représentation de l'histogramme ainsi transformé de l'exemple concret précédent. La partie centrale de l'histogramme, dans la plage [-0,2 dT ; +0,2 dT], correspond bien à une distribution gaussienne. En dehors de cette plage, on voit apparaître une seconde distribution presque plate. L'extrapolation en dehors de l'intervalle [-0,5 dT ; +0,5 dT] de cette deuxième distribution conduit à des taux d'erreurs très élevés, compatibles avec ceux mesurés par les analyseurs. Il est fréquent que l'apparition de taux d'erreurs élevés soit produite par une telle distribution secondaire et explique que la seule mesure du jitter (écart-type de la distribution) ne permet pas de comprendre l'existence de ces erreurs.

Histogramme transformé $F(x)$ des positions des transitions relativement aux tops d'horloge

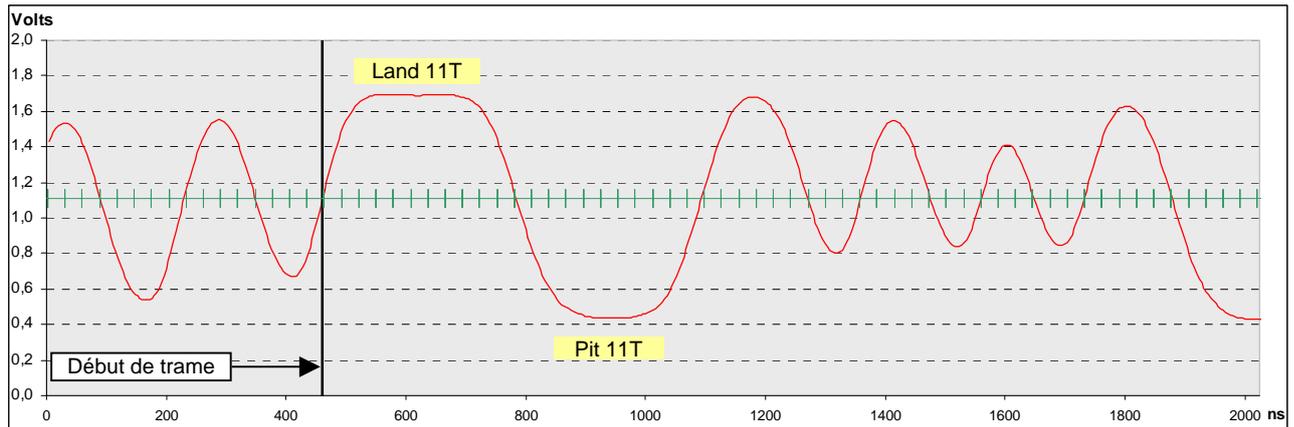


Etude des débuts de trame

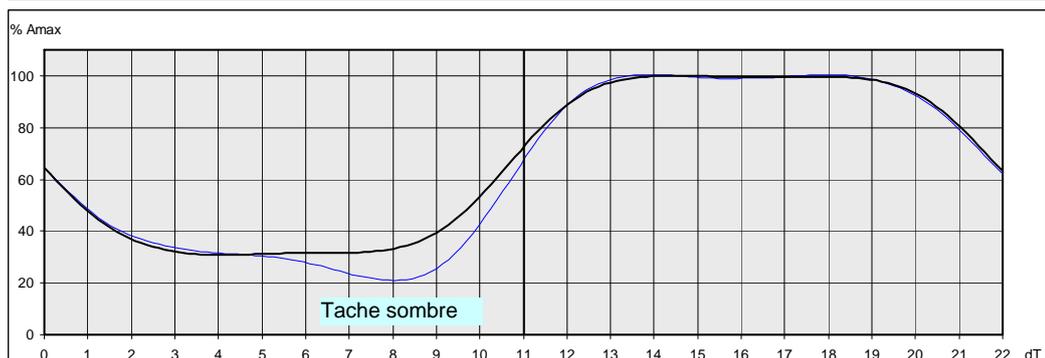
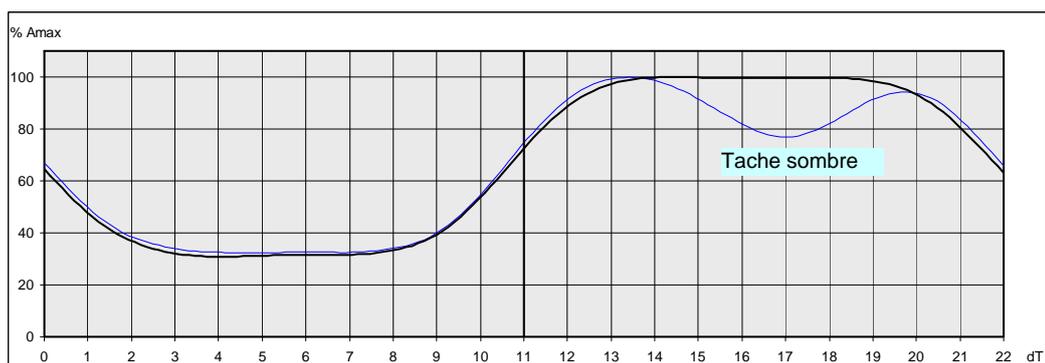
Chaque trame numérique commence par un land 11T suivi d'un pit 11T ou le contraire. Une trame comporte 588 tops d'horloge et l'ensemble du signal traité (32ms en lecture 8x) renferme environ 1880 trames. L'étude des débuts de trame est intéressante pour deux raisons :

- Le repérage des débuts de trame est facile. En l'absence de décodage numérique avec utilisation des codes correcteurs, ce sont les seules transitions dont on connait la nature (11T) avec certitude.
- La longueur 11T est suffisante pour que le signal HF présente un plateau stable qui permet de voir des déformations de petite taille (tache) à la fois sur la partie non gravée (land) et sur la partie gravée (pit)

Le graphe ci-dessous montre, à titre d'exemple, un début de trame (signal filtré).



L'étude des débuts de trame consiste à déterminer un profil moyen sur tous les débuts de trame, en éliminant éventuellement les débuts les plus déformés. On compare ensuite chaque début de trame avec ce profil moyen en distinguant les débuts de type Land-Pit et les débuts de type Pit-Land. Cela permet la détection de taches (claires ou sombres), l'évaluation de leur nombre et de leur importance, leur présence plutôt sur les lands ou plutôt sur les pits. Les graphes ci-dessous montrent deux débuts de trames, de type Pit-Land, dégradés par une tache sombre se trouvant soit sur le land 11T, soit sur le pit 11T. La courbe en noir représente le profil moyen. L'échelle est en % du niveau moyen des lands (Amax). De telles taches, si elles se situent suffisamment près d'une transition produiront une erreur numérique.

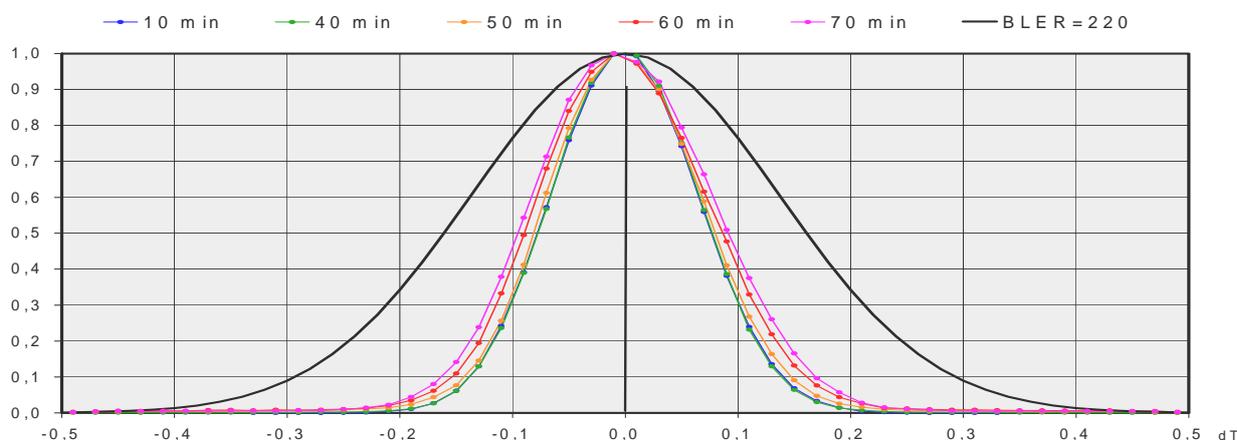


6.3 RESULTATS POUR CHAQUE REFERENCE DE DISQUE ETUDIEE

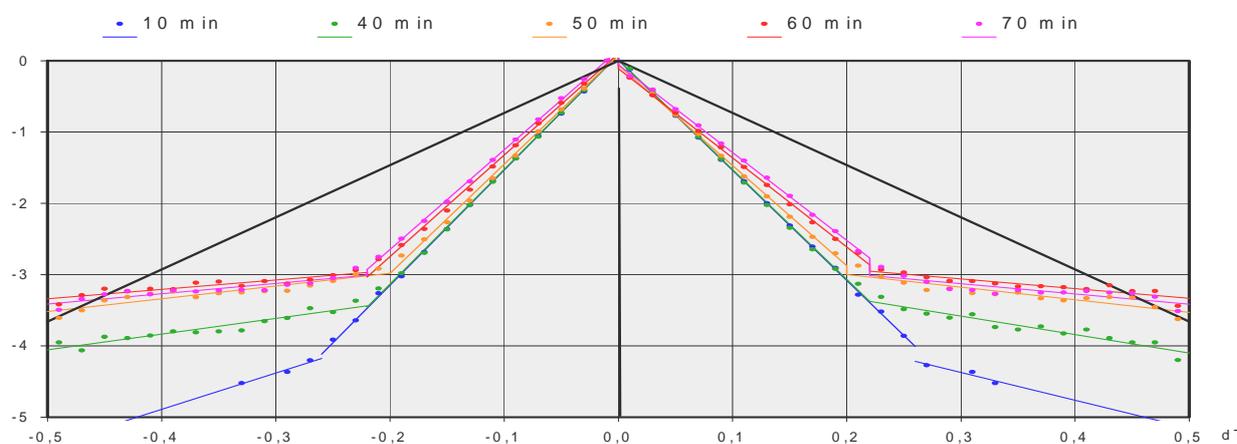
Réf. N°11 - Mitsui – CD-R n° 14

La dégradation de ce disque est apparue entre 2004 et 2009, soit plus de deux ans après la gravure. Les graphes et les représentations de surface (annexe 1 – page 54) montrent une dégradation très importante qui semble progresser à partir du bord extérieur du disque. Le taux d'erreur BLER croit depuis 10 minutes jusqu'à 50 minutes, puis se stabilise à des niveaux très élevés sur une couronne allant de 50 minutes à la fin du disque (77 minutes). A partir de 60 minutes, les erreurs incorrigibles deviennent très nombreuses et les données peuvent être considérées comme perdues. Les graphes ci-dessous présentent les histogrammes obtenus pour différentes positions sur le disque. La courbe en trait noir est une courbe de référence gaussienne qui donnerait théoriquement un taux d'erreur BLER de 220.

CD-R N°14 - Histogrammes $H(x)$ des positions des transitions relativement aux tops d'horloge



CD-R N°14 - Histogrammes transformés $F(x)$



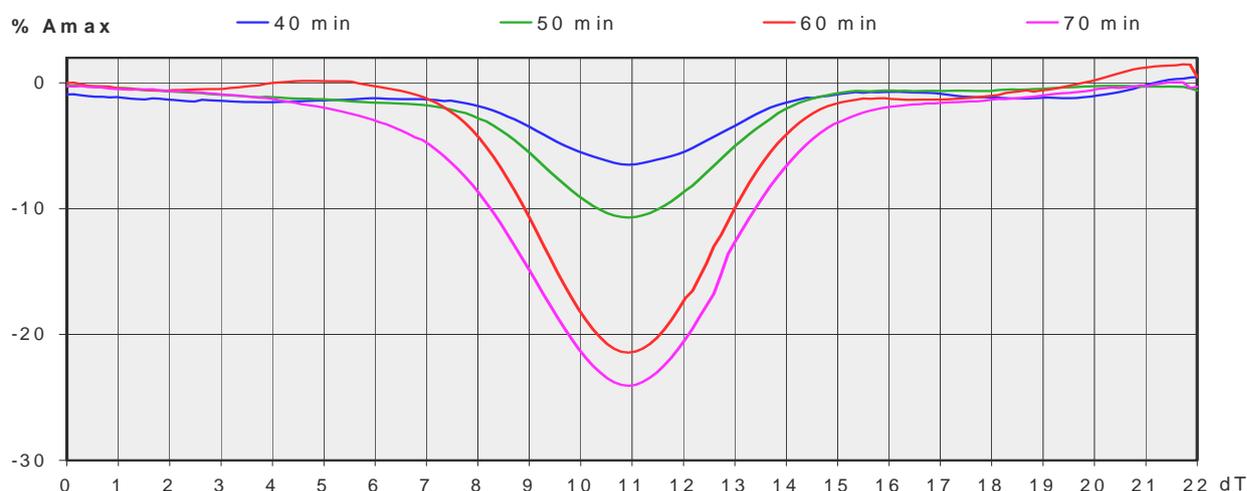
Les histogrammes montrent clairement la présence d'une distribution secondaire qui seule explique les taux de BLER élevés (supérieurs à 1000 à partir de la position 50 minutes). L'augmentation du jitter est faible et n'explique absolument pas l'existence de ces taux d'erreurs numériques élevés. L'extrapolation des histogrammes secondaires permet d'estimer le taux de BLER (extrapolation au-delà de 0,5 dT) et le pourcentage de transitions concernées par cette distribution secondaire (extrapolation dans la partie centrale). Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous.

CD-R N°14 - Caractéristiques de la distribution secondaire

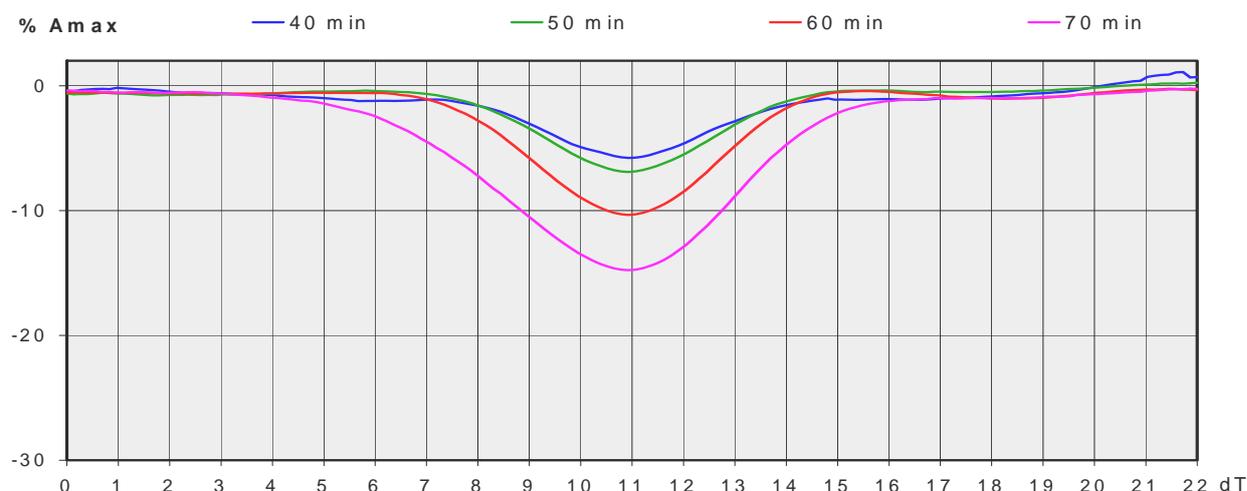
Position sur le disque	10 minutes	40 minutes	50 minutes	60 minutes	70 minutes
Taux de BLER estimé	0,4	183	2 372	3 584	2 596
Pourcentage des transitions	0,6 %	1,7 %	4,2 %	5,8 %	4,8 %

L'observation des débuts de trames montre la présence de taches sombres qui sont plus fréquentes sur les pits que sur les lands. Compte tenu du fait que la réflectivité des pits est faible, la profondeur moyenne des taches sur les pits est plus faible que sur les lands. Les graphiques ci-dessous montrent les profils moyens des taches en ne retenant que celles présentant un creux d'au moins 5% du niveau des lands (Amax). Il apparaît que la profondeur des taches est d'autant plus importante que l'on se situe près du bord externe du disque.

CD-R N°14 – Profils moyens des taches sur lands 11T



CD-R N°14 – Profils moyens des taches sur pits 11T



Le tableau ci-dessous donne les pourcentages de débuts de trames affectés par des taches de profondeur égale à au moins 5% de Amax et les profondeurs moyennes de ces taches.

CD-R N°14 - Caractéristiques des taches sur les débuts de trame

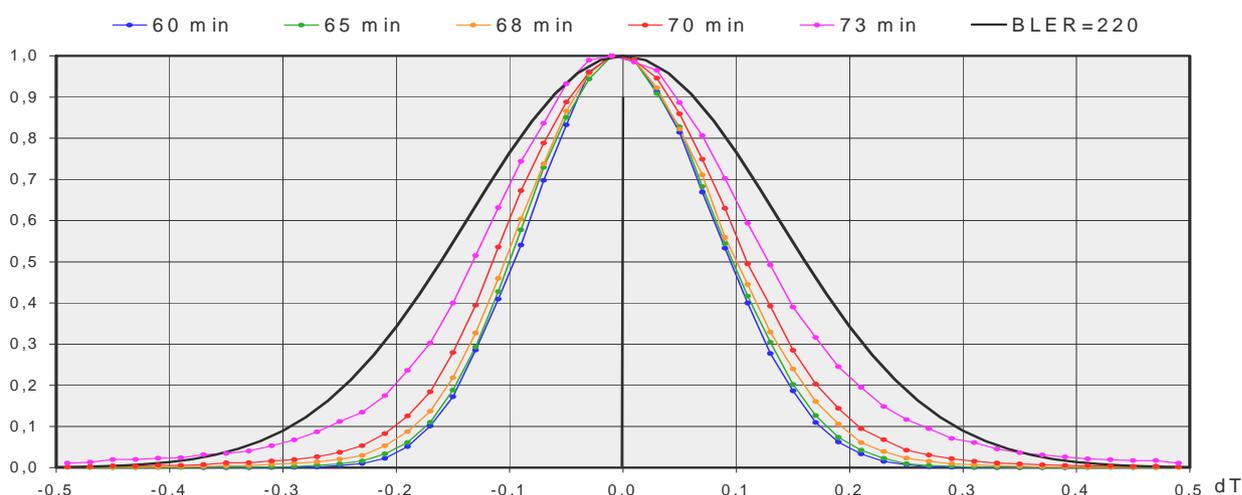
Position sur le disque	40 minutes	50 minutes	60 minutes	70 minutes
Pourcentage de débuts de trames avec tache sur land	0,8 %	2,5 %	1,4 %	2,9 %
avec tache sur pit	0,8 %	4,6 %	13,9 %	7,4 %
Profondeur moyenne des taches sur land	6,5 %Amax	10,7 %Amax	21,4 %Amax	25,0 %Amax
des taches sur pit	5,8 %Amax	6,9 %Amax	10,4 %Amax	14,8 %Amax

Conclusion : les taux d'erreurs élevés observés sur le disque Mitsui (Réf. N°11) à partir de 50 minutes, sont dus à des micro-taches sombres en nombre relativement limité. Ces taches apparaissent préférentiellement sur les zones gravées (pits). Elles ne sont pas beaucoup plus nombreuses en allant vers le bord externe, mais elles sont de plus en plus prononcées.

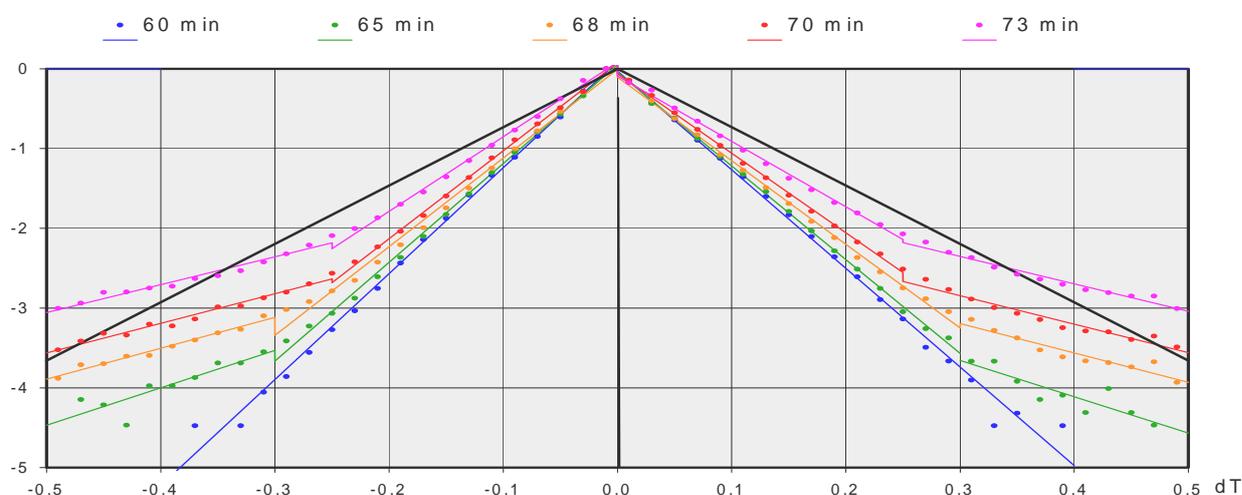
Réf. N°14 - MPO – CD-R n° 20 et 21

La dégradation du disque n°20 est apparue entre 2004 et 2009. Pour le disque n°21, la dégradation existait dès septembre 2003, soit 15 mois après gravure, et s'est amplifiée jusqu'en 2009. Les graphes et les représentations de surface (annexe 1 – pages 60 et 61) montrent une dégradation similaire pour les deux disques qui concerne un mince anneau sur le bord externe du disque (au-delà de 65 minutes). Au-delà de 70 minutes, les erreurs incorrigibles deviennent très nombreuses et les données sont perdues. Les graphes ci-dessous présentent les histogrammes obtenus pour différentes positions sur le disque n°20. Ceux du disque n°21 sont similaires.

CD-R N°20 - Histogrammes $H(x)$ des positions des transitions relativement aux tops d'horloge



CD-R N°20 - Histogrammes transformés $F(x)$



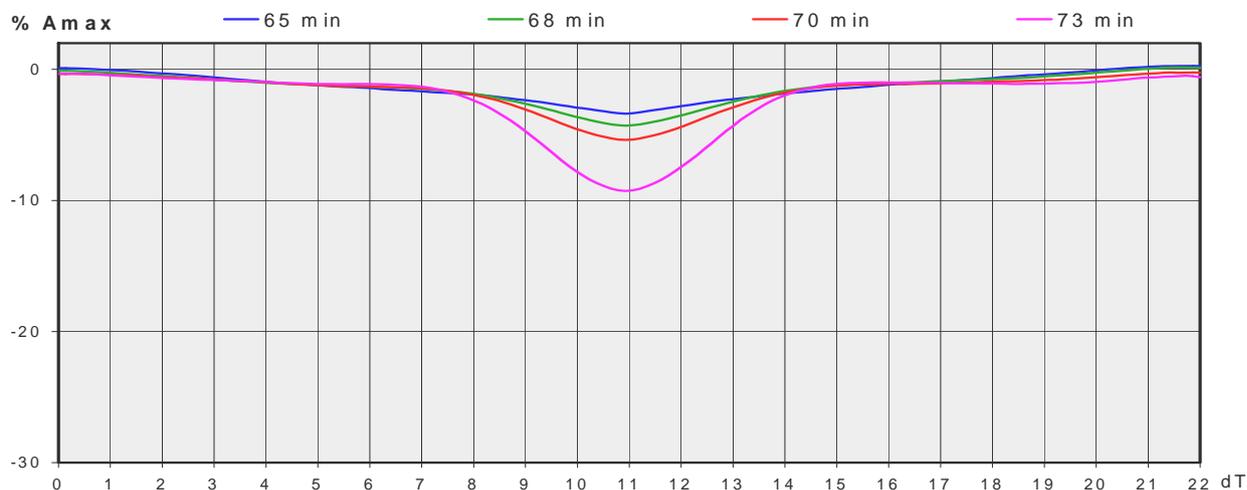
Les histogrammes ne sont pas gaussiens, les valeurs au-delà de $0,3dT$ étant plus élevées que pour une distribution gaussienne. Toutefois, il ne s'agit pas vraiment de la superposition de deux distributions gaussiennes indépendantes, car la partie centrale de l'histogramme et la partie extérieure à la plage $[-0,3dT ; +0,3dT]$ semblent évoluer simultanément. Les résultats des calculs, basés sur l'extrapolation de la partie extérieure de l'histogramme à la plage $[-0,3dT ; +0,3dT]$ extérieure, sont donnés dans le tableau ci-dessous.

CD-R N°20 - Caractéristiques de la distribution secondaire

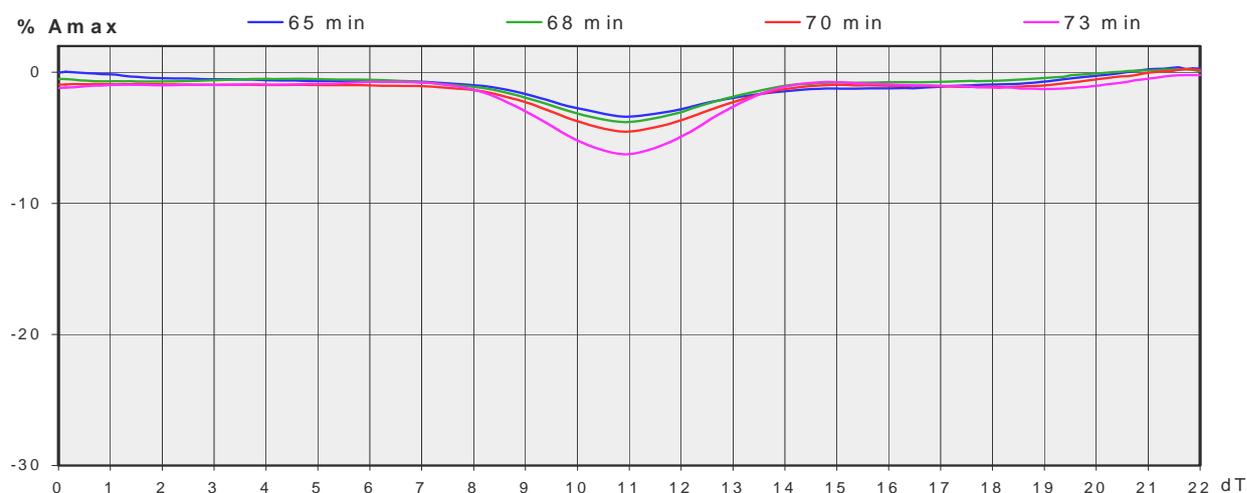
Position sur le disque	60 minutes	65 minutes	68 minutes	70 minutes	73 minutes
Taux de BLER estimé	0	22	203	719	3 193
Pourcentage des transitions	-	1,3 %	6,1 %	14,3 %	33,7 %

L'observation des débuts de trames montre la présence de taches sombres qui sont plus fréquentes sur les lands que sur les pits. Ces taches sont relativement peu marquées. Les graphiques ci-dessous montrent les profils moyens, obtenus avec le disque n°21, en ne retenant que les taches présentant un creux d'au moins 2,5% du niveau des lands (Amax). Il apparaît que la profondeur des taches est d'autant plus importante que l'on se situe près du bord externe du disque.

CD-R N°21 – Profils moyens des taches sur lands 11T



CD-R N°21 – Profils moyens des taches sur pits 11T



Le tableau ci-dessous donne les pourcentages de débuts de trames affectés par des taches de profondeur égale à au moins 2,5% de Amax et les profondeurs moyennes de ces taches.

CD-R N°21 - Caractéristiques des taches sur les débuts de trame

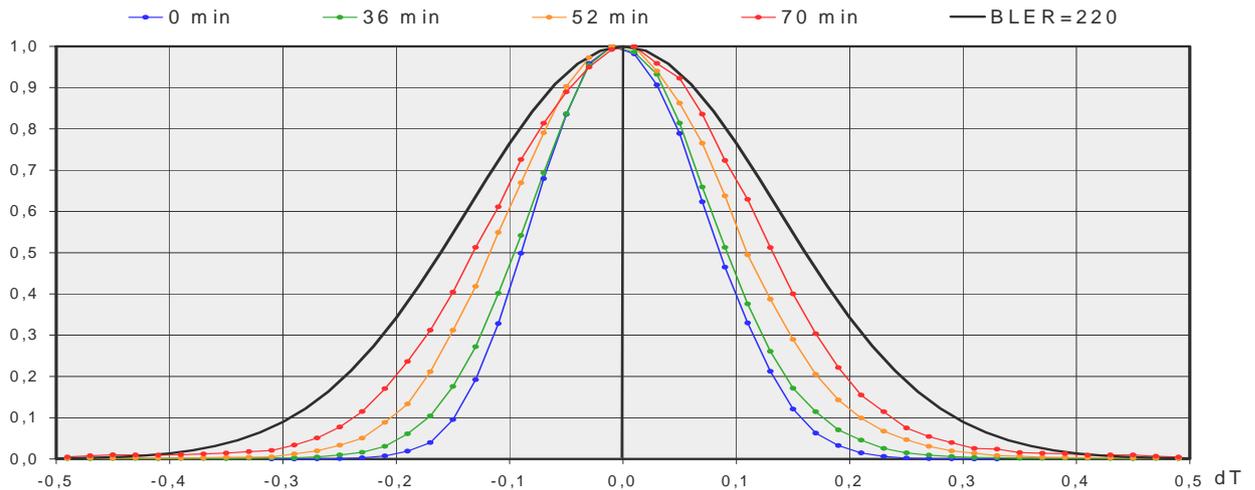
Position sur le disque	65 minutes	68 minutes	70 minutes	73 minutes
Pourcentage de débuts de trames avec tache sur land	22,7%	31,8 %	35,0 %	37,0 %
avec tache sur pit	1,9 %	3,8 %	7,6 %	9,7 %
Profondeur moyenne des taches sur land	3,4 %Amax	4,3 %Amax	5,4 %Amax	9,3 %Amax
des taches sur pit	3,4 %Amax	3,8 %Amax	4,5 %Amax	6,3 %Amax

Conclusion : les taux d'erreurs élevés observés sur la bordure des disques MPO (Réf. N°14) sont dus à des taches sombres en grand nombre affectant surtout les zones non gravées (lands). Ces taches peu prononcées s'apparentent peut-être plus à des fluctuations (toujours en creux) du signal HF qu'à des taches isolées. La taille des fluctuations est de l'ordre du micromètre.

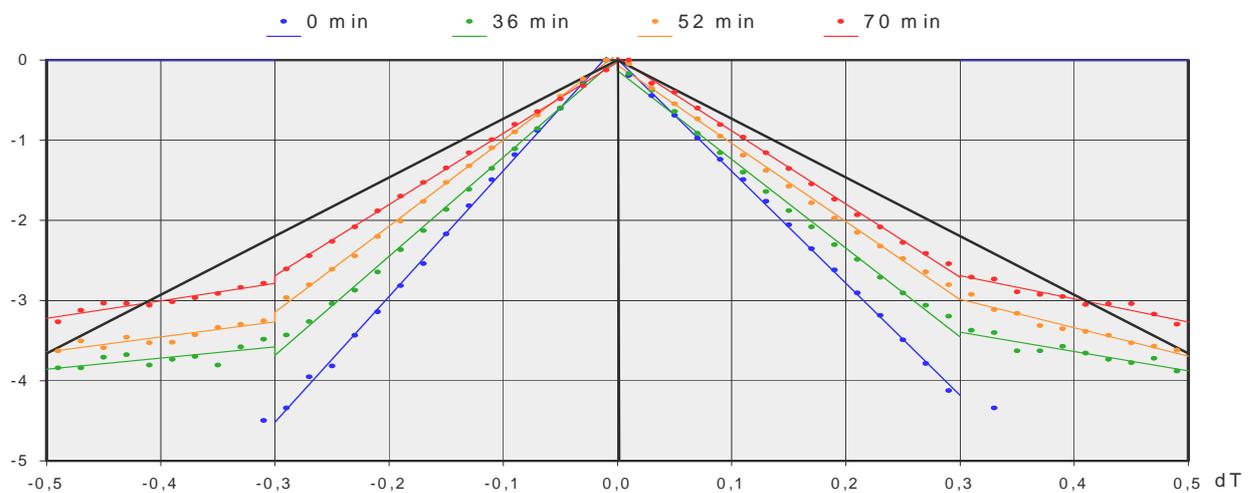
Réf. N°16 - Hi Space – CD-R n° 23

La dégradation du disque n°23 est apparue entre avril 2004 et 2009, soit plus de 15 mois après gravure. Les graphes et les représentations de surface (annexe 1 – page 63) montrent une dégradation sous forme de plusieurs anneaux, dont l'un touche le bord externe du disque. Ces anneaux ne sont pas complets, la dégradation affectant principalement un secteur d'environ 60°. Dans ces anneaux, les erreurs incorrigibles sont nombreuses causant la perte des données. Les graphes ci-dessous présentent les histogrammes obtenus pour différentes positions sur le disque. On s'est placé préférentiellement sur les anneaux de dégradation (36, 52, 70 minutes)

CD-R N°23 - Histogrammes $H(x)$ des positions des transitions relativement aux tops d'horloge



CD-R N°23 - Histogrammes transformés $F(x)$



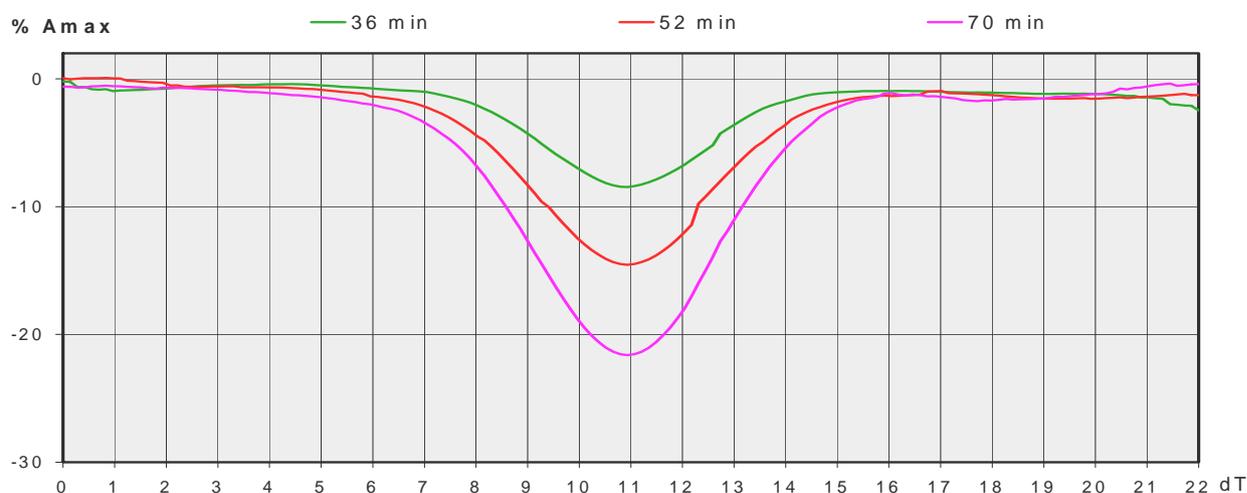
Les histogrammes ne sont pas gaussiens, les valeurs au-delà de $0,3dT$ étant plus élevées que pour une distribution gaussienne. Comme pour les disques MPO, la distribution secondaire et la distribution principale semblent liées et ne faire qu'une seule distribution de type non gaussien. Les résultats des calculs, basés sur l'extrapolation de la partie de l'histogramme extérieure à la plage $[-0,3dT ; +0,3dT]$, sont donnés dans le tableau ci-dessous.

CD-R N°23 - Caractéristiques de la distribution secondaire

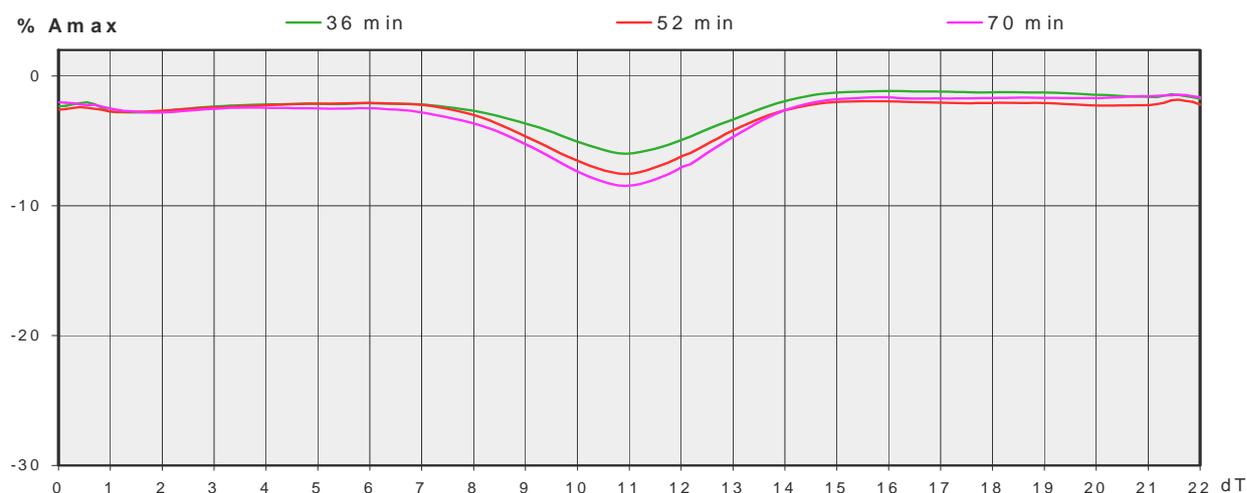
Position sur le disque	0 minute	36 minutes	52 minutes	70 minutes
Taux de BLER estimé	0	498	685	2 472
Pourcentage des transitions	-	1,6 %	5,3 %	11,1 %

L'observation des débuts de trames montre la présence de taches sombres qui sont plus fréquentes sur les pits que sur les lands. Ces taches sont par contre plus marquées sur les lands. Les graphiques ci-dessous montrent les profils moyens en ne retenant que les taches présentant un creux d'au moins 5% du niveau Amax.

CD-R N°23 – Profils moyens des taches sur lands 16V



CD-R N°23 – Profils moyens des taches sur pits 16V



Le tableau ci-dessous donne les pourcentages de débuts de trames affectés par des taches de profondeur égale à au moins 5% Amax et les profondeurs moyennes de ces taches. Le pourcentage des débuts de trame avec taches est réduit du fait que les zones défectueuses ne concernent qu'un secteur de 60° du disque. Si la totalité de la circonférence du disque était affectée, les pourcentages pourraient être environ 5 fois plus élevés.

CD-R N°23 - Caractéristiques des taches sur les débuts de trame

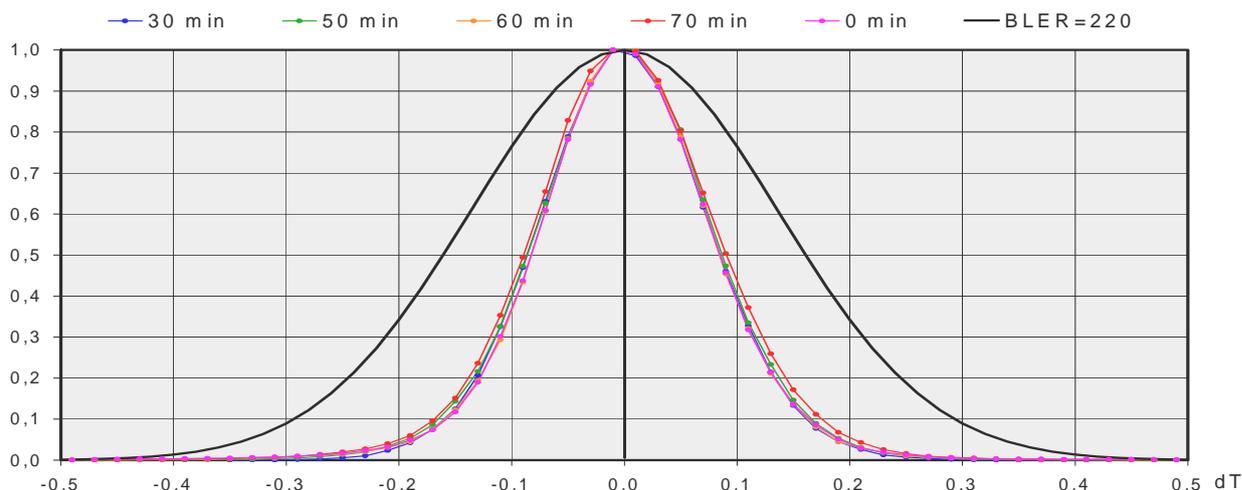
Position sur le disque	36 minutes	52 minutes	70 minutes
Pourcentage de débuts de trames avec tache sur land	0,6 %	1,5 %	6,9 %
avec tache sur pit	5,0 %	9,4 %	10,9 %
Profondeur moyenne des taches sur land	8,5 %Amax	14,6 %Amax	21,6 %Amax
des taches sur pit	6,0 %Amax	7,6 %Amax	8,5 %Amax

Conclusion : Le disque Hi Space (Réf. N°16) présente des micro-taches sombres à la fois sur les lands et sur les pits. Les taux d'erreurs élevés constatés sont principalement dus à ces micro-taches. Cependant, on observe aussi une dégradation générale des histogrammes avec augmentation du jitter qui pourrait s'expliquer par des fluctuations de luminosité plus diffuses non localisées sous forme de taches.

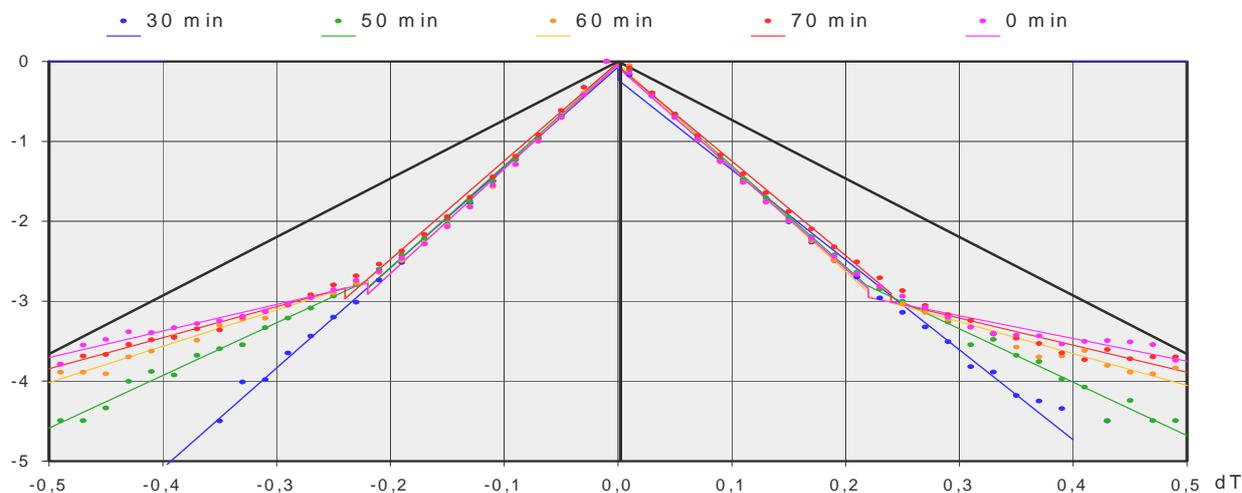
Réf. N°24 - MPO Hollande – CD-R n° 34, 35, 36

La dégradation des disques apparaît dès septembre 2003, c'est à dire moins de 15 mois après gravure et se poursuit régulièrement jusqu'en 2009. Les graphes et les représentations de surface (annexe 1 – pages 74, 75, 76) montrent que les zones touchées sont similaires pour les trois disques et concernent à la fois le début des disques (jusqu'à 10 minutes) et leur périphérie (à partir de 50 minutes). La partie centrale des disques, bien que moins atteinte, subit quand même une dégradation significative. La dégradation affecte les taux de BLER, mais n'a pas produit d'erreurs incorrigibles jusqu'en 2009. Les graphes ci-dessous présentent les histogrammes obtenus pour différentes positions sur le disque n°34.

CD-R N°34 - Histogrammes $H(x)$ des positions des transitions relativement aux tops d'horloge



CD-R N°34 - Histogrammes transformés $F(x)$



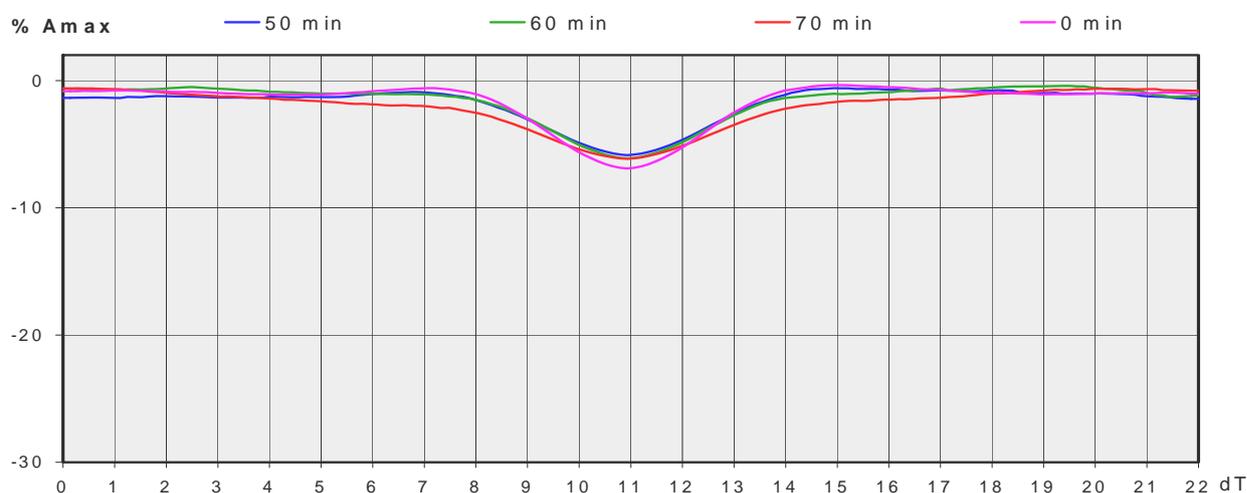
Les histogrammes ne sont pas gaussiens, les valeurs au-delà de 0,25dT faisant apparaître une distribution secondaire qui est seule responsable des taux d'erreurs élevés. Les résultats des calculs, basés sur l'extrapolation de la partie de l'histogramme extérieure à la plage [-0,25dT ; +0,25dT], sont donnés dans le tableau ci-dessous.

CD-R N°34 - Caractéristiques de la distribution secondaire

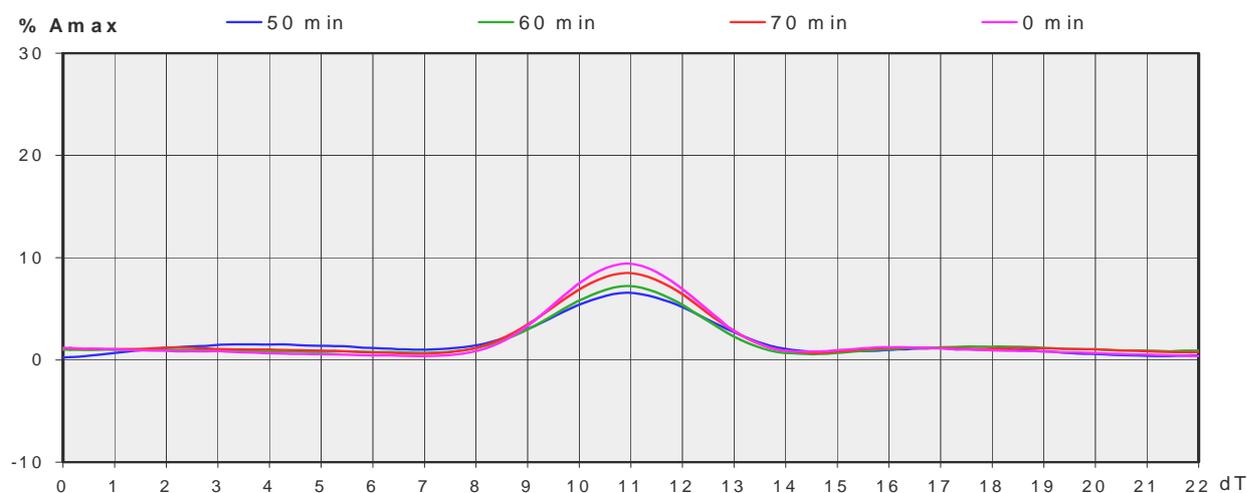
Position sur le disque	0 minute	30 minutes	50 minutes	60 minutes	70 minutes
Taux de BLER estimé	572	0	6	128	275
Pourcentage des transitions	8,5 %	-	17,8 %	10,4 %	8,3 %

L'observation des débuts de trames montre la présence de taches sombres sur les lands et de taches claires sur les pits. Ces dernières sont à la fois plus nombreuses et plus marquées que les taches sombres sur les lands et l'évolution du taux d'erreur semblent plutôt due à ces taches claires. Les graphiques ci-dessous montrent les profils moyens, obtenus avec le disque n°34 (24Q), en ne retenant que les taches présentant une amplitude maximale d'au moins 5% du niveau Amax.

CD-R N°34 – Profils moyens des taches sur lands 11T



CD-R N°34 – Profils moyens des taches sur pits 11T



Le tableau ci-dessous donne les pourcentages de débuts de trames affectés par des taches d'amplitude égale à au moins 5% de Amax et les amplitudes moyennes de ces taches.

CD-R N°34 - Caractéristiques des taches sur les débuts de trame

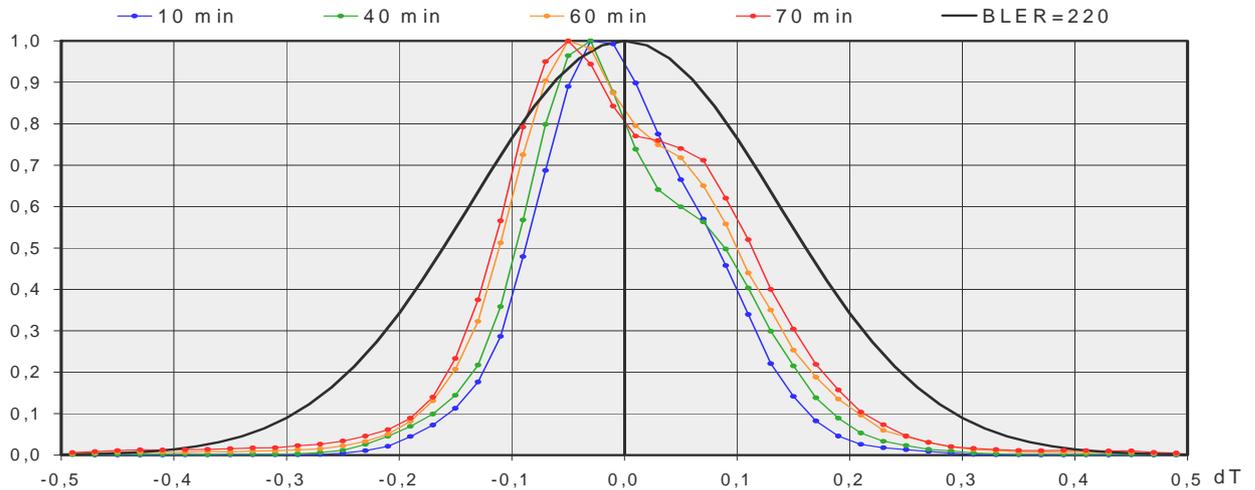
Position sur le disque	0 minute	50 minutes	60 minutes	70 minutes
Pourcentage de débuts de trames avec tache sombre sur land	12,6 %	3,0 %	3,8 %	10,1 %
avec tache claire sur pit	14,3 %	9,6 %	12,5 %	11,1 %
Amplitude moyenne des taches sombres sur land	6,9 %Amax	5,9 %Amax	6,1 %Amax	6,1 %Amax
des taches claires sur pit	9,4 %Amax	6,6 %Amax	7,2 %Amax	8,5 %Amax

Conclusion : les taux d'erreurs observés sur les disques MPO Hollande (Réf. N°24) sont dus à la fois à des taches sombres affectant les zones non gravées (lands) et des taches claires affectant les zones gravées (pits), ces dernières semblant prépondérantes.

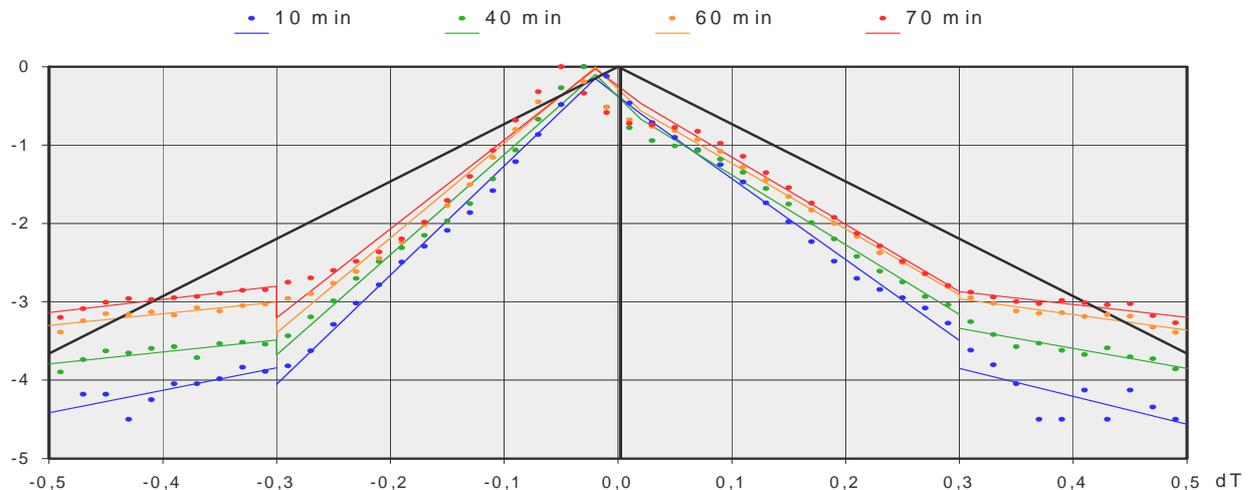
Réf. N°25 - Exel – CD-R n° 37

La dégradation du disque n°37 est apparue dès septembre 2003, sans aggravation notable par la suite. Les graphes et les représentations de surface (annexe 1 – page 77) montrent une dégradation générale du disque, mais peu homogène. Dans les zones dégradées, les erreurs incorrigibles sont très nombreuses conduisant à la perte de l'information numérique. Les graphes ci-dessous présentent les histogrammes obtenus pour différentes positions sur le disque.

CD-R N°37 - Histogrammes $H(x)$ des positions des transitions relativement aux tops d'horloge



CD-R N°37 - Histogrammes transformés $F(x)$



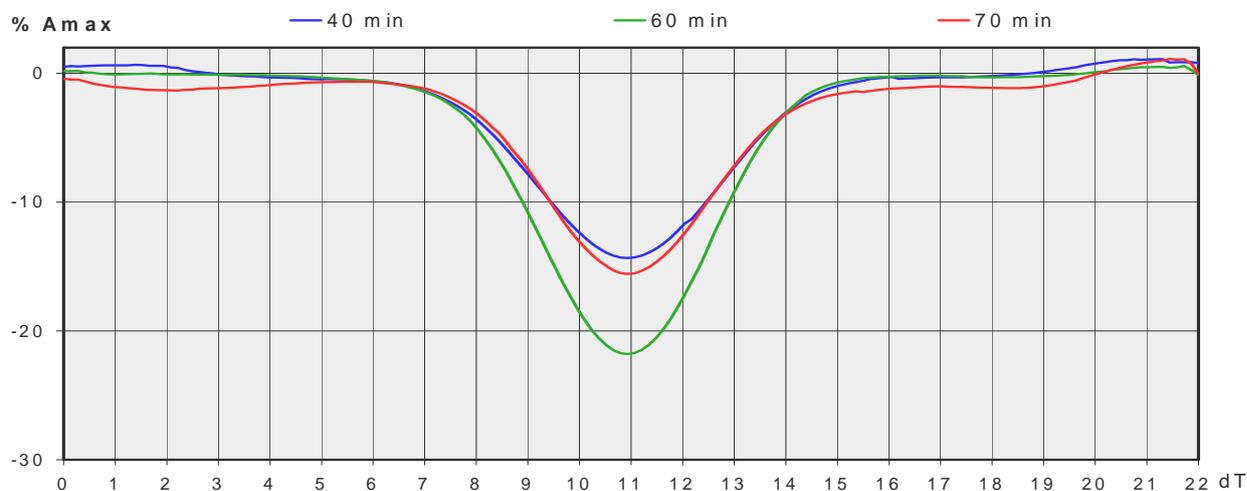
La partie centrale des histogrammes est déformée, par rapport à une distribution gaussienne (dissymétrie), ceci sans doute en raison de la faible qualité de la gravure initiale. Au-delà de 0,3dT, on observe une distribution secondaire dont les caractéristiques sont données dans le tableau ci-dessous.

CD-R N°37 - Caractéristiques de la distribution secondaire

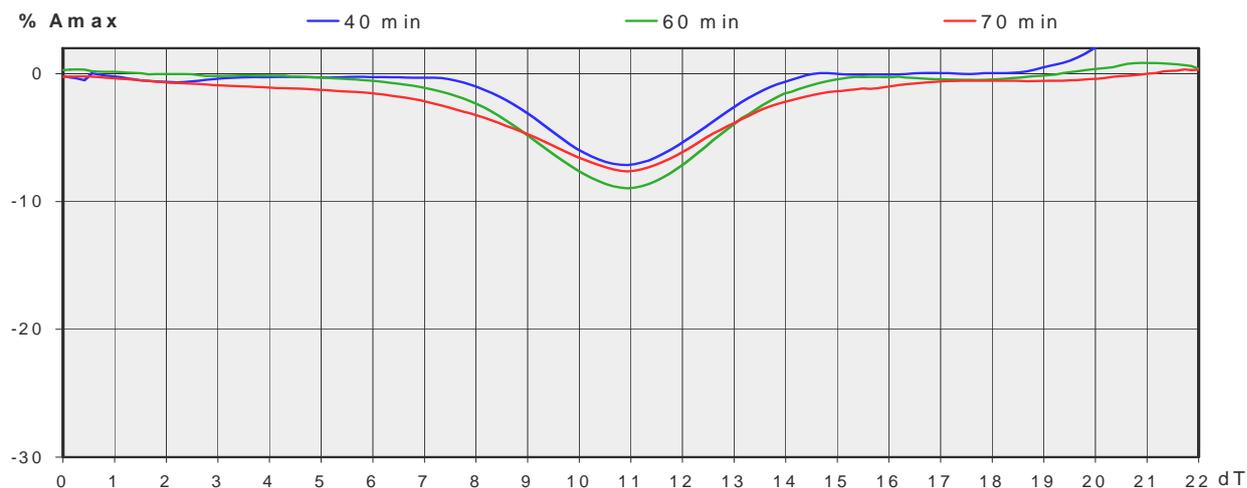
Position sur le disque	10 minutes	40 minutes	60 minutes	70 minutes
Taux de BLER estimé	24	604	3008	4306
Pourcentage des transitions	0,7 %	2,1 %	6,2 %	8,7 %

L'observation des débuts de trames montre la présence de taches sombres qui sont plus fréquentes sur les pits que sur les lands. Ces taches sont par contre nettement plus marquées sur les lands. Les graphiques ci-dessous montrent les profils moyens en ne retenant que les taches présentant un creux d'au moins 5% du niveau Amax.

CD-R N°37 – Profils moyens des taches sur lands



CD-R N°37 – Profils moyens des taches sur pits



Le tableau ci-dessous donne les pourcentages de débuts de trames affectés par des taches de profondeur égale à au moins 5% Amax et les profondeurs moyennes de ces taches. Les taches sur pits sont plus nombreuses en périphérie du disque (70 minutes) mais leur profondeur moyenne reste sensiblement la même que dans les zones moins dégradées. Les taches sur land ont un nombre et une taille assez stable sur le disque.

CD-R N°37 - Caractéristiques des taches sur les débuts de trame

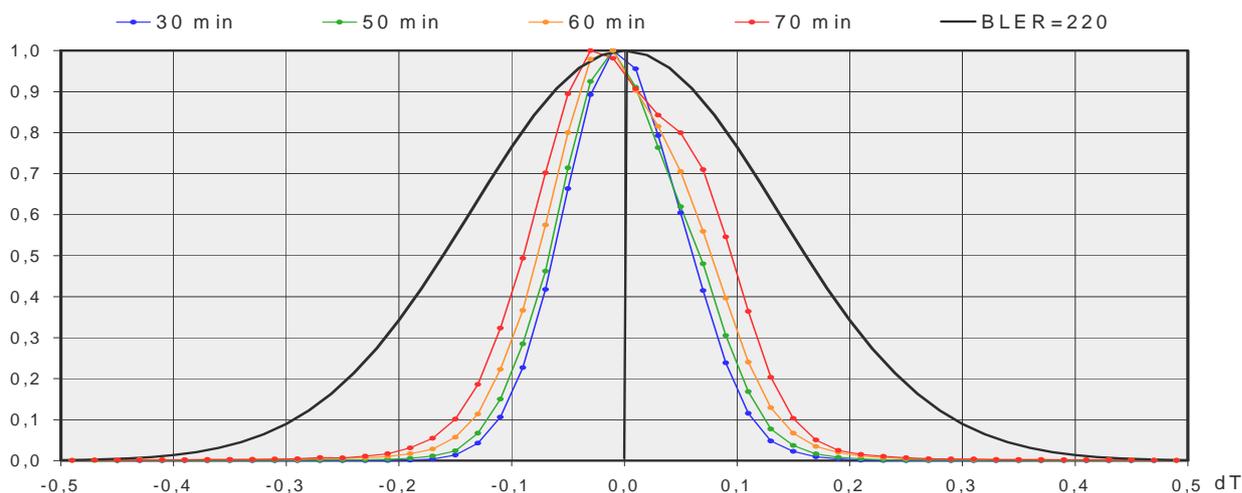
Position sur le disque	40 minutes	60 minutes	70 minutes
Pourcentage de débuts de trames avec tache sur land	1,9 %	4,8 %	2,5 %
avec tache sur pit	0,3 %	2,6 %	12,5 %
Profondeur moyenne des taches sur land	14,3 %Amax	19,4 %Amax	15,6 %Amax
des taches sur pit	7,1 %Amax	9,0 %Amax	7,6 %Amax

Conclusion : les taux d'erreurs élevés observés sur le disque Exel (Réf. N°25) sont dus à des micro- taches sombres affectant à la fois les zones gravées (pits) et les zones non gravées (lands). Les taches sur land semblent plus localisées (plus marquées) que les taches sur pits. Ces dernières pourraient par contre contribuer davantage aux erreurs numériques.

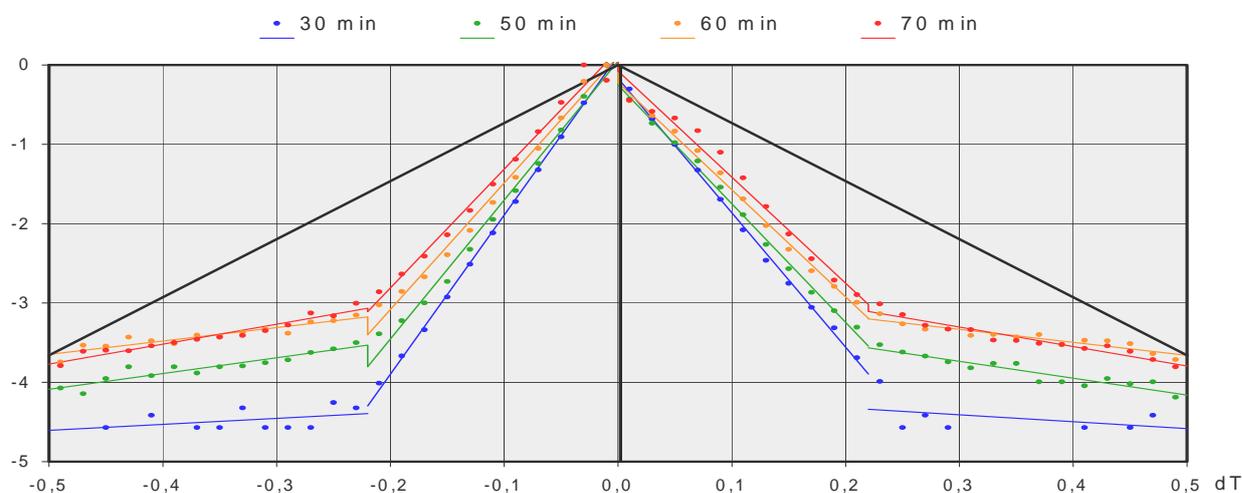
Réf. N°26 - Silver Pro – CD-R n° 38 et 39

Les dégradations de ces deux disques sont apparues dès septembre 2003 (disques gravés en juillet 2000), sans évolution notable par la suite. Les graphes et les représentations de surface (annexe 1 – pages 78 et 79) montrent une dégradation sur le pourtour des disques, la zone la plus dégradée n'étant pas la bordure du disque, mais un anneau situé un peu en retrait de cette bordure, le maximum étant proche de 60 minutes. Des erreurs incorrigibles existent dans cet anneau, pour le disque n°39, mais restent en nombre limité. Les graphes ci-dessous présentent les histogrammes obtenus pour différentes positions sur le disque.

CD-R N°38 - Histogrammes $H(x)$ des positions des transitions relativement aux tops d'horloge



CD-R N°38 - Histogrammes transformés $F(x)$



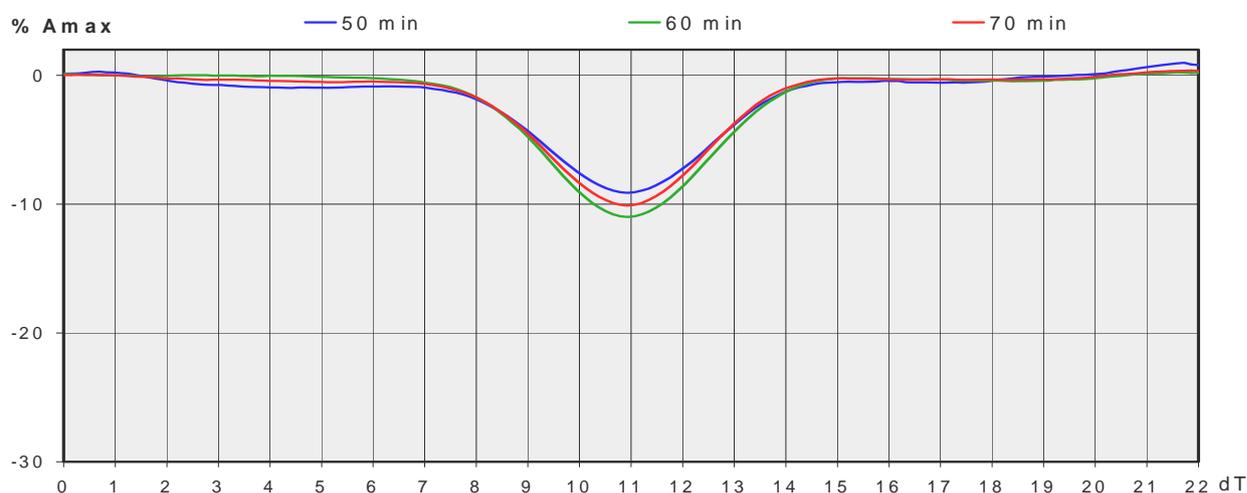
Les histogrammes font nettement apparaître une distribution secondaire, au-delà de 0,2dT qui est seule à contribuer au taux d'erreurs numériques. Cette distribution est très plate, ce qui implique un petit nombre de transitions fortement déplacées. Les caractéristiques de cette distribution secondaire sont données dans le tableau ci-dessous.

CD-R N°38 - Caractéristiques de la distribution secondaire

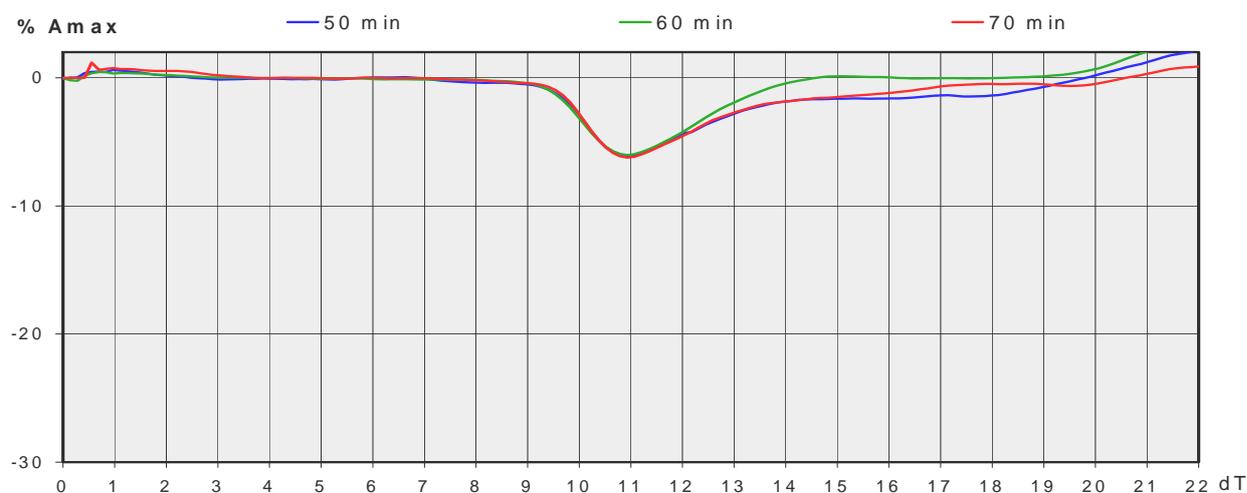
Position sur le disque	30 minutes	50 minutes	60 minutes	70 minutes
Taux de BLER estimé	54	200	1 315	517
Pourcentage des transitions	0,05 %	1,2 %	3,3 %	4,1 %

L'observation des débuts de trames montre la présence de taches sombres sur les lands. Ces taches sont en nombre plus élevé dans la zone la plus dégradée (60-70 minutes) que dans les zones moins dégradées. Les taches sur pits sont toujours situées à la limite de la transition vers le land et correspondent à un prolongement du pit plus qu'à une véritable tache. Les graphiques ci-dessous montrent les profils moyens en ne retenant que les taches présentant un creux d'au moins 5% du niveau Amax.

CD-R N°38 – Profils moyens des taches sur lands



CD-R N°38 – Profils moyens des taches sur pits



Le tableau ci-dessous donne les pourcentages de débuts de trames affectés par des taches de profondeur égale à au moins 5% Amax et les profondeurs moyennes de ces taches. La profondeur des taches sur land augmente peu dans la zone la plus dégradée du disque.

CD-R N°38 - Caractéristiques des taches sur les débuts de trame

Position sur le disque	50 minutes	60 minutes	70 minutes
Pourcentage de débuts de trames avec tache sur land	3,8 %	10,4 %	10,2 %
avec tache sur pit	0,3 %	1,5 %	0,4 %
Profondeur moyenne des taches sur land	9,1 %Amax	11,0 %Amax	10,1 %Amax
des taches sur pit	6,1 %Amax	6,0 %Amax	6,2 %Amax

Conclusion : les taux d'erreurs élevés observés sur les disques Silver Pro (Réf. N°26) sont dus à des micro-taches sombres affectant les zones non gravées (lands). L'augmentation du taux d'erreur numérique dans la partie la plus dégradée du disque semble plutôt dû à l'augmentation du nombre de taches qu'à une évolution de leur profondeur.

7 CONCLUSION

La collection de CD-R étudiée comporte 53 références et peut être considérée comme assez représentative des CD-R du marché entre 2000 et 2002. Il apparaît nettement que certaines références ont une tenue dans le temps anormalement mauvaise. Cela concerne principalement 6 références dont le niveau de dégradation est tel qu'il s'accompagne de perte des données (erreurs incorrigibles). La grande majorité des références ne présente pas ou très peu de dégradation, en terme d'erreurs numériques. On note cependant une évolution statistique de certains paramètres comme le jitter qui montre qu'un certain vieillissement existe même pour les bonnes références.

Il convient donc de distinguer un vieillissement que l'on peut qualifier de normal, qui est très lent et n'affecte pas la lecture des données après 7 ans de conservation des CD-R, d'un vieillissement anormal pouvant détruire au moins partiellement les données après une durée de conservation parfois inférieure à 2 ans. Ce type de dégradation est anormal parce qu'il est rapide, mais aussi parce qu'il ne concerne pas les disques de manière uniforme. On constate le plus souvent que la dégradation apparaît à partir ou près du bord externe du disque. Ce dernier point semble indiquer que l'origine de la dégradation n'est pas liée à la nature des constituants (dye, couche métallique, polycarbonate, vernis) qui subiraient une transformation chimique inéluctable, mais plutôt à un défaut de fabrication ou d'assemblage de ces constituants.

L'aspect des représentations de surface des erreurs pour les disques dégradés naturellement est proche de celui observé sur des disques ayant subi un vieillissement accéléré et tel que décrit dans un rapport LNE de 2007 ^[2].

L'étude détaillée du signal HF des disques à vieillissement anormal permet de décrire les défauts qui sont à l'origine des erreurs numériques en lecture. Pour les 6 références étudiées, il s'agit de l'apparition de taches dont les dimensions sont de l'ordre du micromètre, c'est à dire à peu près de la taille de la largeur du sillon (interpiste de 1,6 µm pour les CD). Ces taches sont généralement des taches sombres (diminution de l'amplitude de la lumière réfléchie) qui peuvent exister sur les parties gravées déjà sombres, comme sur les parties claires non gravées. Sur une seule des 6 références (N°24), on a noté la présence de taches claires sur les parties gravées.

Il est facile de comprendre que des taches, même peu prononcées (5 à 20% d'assombrissement), vont perturber la position des transitions entre zones gravées et non gravées. Comme le codage de l'information numérique est fait par ces positions, il en résulte des erreurs numériques. L'étude statistique des écarts des transitions vis à vis des tops d'horloge montre souvent l'existence de deux distributions. L'une majoritaire, d'allure plus ou moins gaussienne selon la qualité de la gravure initiale, peut être qualifiée par son écart-type (« jitter to clock »). L'autre ne concerne qu'une faible partie des transitions (parfois moins de 5%) mais correspond à des écarts de position importants (queue de la distribution) pouvant facilement produire des erreurs numériques. C'est cette distribution secondaire qui est seule à l'origine des erreurs numériques et explique l'absence de corrélation souvent observée entre jitter et erreurs numériques.

Les références N°11 et 26 sont typiques d'une telle distribution secondaire liée à des assombrissements peu nombreux et localisés, assimilables à des petites taches. Pour d'autres références (typiquement la référence N°14), la distribution secondaire n'est pas totalement indépendante de la distribution principale dont l'écart type augmente aussi dans les zones dégradées. Dans ce cas, les erreurs numériques seraient liées à des fluctuations de l'intensité réfléchie qui seraient plus dispersées et moins intenses que celles produites par les taches décrites ci-avant.

[2] Etude LNE N° 202 / 2005 – Rapport d'avril 2007 – JM Lambert
Etude du vieillissement en conditions climatiques sévères de 2 références de CD-R

Le phénomène physique à l'origine de ces taches ou de ces fluctuations anormales sur le signal HF reste pour le moment inconnu. On peut d'ores et déjà s'attendre à des phénomènes différents d'une référence de disque à l'autre. En effet la typologie des taches est assez variable : elles sont parfois plus fréquentes sur les zones gravées, parfois plus fréquentes sur les zones non gravées. Bien qu'il s'agisse généralement de taches sombres, au moins une référence présente des taches claires sur les zones gravées.

La raison pour laquelle la dégradation apparaît préférentiellement sur le bord externe des disques reste également inconnue, de même que l'influence de la sérigraphie du dos des disques qui est visible sur les représentations de surface pour certains disques (référence N°25 ou 26).

Des investigations avec d'autres moyens que les analyseurs d'erreurs (microscope, spectrophotométrie, etc.) pourraient permettre de progresser dans la connaissance des phénomènes physiques associés au vieillissement anormal de certaines références de CD-R.

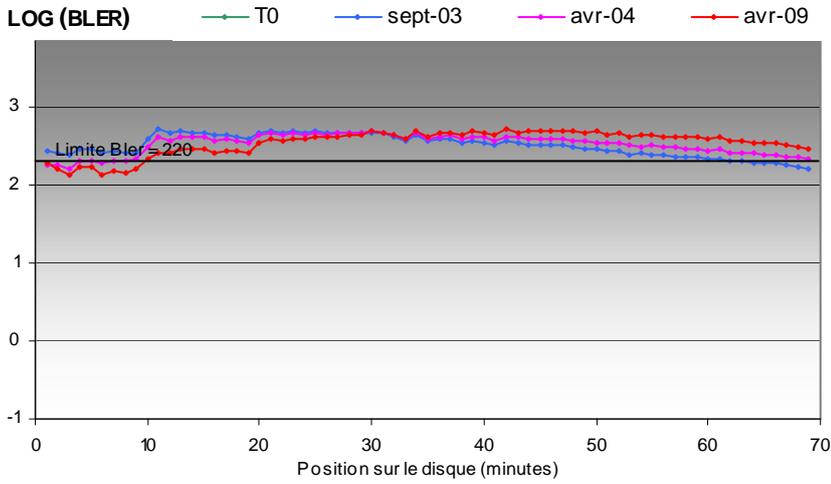
ANNEXE 1

Représentations graphiques du BLER pour chaque disque

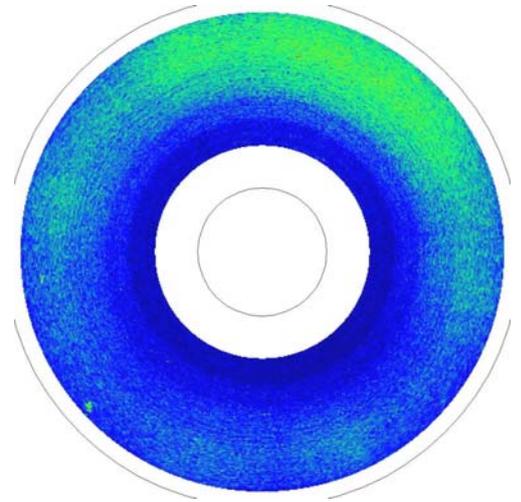
- **Courbes en fonction du rayon**
- **Représentations de surface**

Disque N° 1 (1F) – Fujifilm – Graveur F (oct 01)

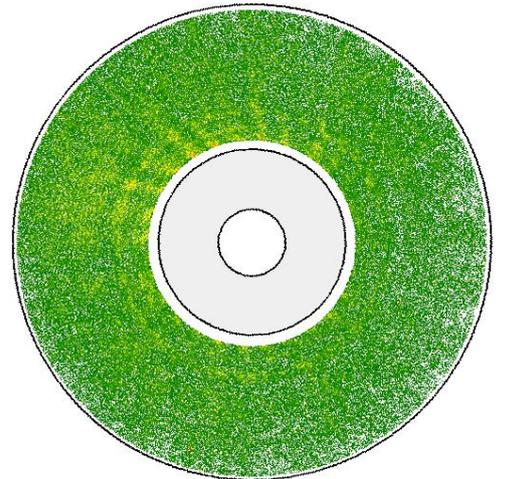
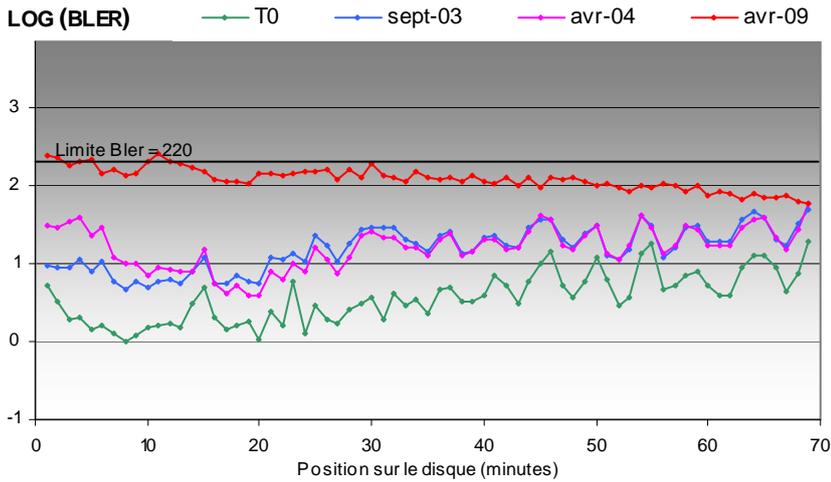
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



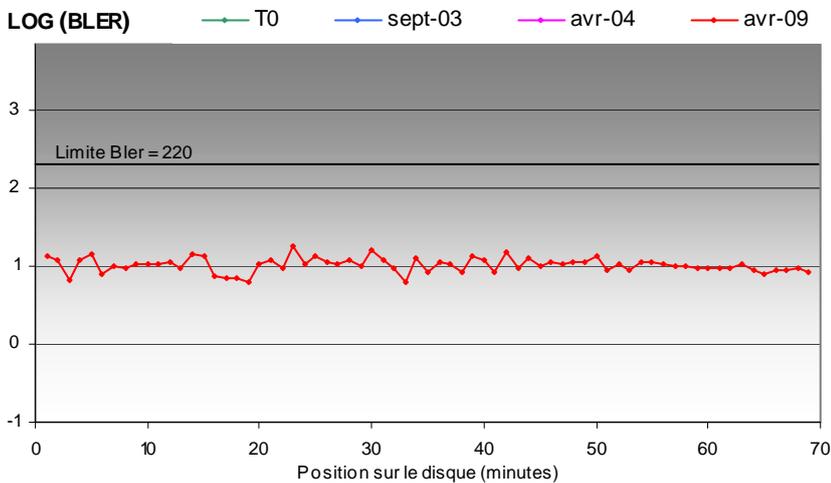
Représentations de surface (avril 2009)



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



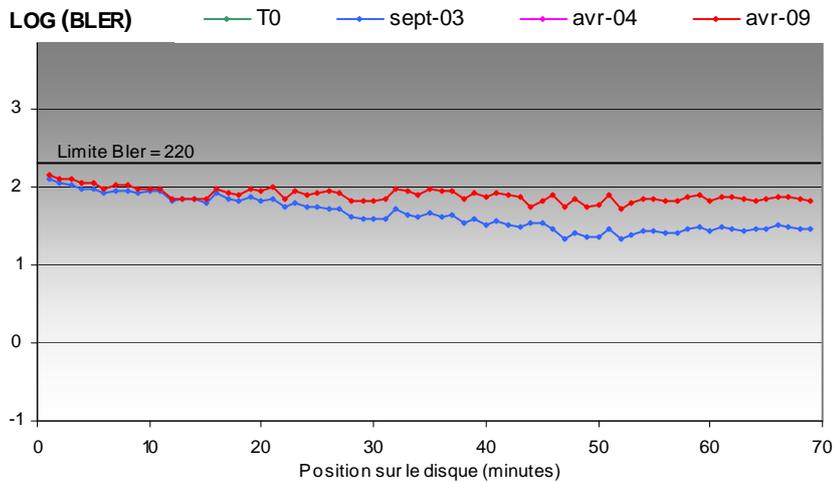
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



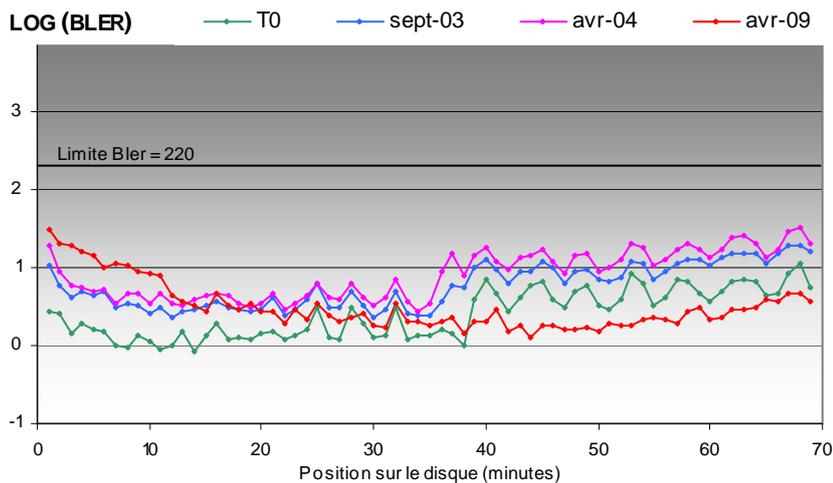
Disque N° 2 (2G) – VIVASTAR – Graveur G (oct 01)

Représentations de surface
(avril 2009)

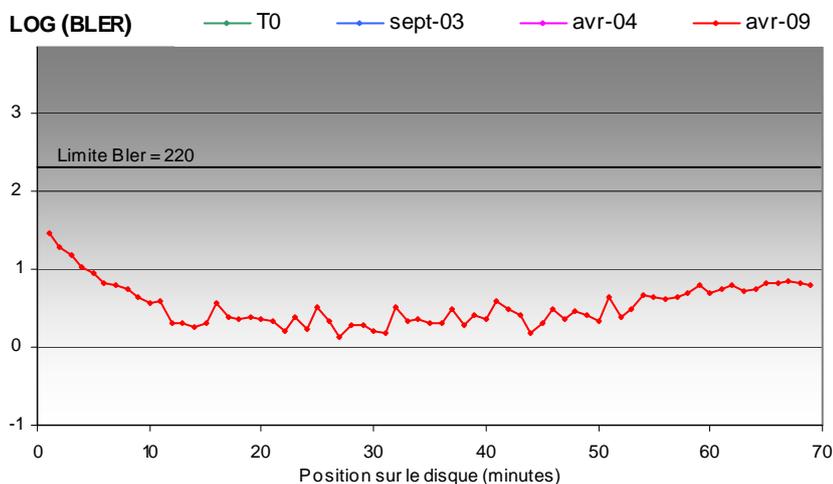
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



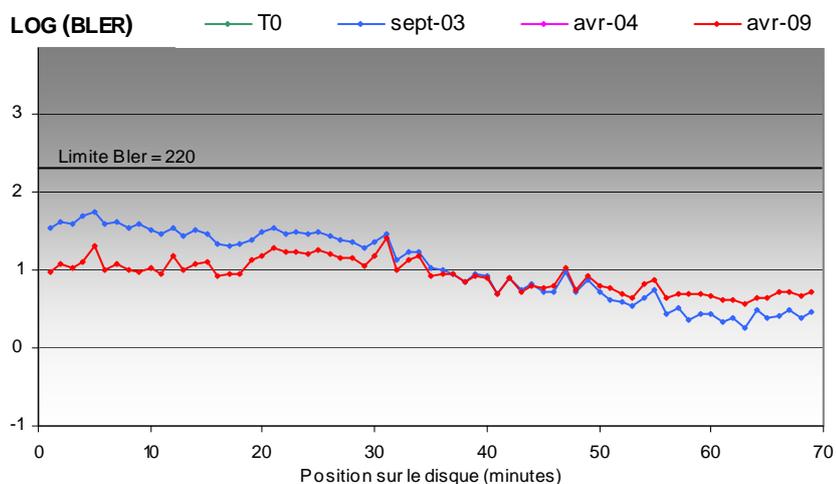
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



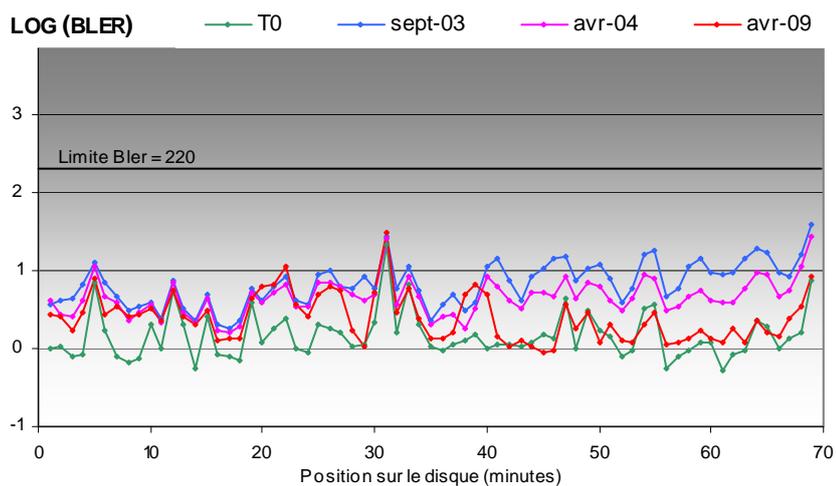
Disque N° 3 (3F) – Neat – Graveur F (oct 01)

Représentations de surface
(avril 2009)

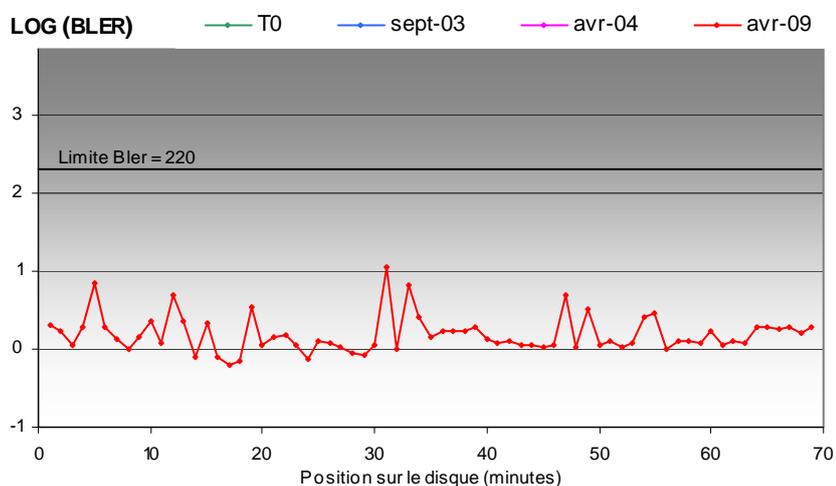
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



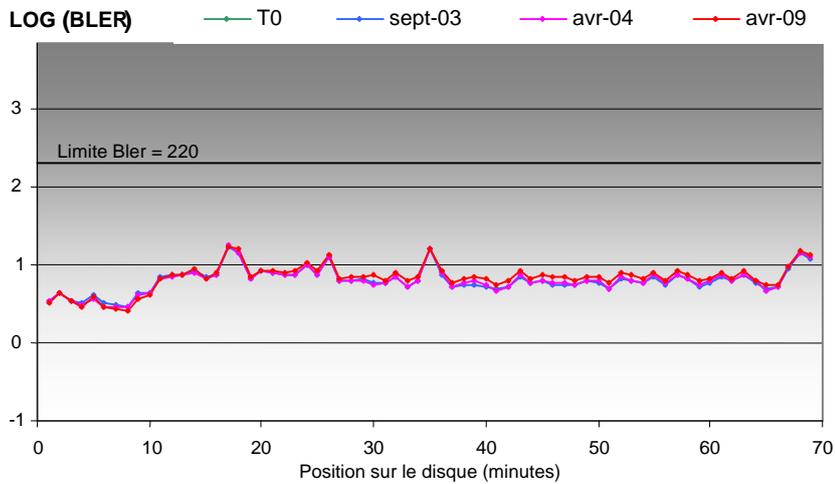
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



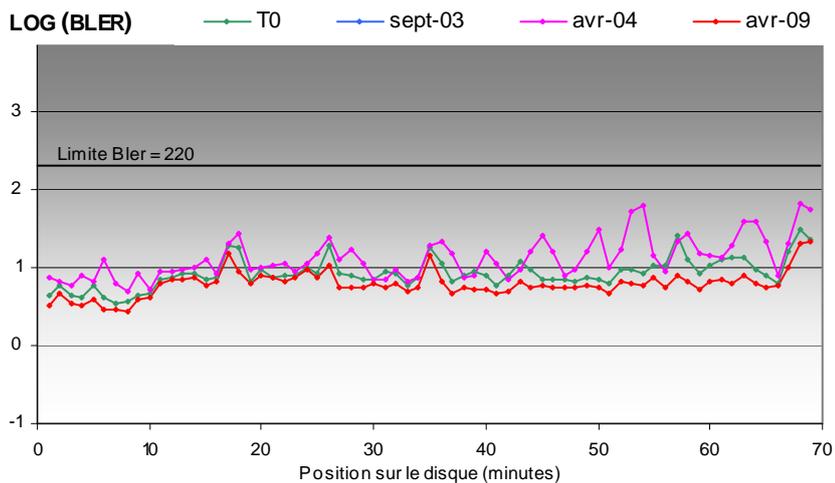
Disque N° 4 (4D) – Carrefour – Graveur D (mai 00)

Représentations de surface
(avril 2009)

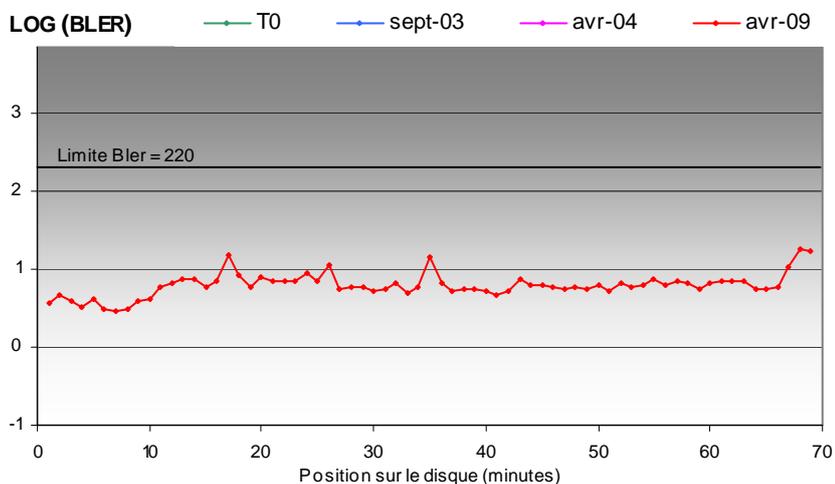
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



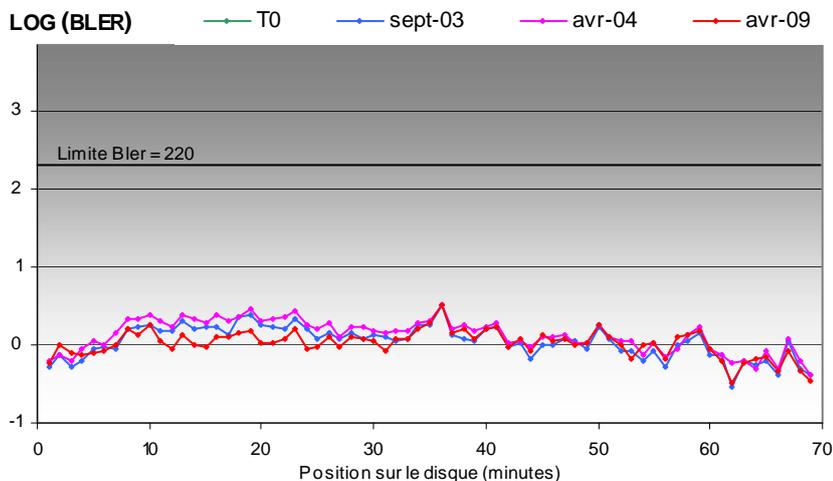
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



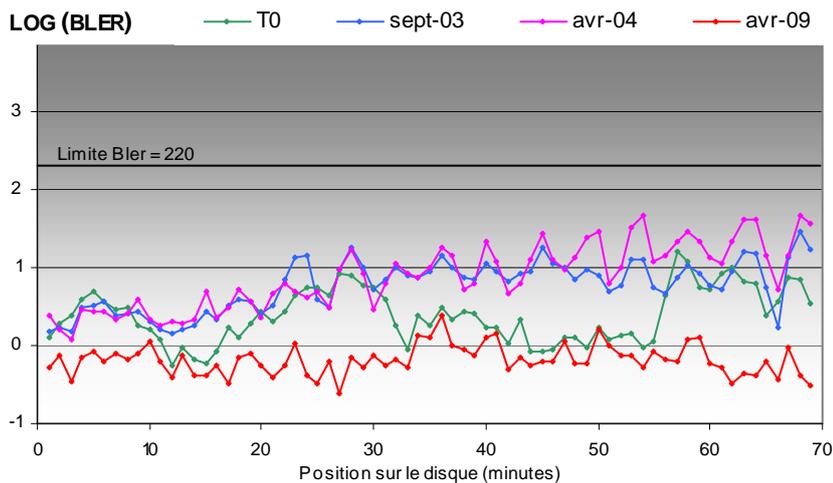
Disque N° 5 (5hp8) – SOUND&DATA – Graveur Hp8 (mai 00)

Représentations de surface
(avril 2009)

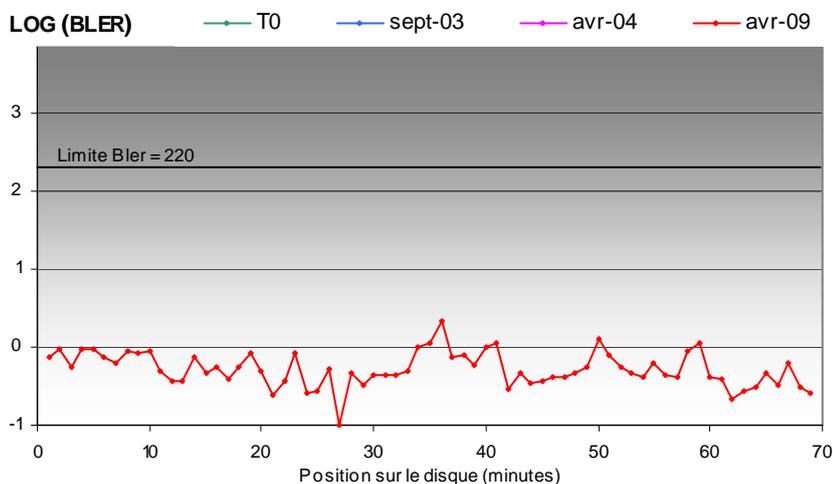
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



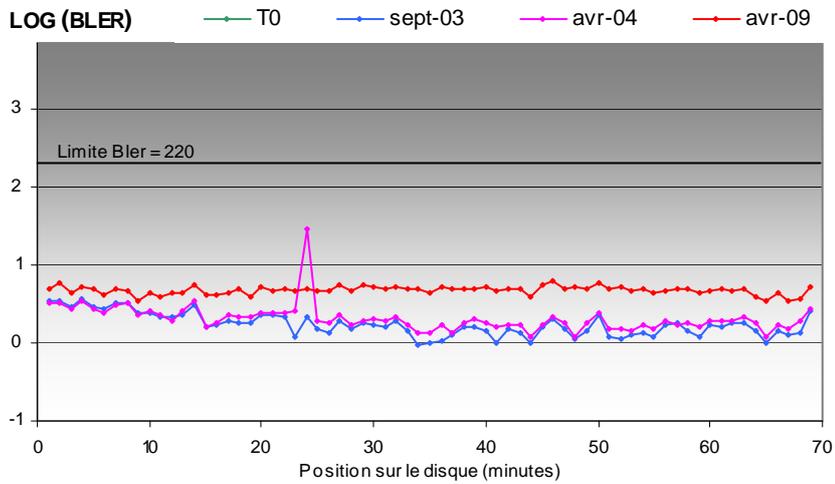
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



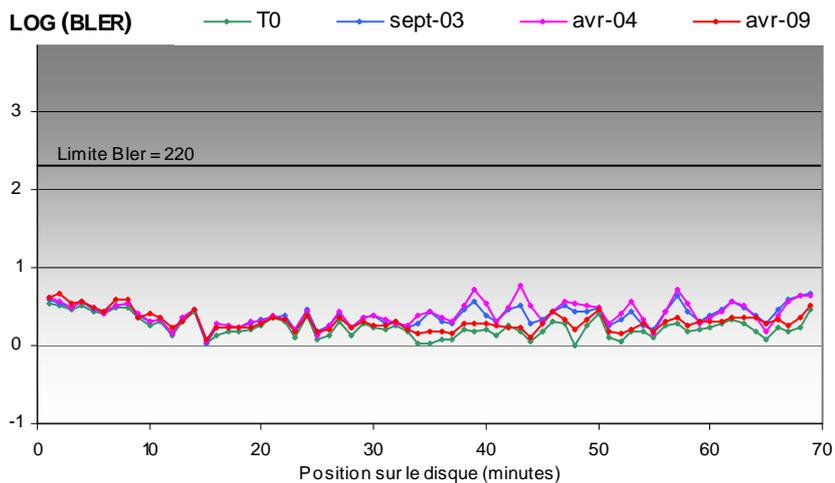
Disque N° 6 (6F) – LG – Graveur F (mars 01)

Représentations de surface
(avril 2009)

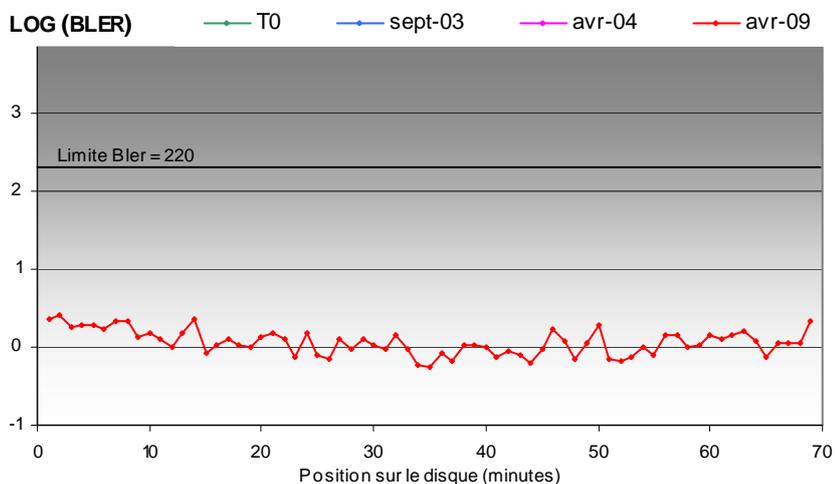
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



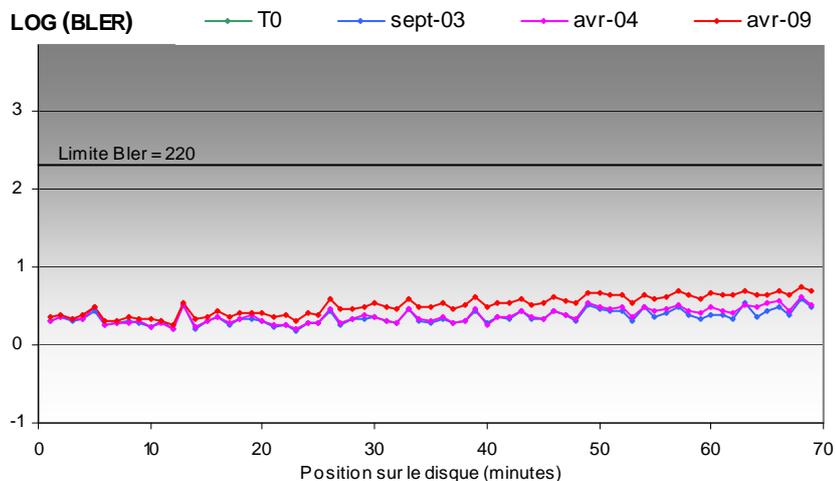
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



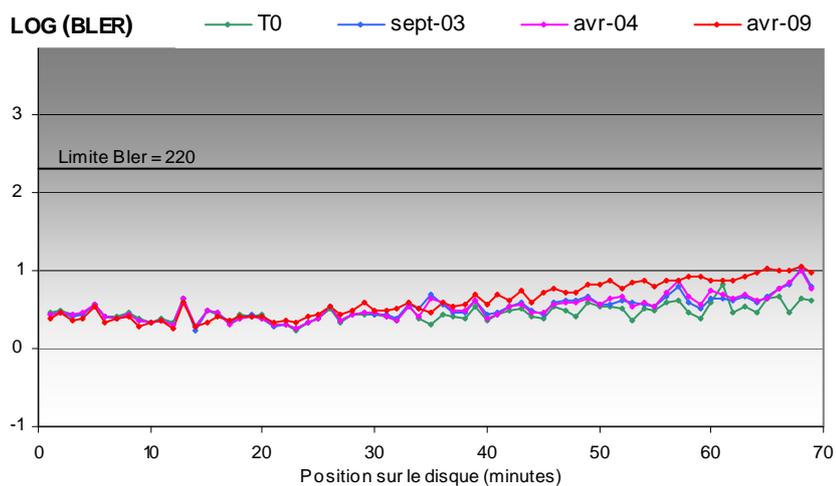
Disque N° 7 (7F) – ESN – Graveur F (mars 01)

Représentations de surface
(avril 2009)

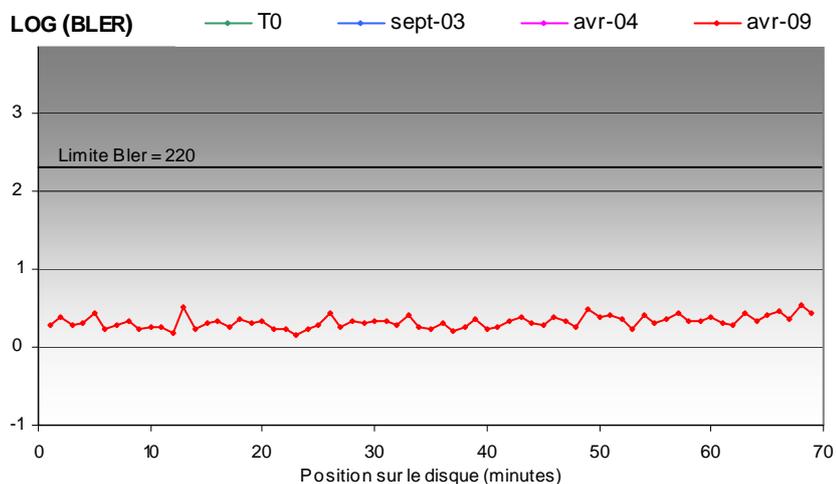
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



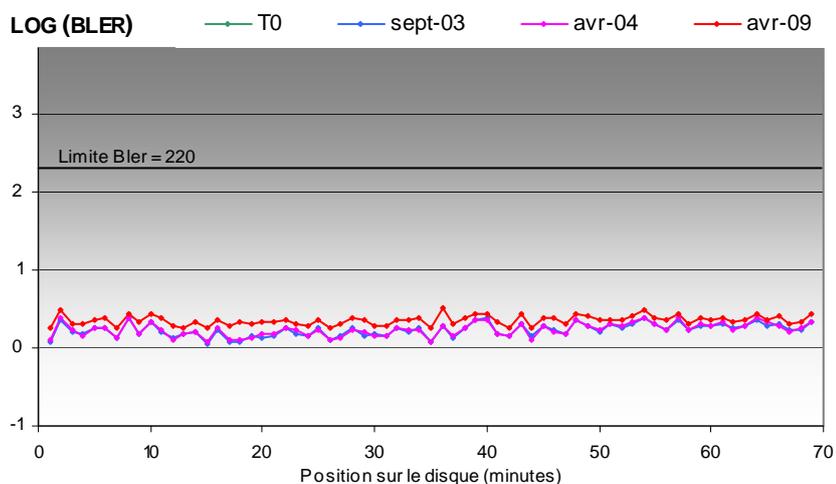
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



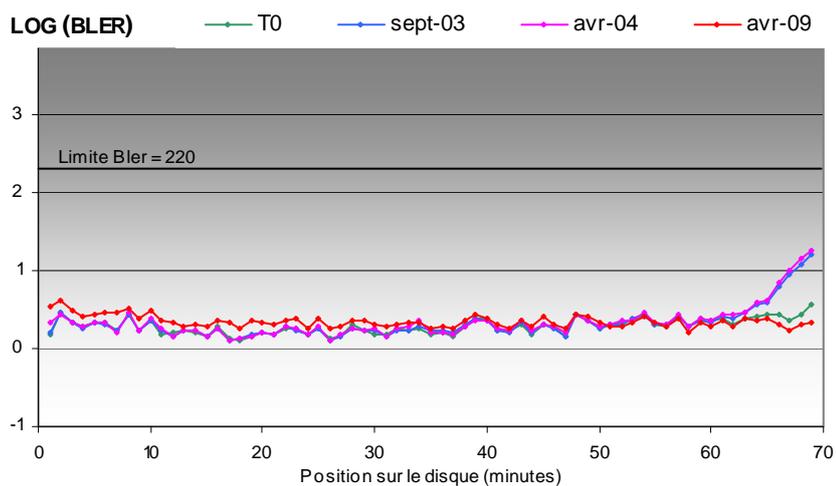
Disque N° 8 (8E) – Emtec – Graveur E (mars 01)

Représentations de surface
(avril 2009)

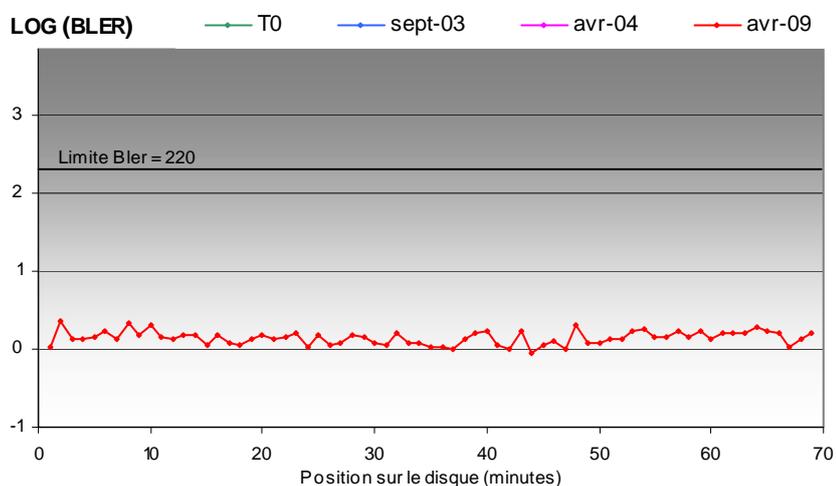
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x

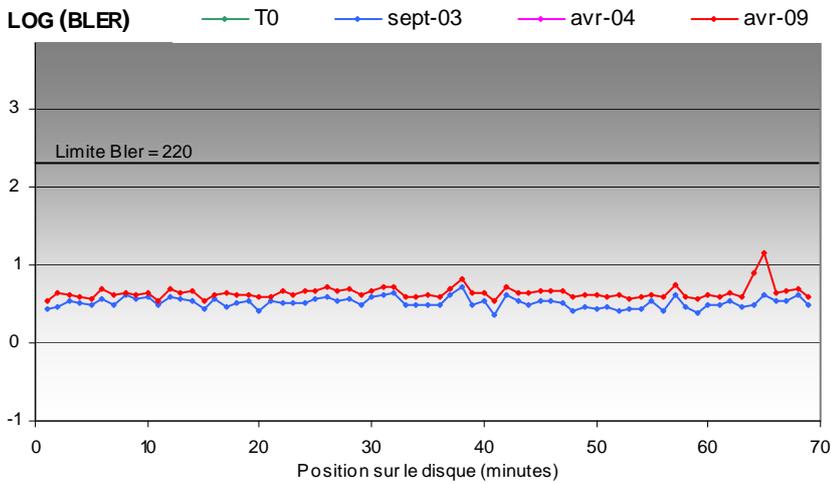


ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x

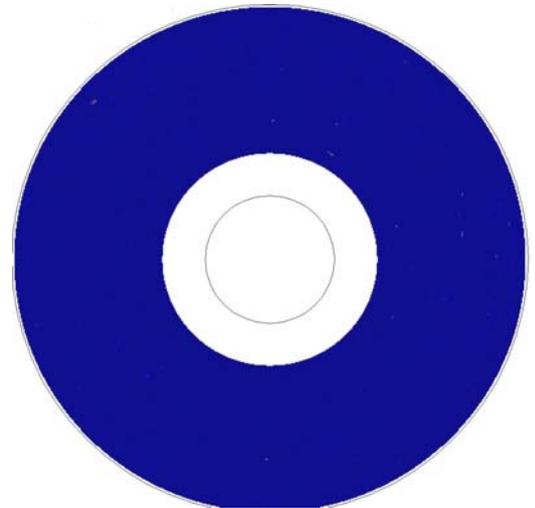


Disque N° 9 (8G) – Emtec – Graveur G (avril 01)

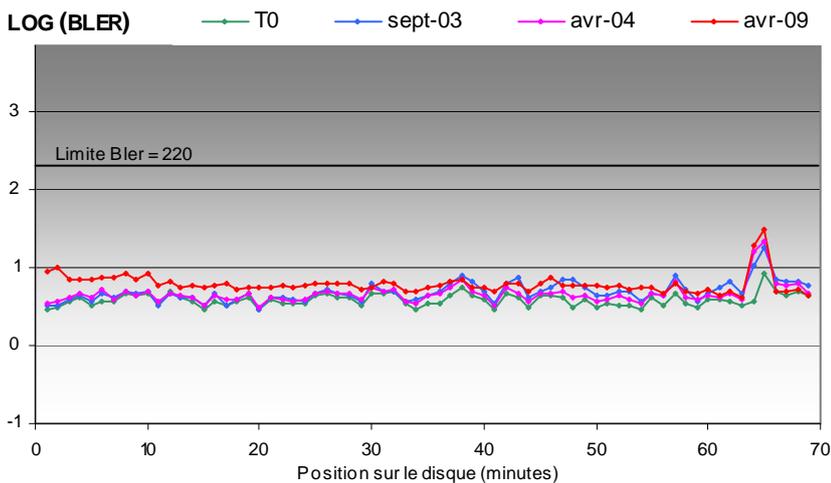
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



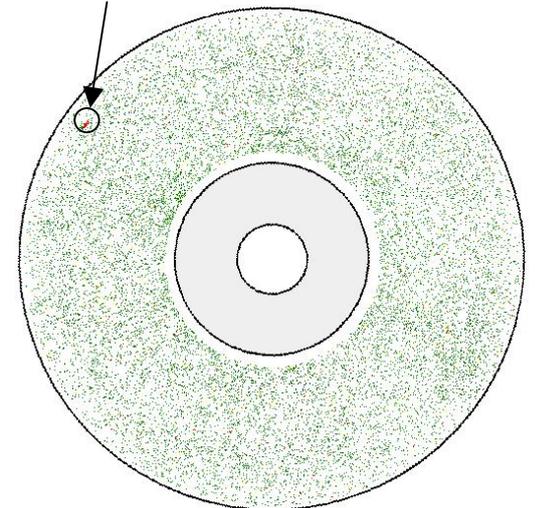
Représentations de surface (avril 2009)



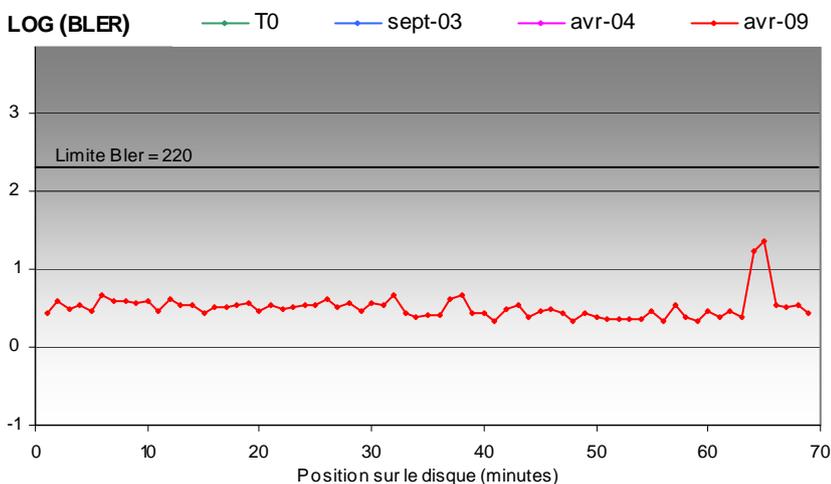
ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



tache



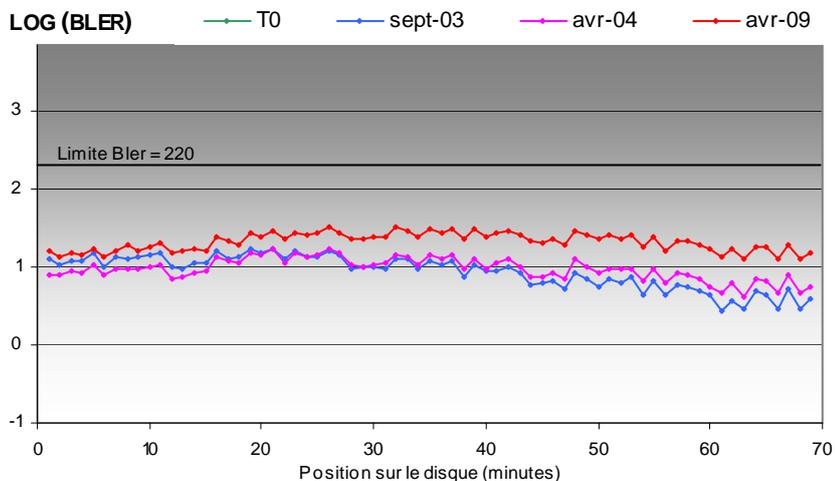
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



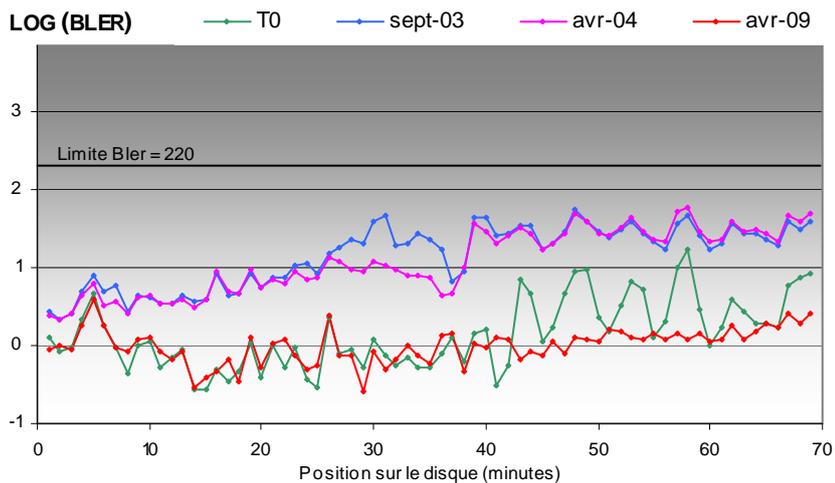
Disque N° 10 (9G) – SKC – Graveur G (oct 01)

Représentations de surface
(avril 2009)

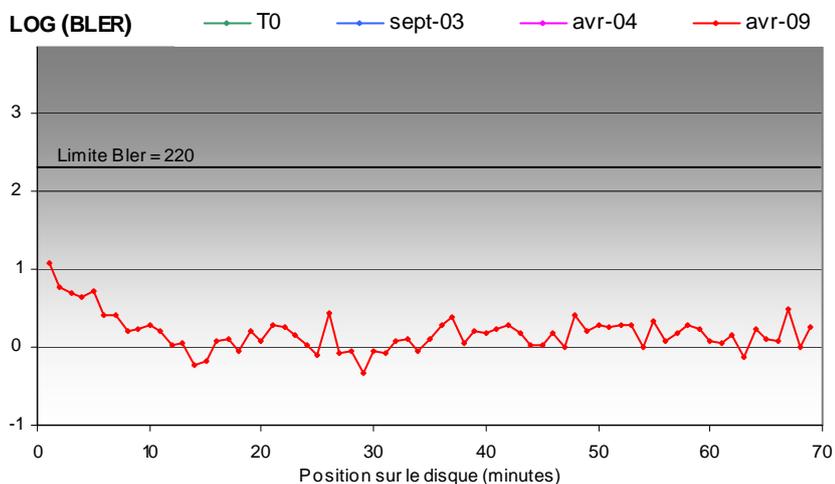
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



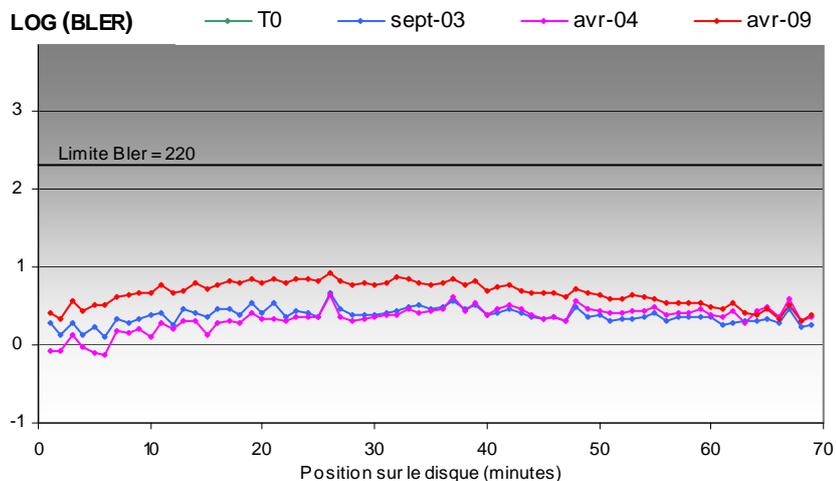
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



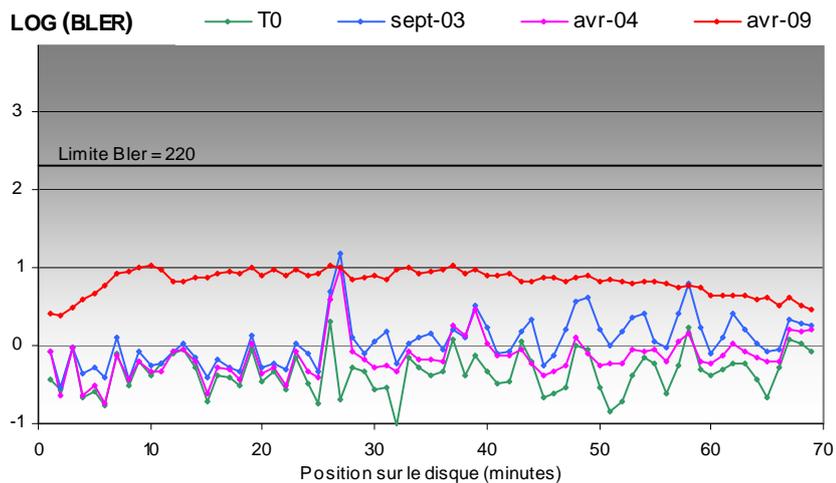
Disque N° 11 (9I) – SKC – Graveur I (oct 01)

Représentations de surface
(avril 2009)

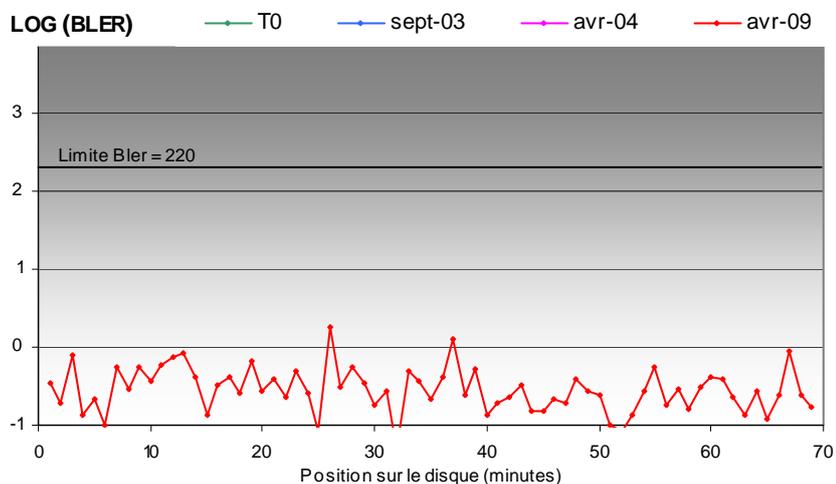
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



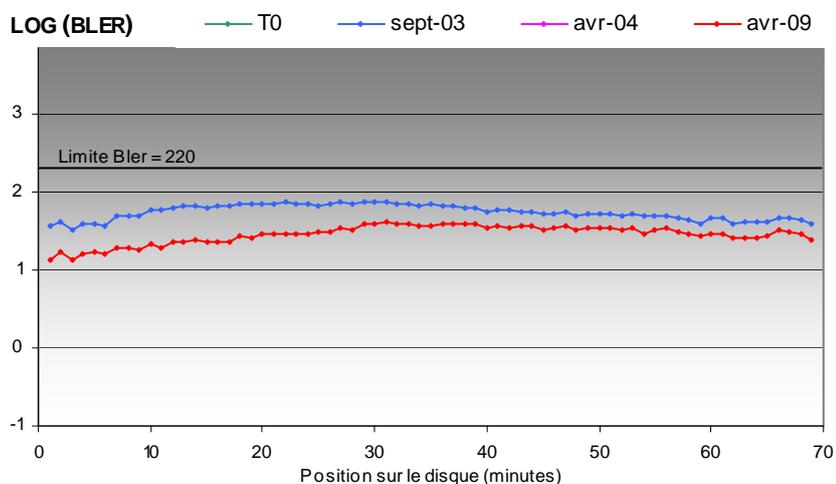
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



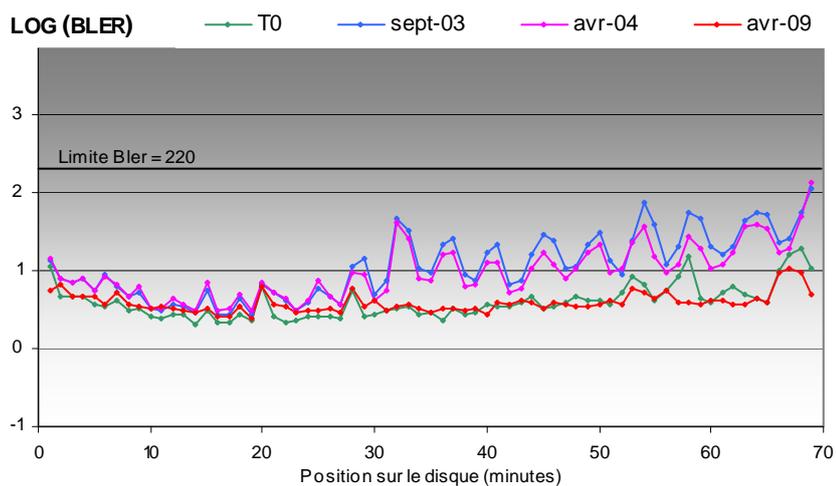
Disque N° 12 (10D) – Basf – Graveur D (oct 00)

Représentations de surface
(avril 2009)

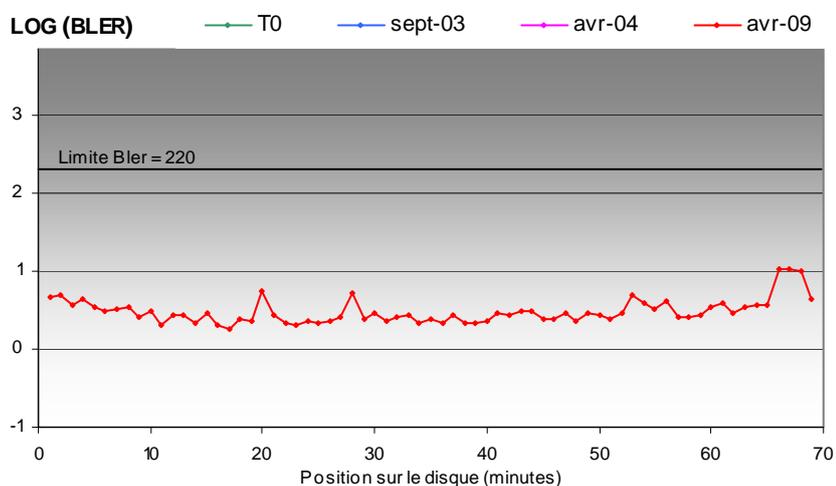
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x

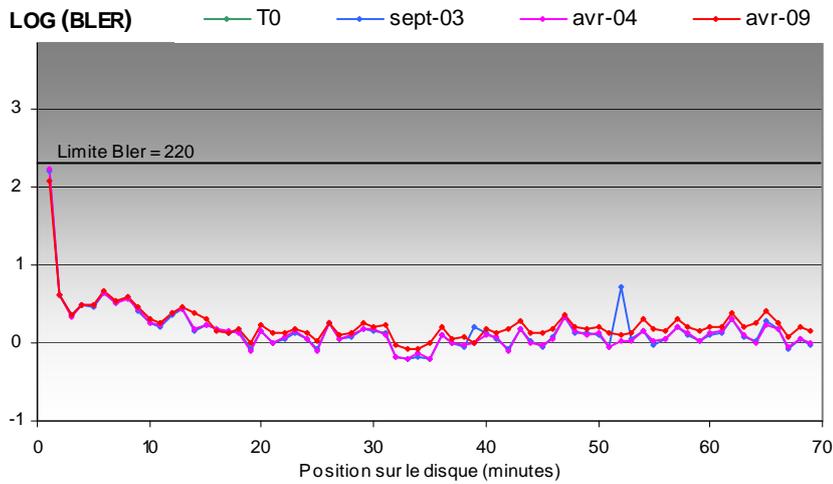


ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



Disque N° 13 (10hp8) – Basf – Graveur Hp8 (oct 00)

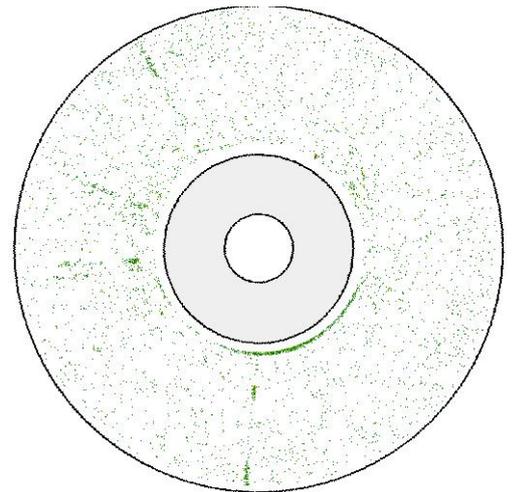
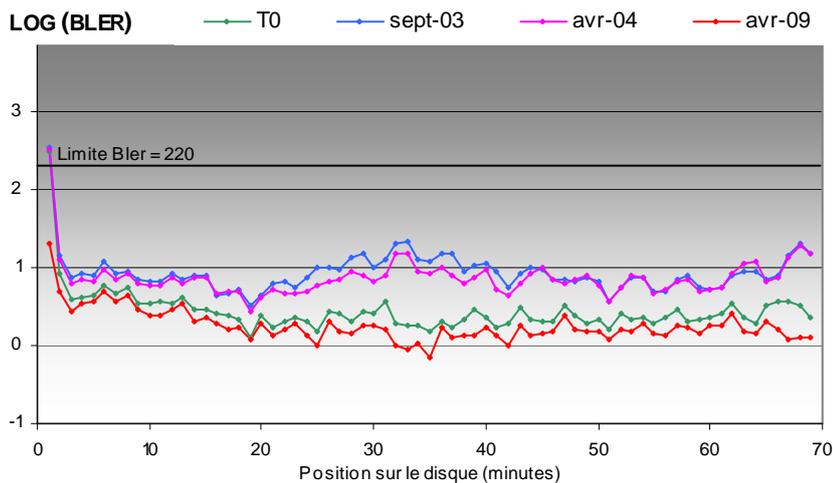
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



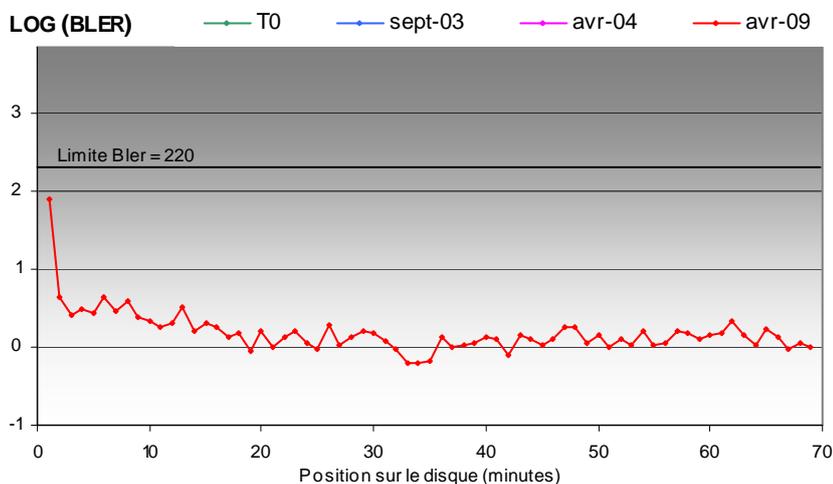
Représentations de surface (avril 2009)



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x

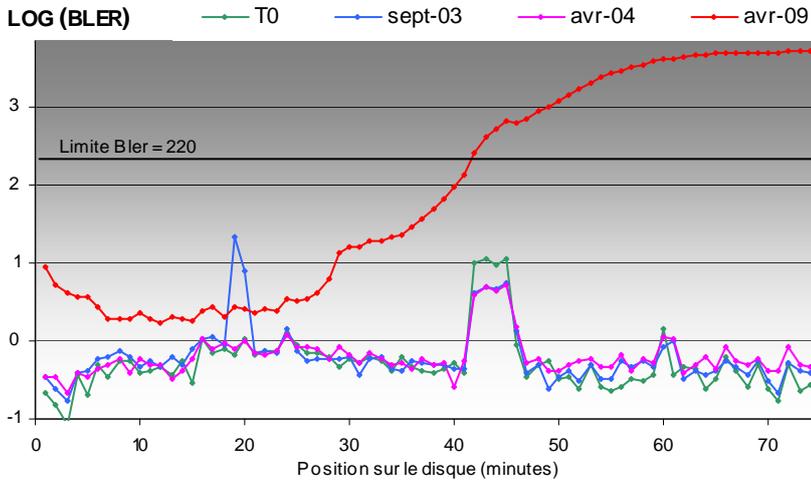


ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x

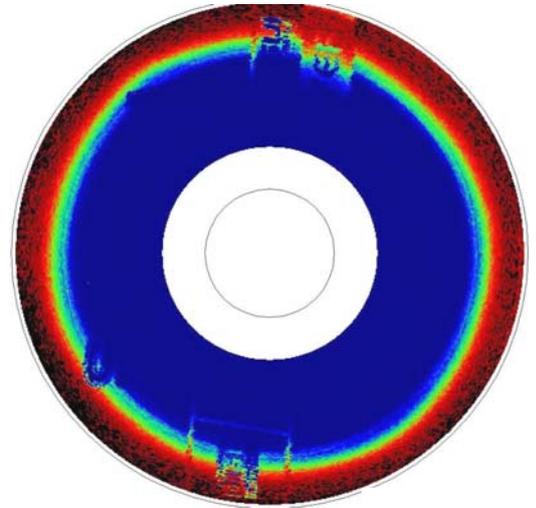


Disque N° 14 (11R) – Mitsui – Graveur R (mai 02)

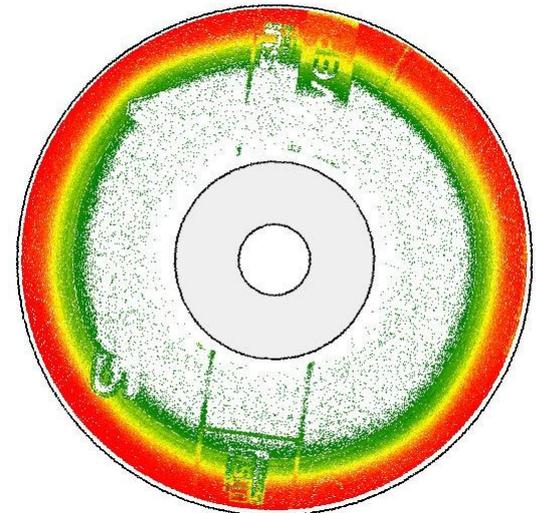
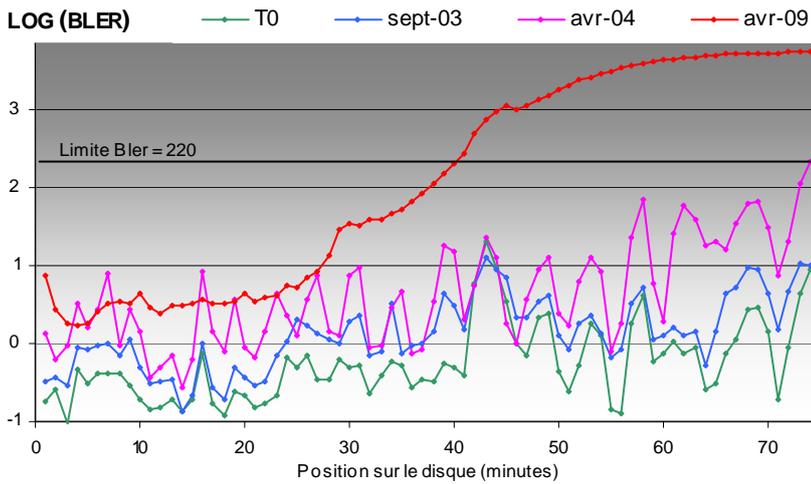
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



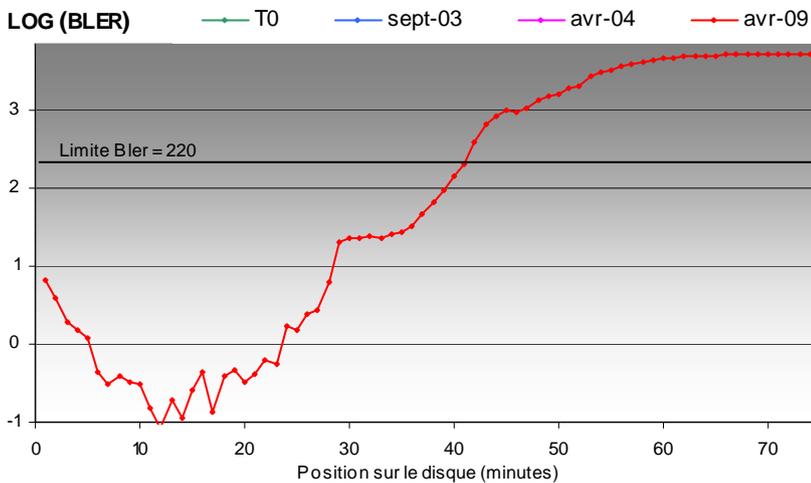
Représentations de surface (avril 2009)



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



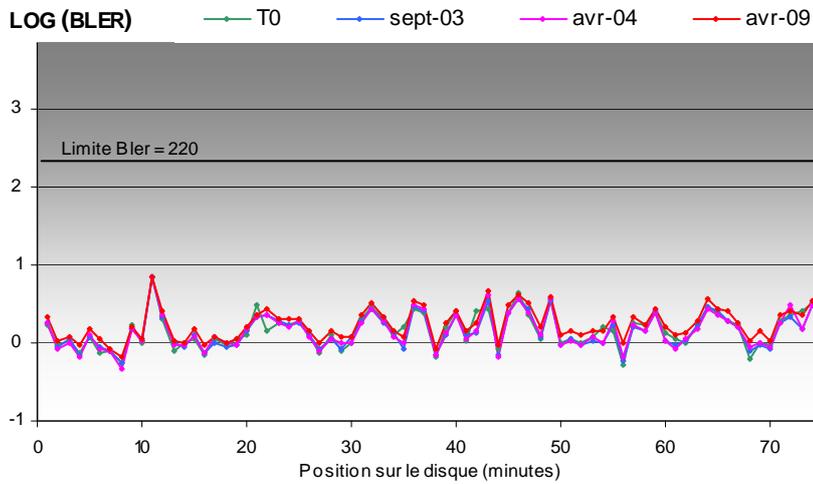
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



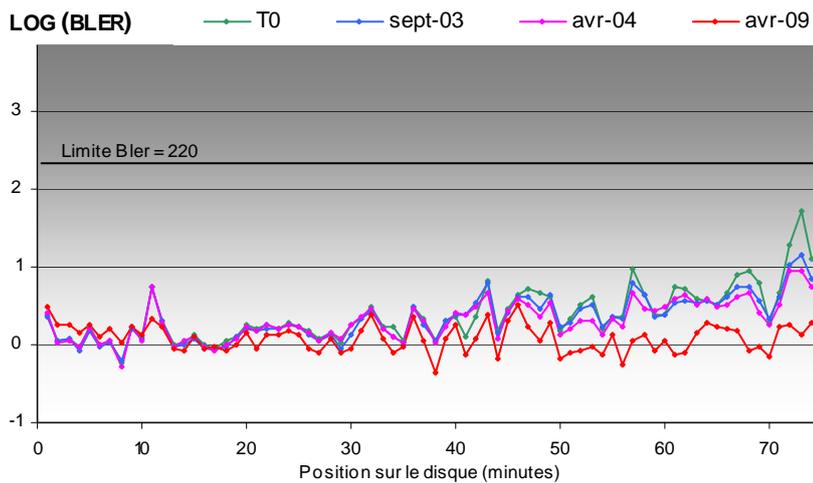
Disque N° 15 (12Q) – Verbatim – Graveur Q (juin 02)

Représentations de surface
(avril 2009)

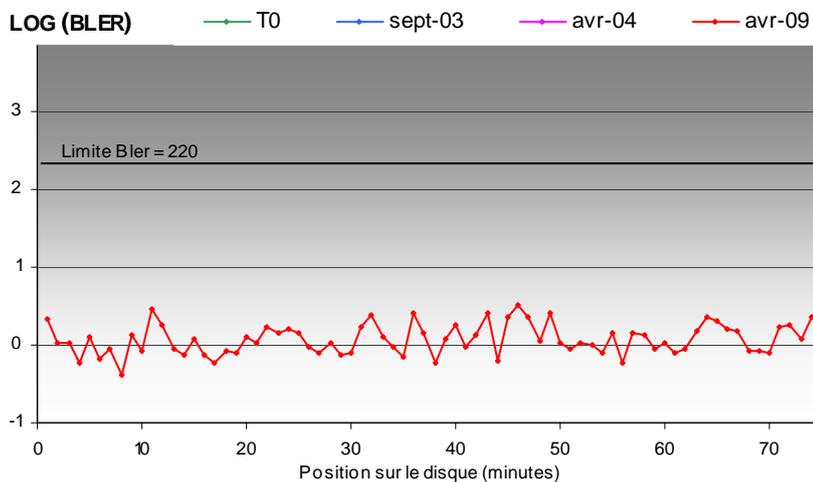
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x

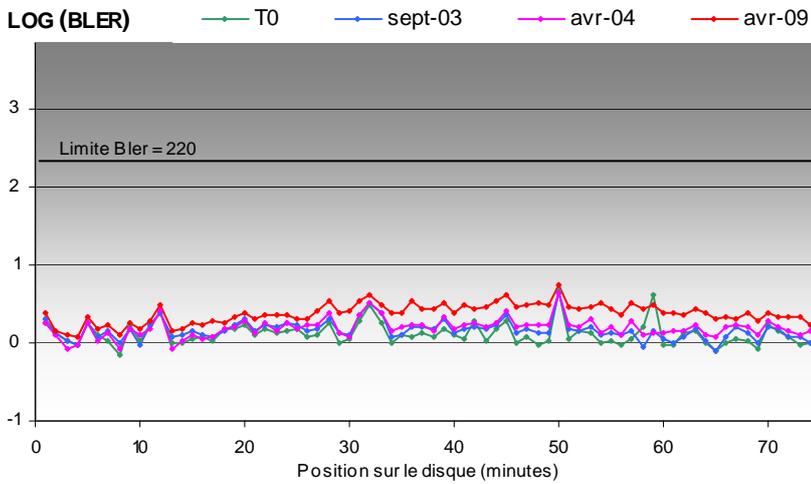


ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



Disque N° 16 (12R) – Verbatim – Graveur R (juin 02)

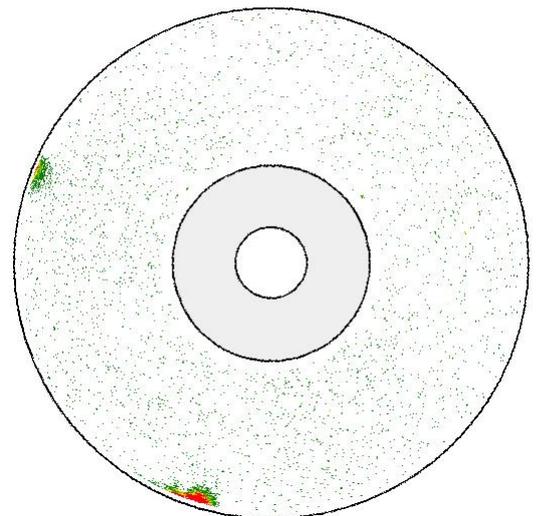
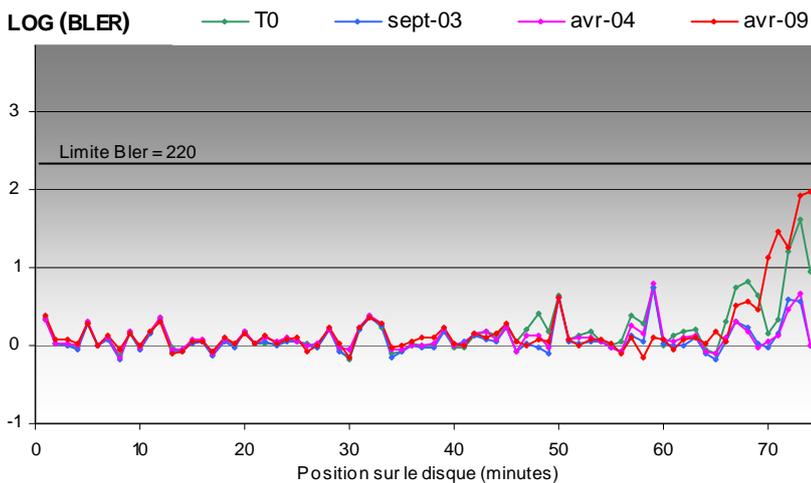
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



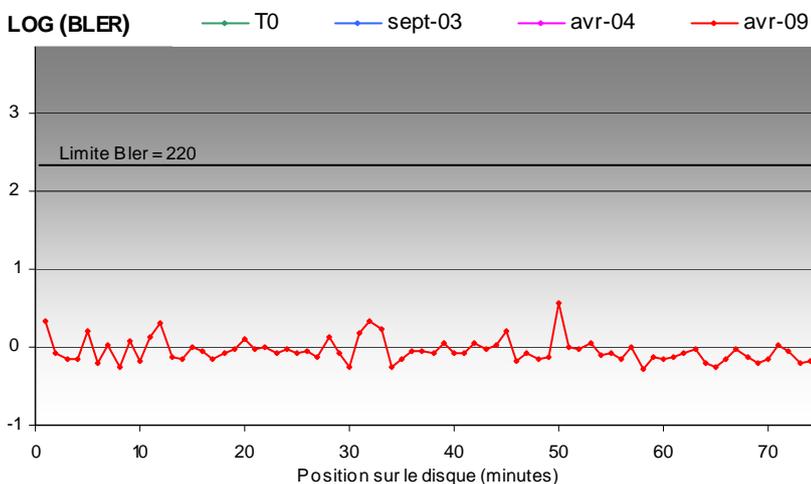
Représentations de surface (avril 2009)



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x

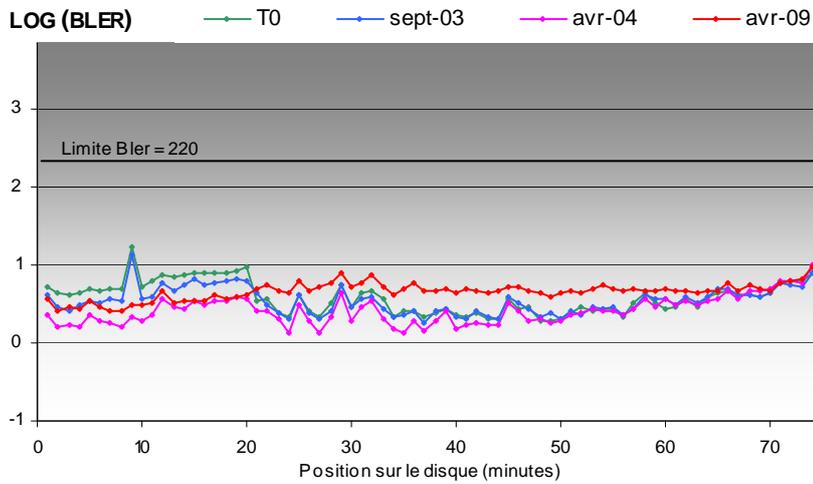


ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



Disque N° 17 (12ph24) – Verbatim – Graveur Ph24 (juin 02)

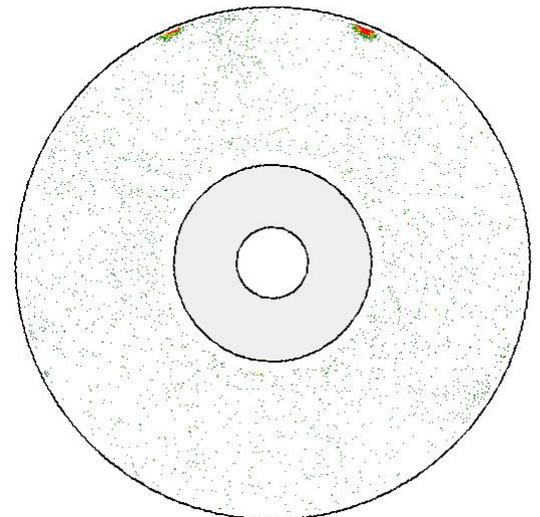
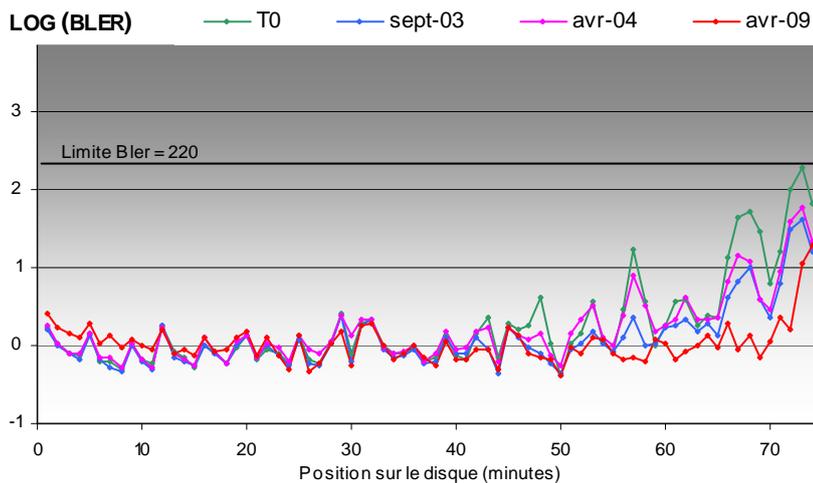
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



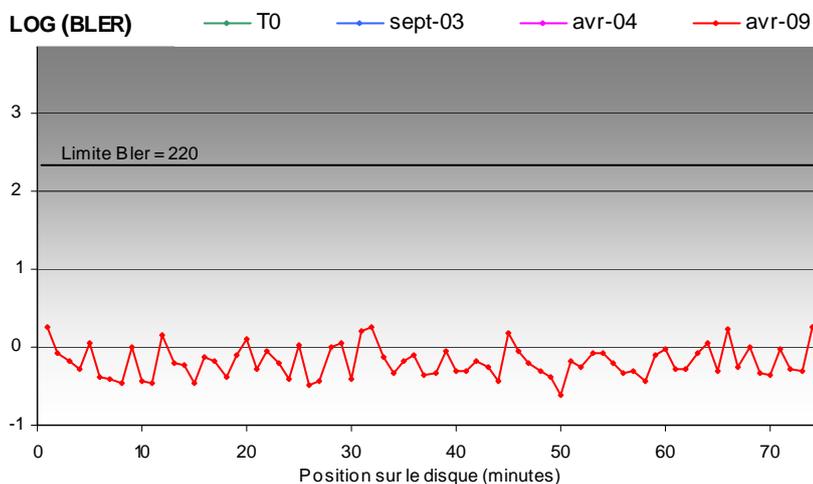
Représentations de surface (avril 2009)



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



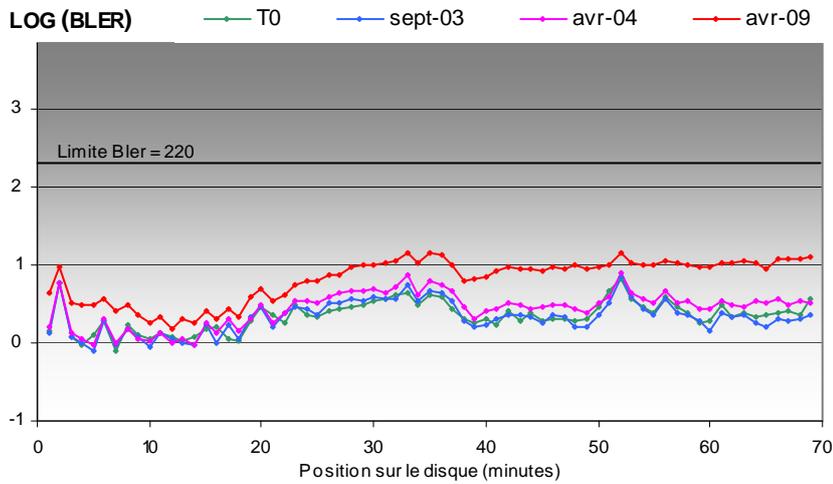
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



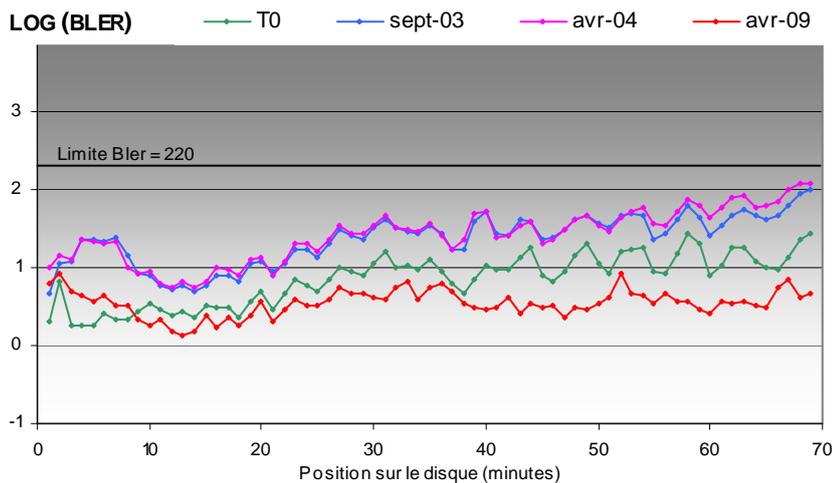
Disque N° 18 (13Q) – Sony – Graveur Q (juin 02)

Représentations de surface
(avril 2009)

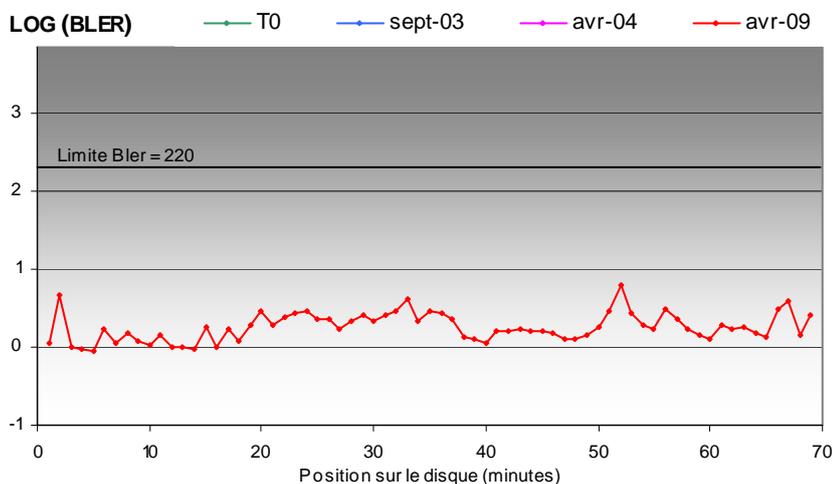
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



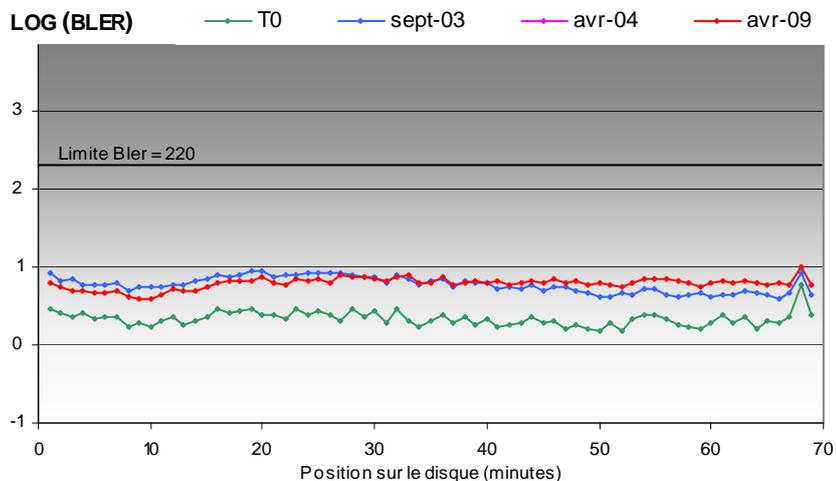
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



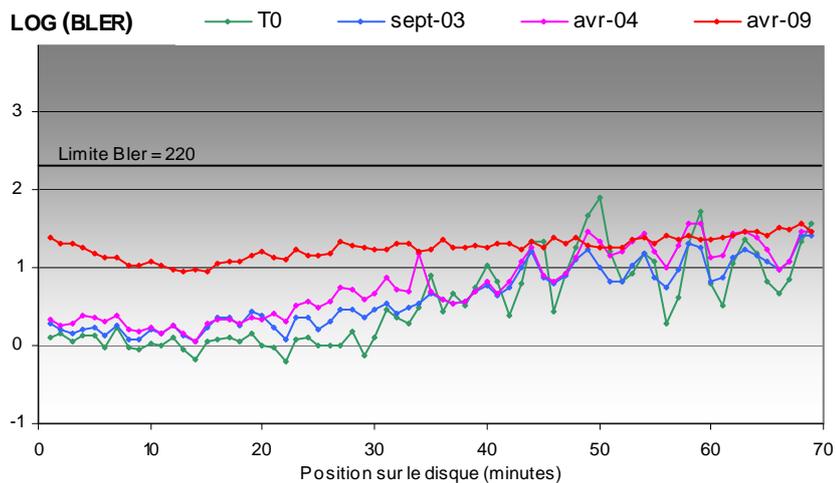
Disque N° 19 (13R) – Sony – Graveur R (juin 02)

Représentations de surface
(avril 2009)

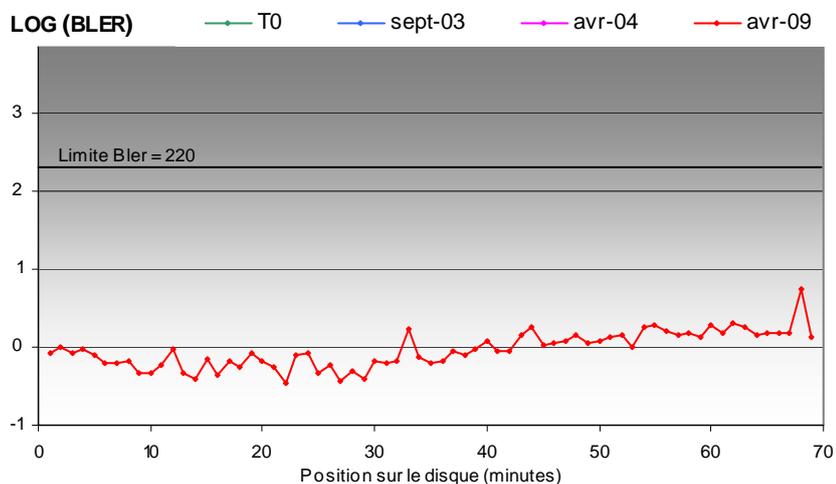
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x

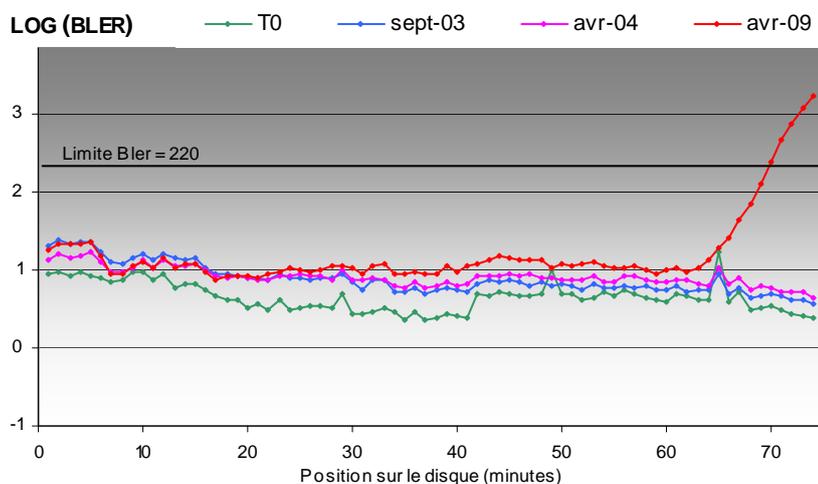


ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



Disque N° 20 (14R) – MPO – Graveur R (mai 02)

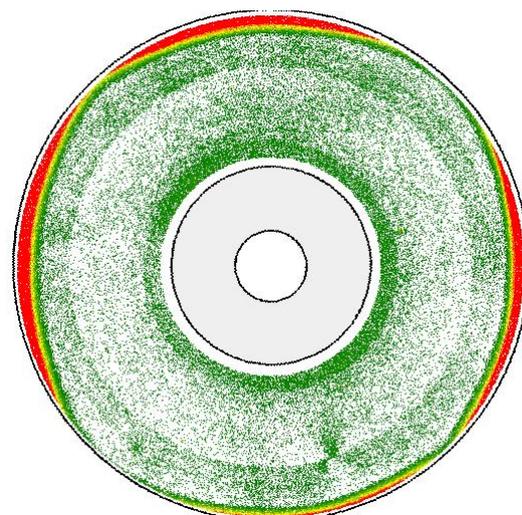
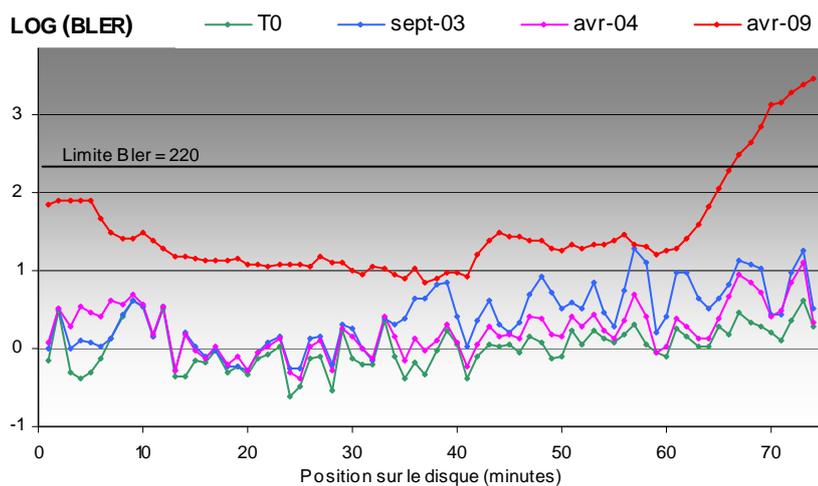
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



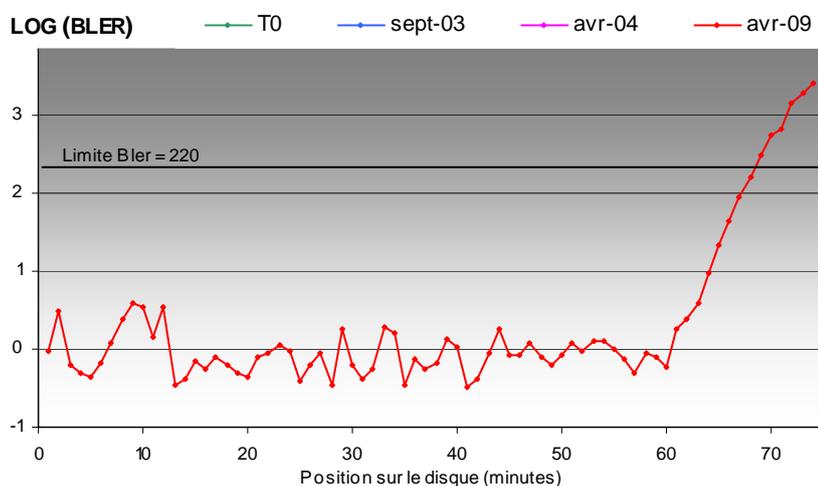
Représentations de surface (avril 2009)



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x

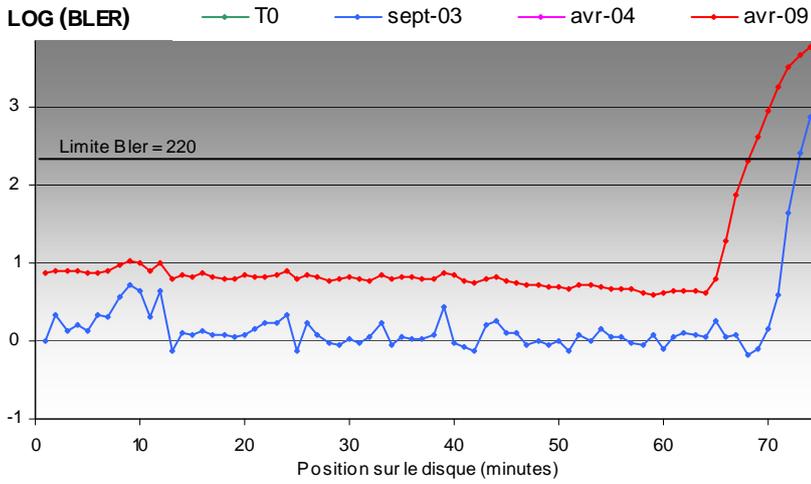


ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x

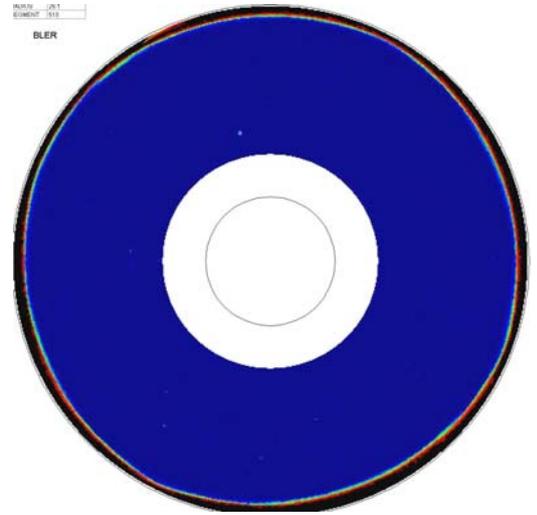


Disque N° 21 (14io24) – MPO – Graveur io24 (juin 02)

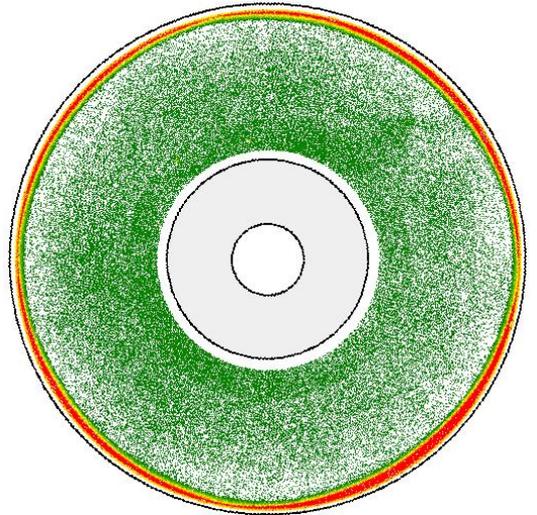
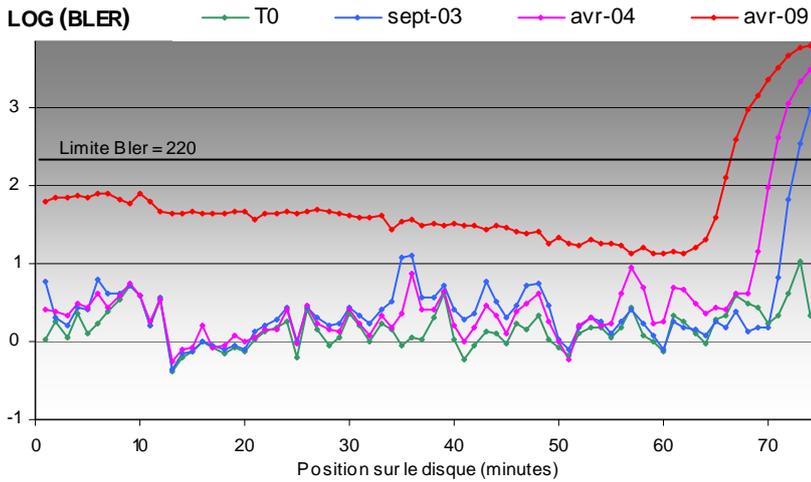
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



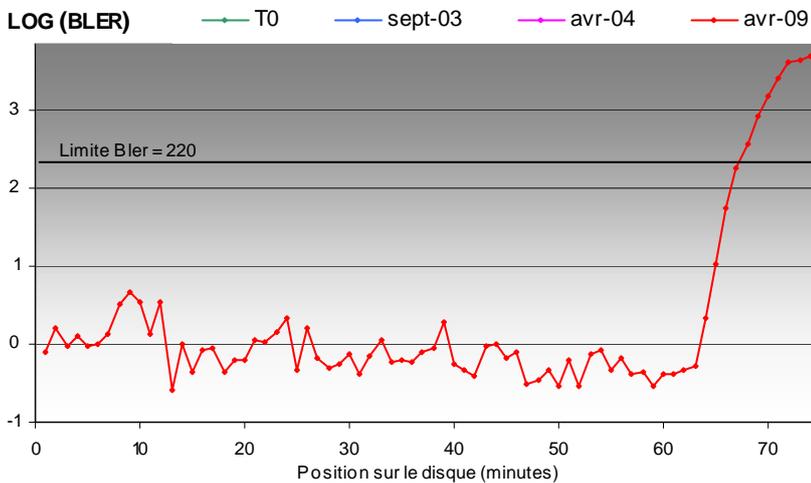
Représentations de surface (avril 2009)



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



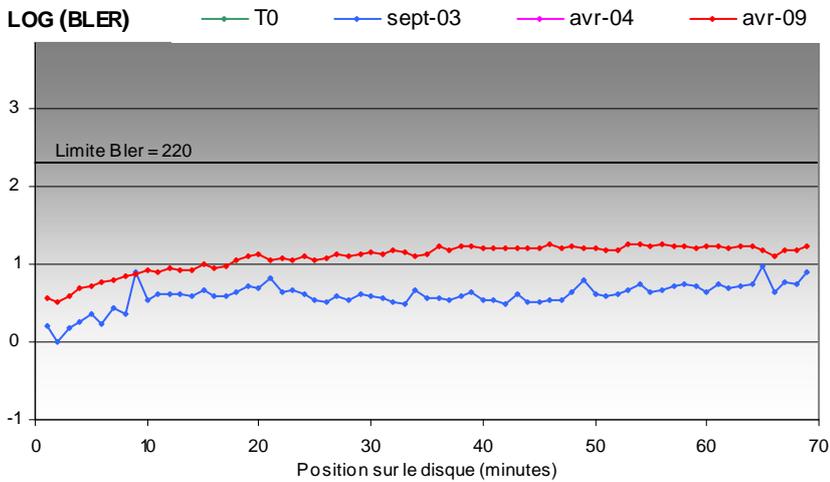
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



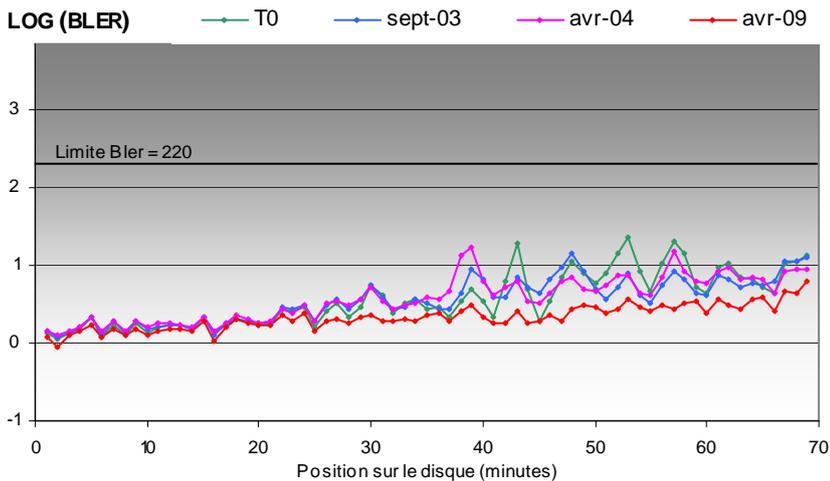
Disque N° 22 (15V) – Csita – Graveur V (déc 02)

Représentations de surface
(avril 2009)

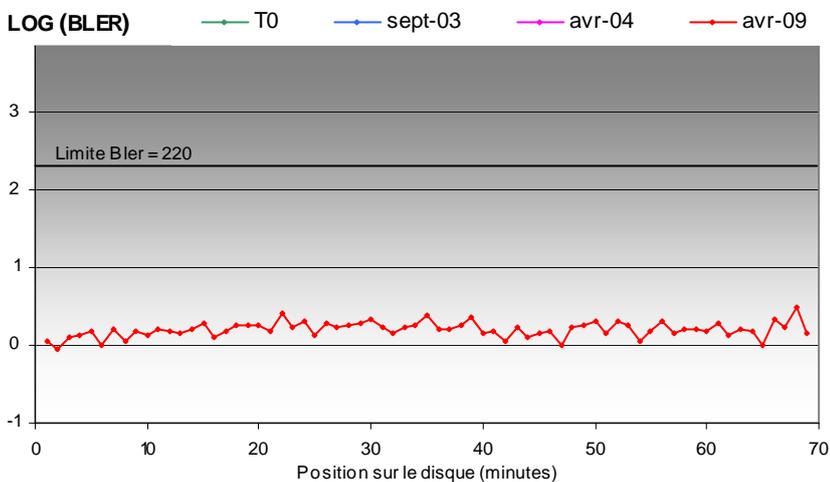
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x

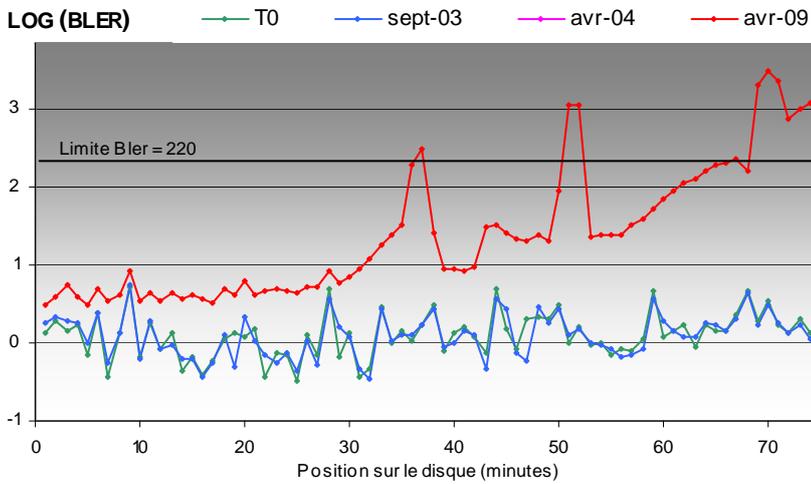


ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x

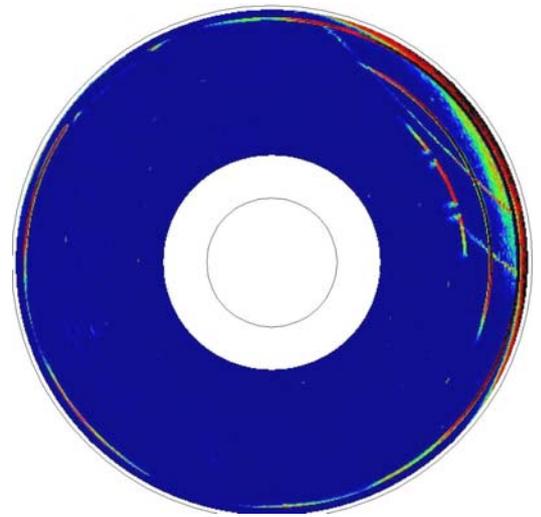


Disque N° 23 (16V) – Hi Space – Graveur V (déc 02)

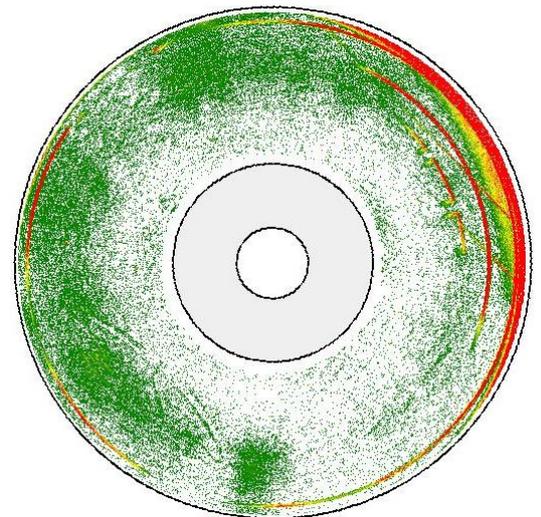
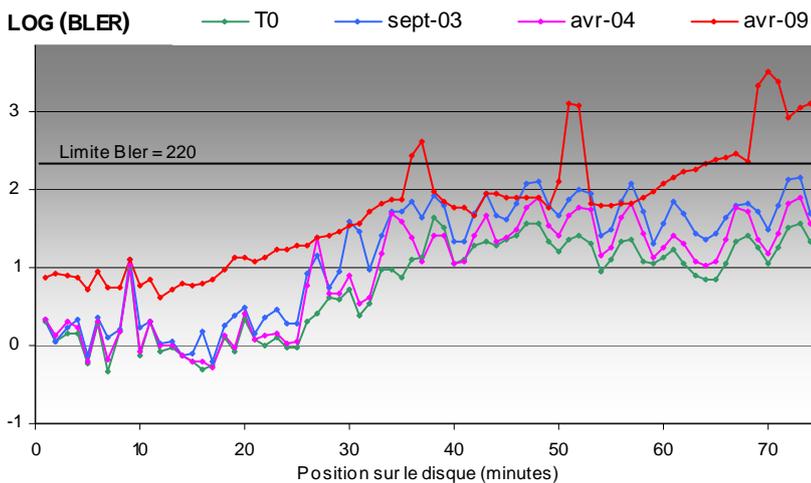
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



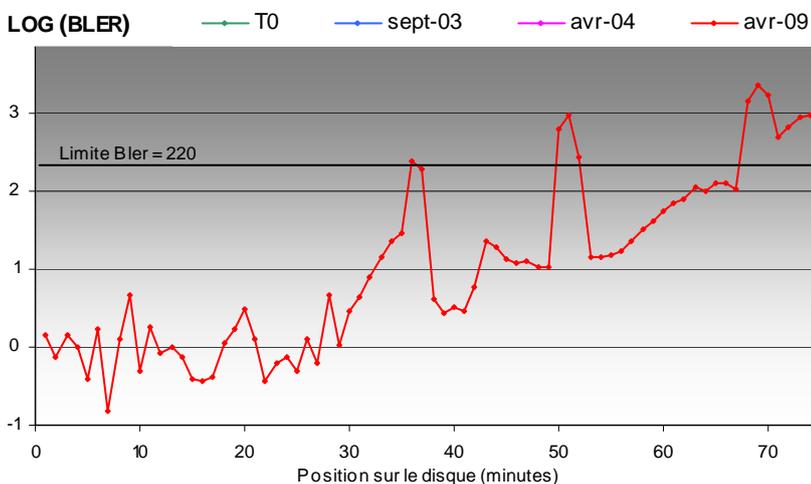
Représentations de surface (avril 2009)



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



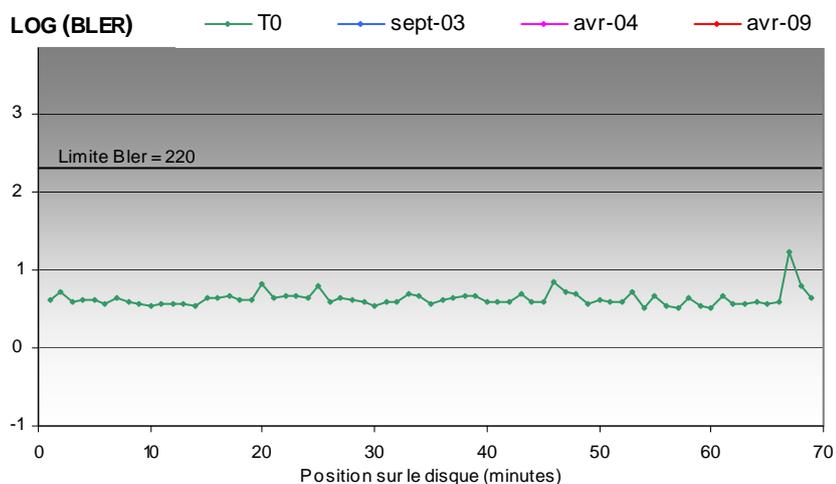
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



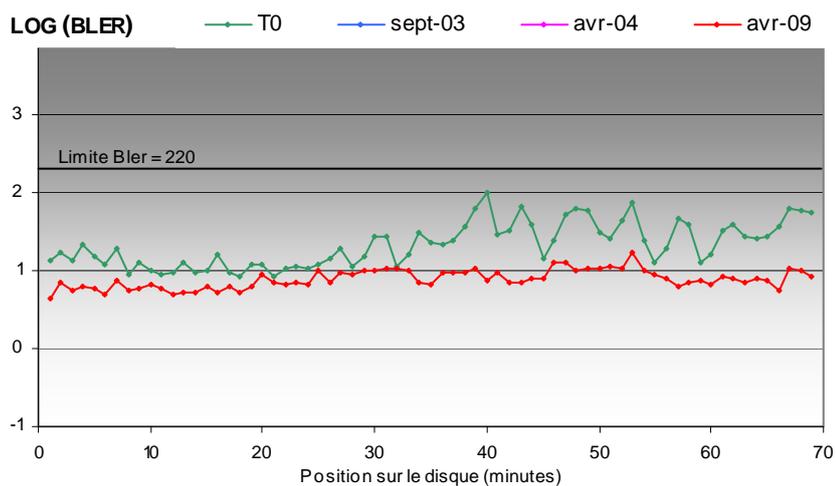
Disque N° 24 (17U) – Omiz – Graveur U (déc 02)

Représentations de surface
(avril 2009)

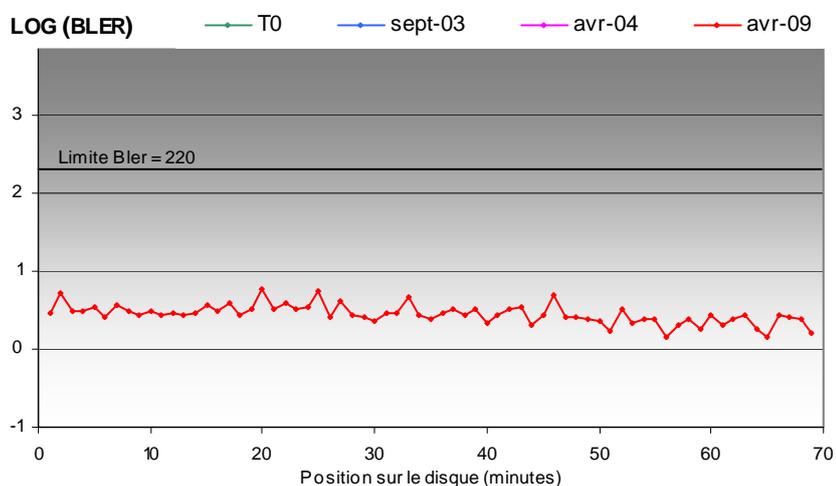
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



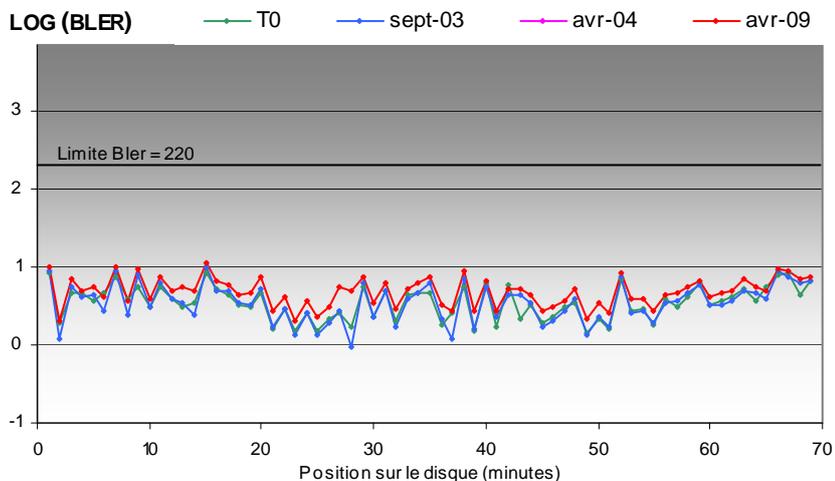
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



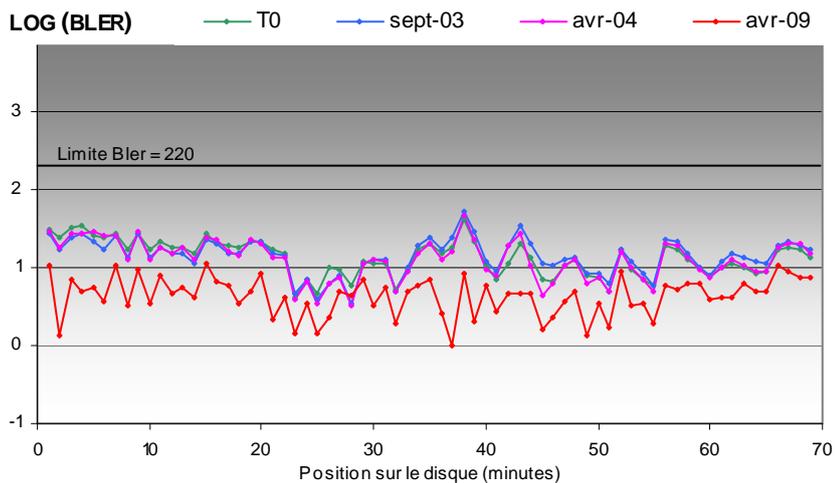
Disque N° 25 (18U) – Intenso – Graveur U (déc 02)

Représentations de surface
(avril 2009)

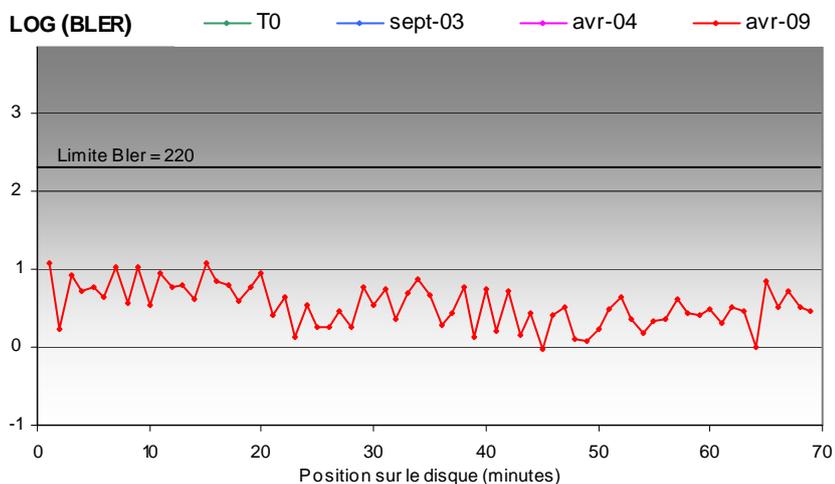
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



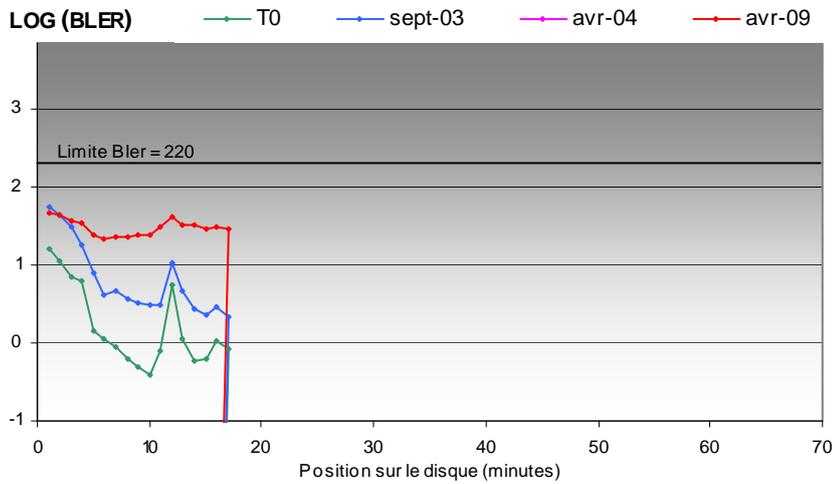
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



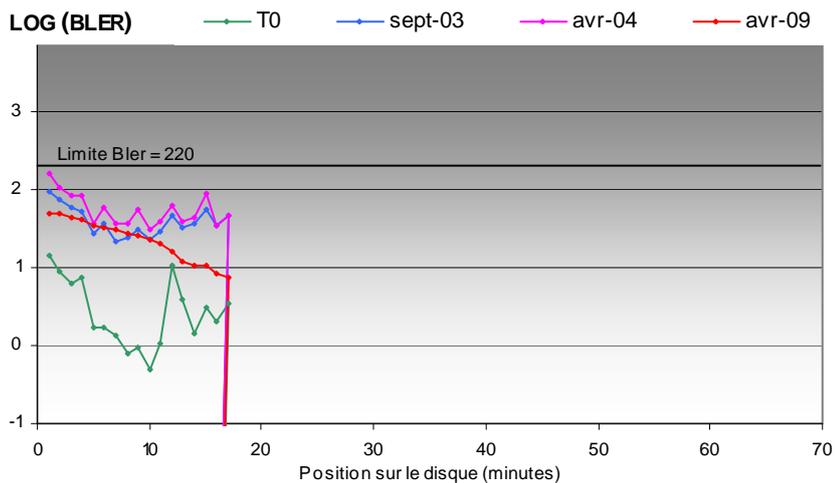
Disque N° 26 (19V) – Csita (9cm) – Graveur V (déc 02)

Représentations de surface
(avril 2009)

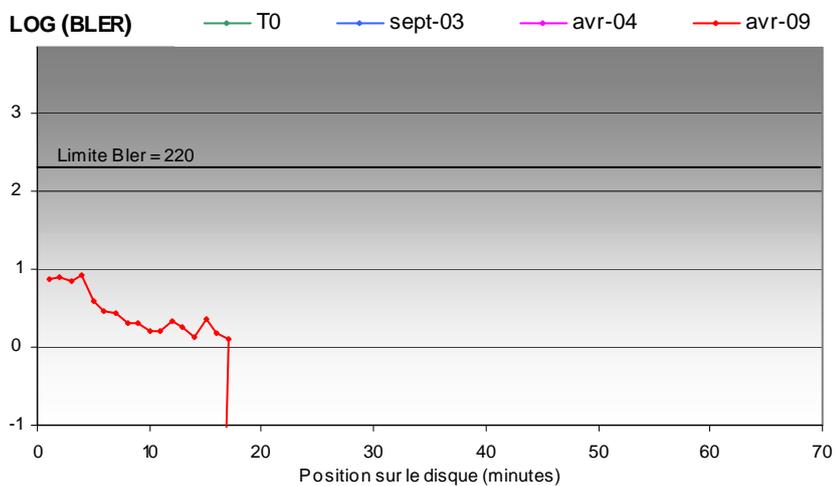
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x

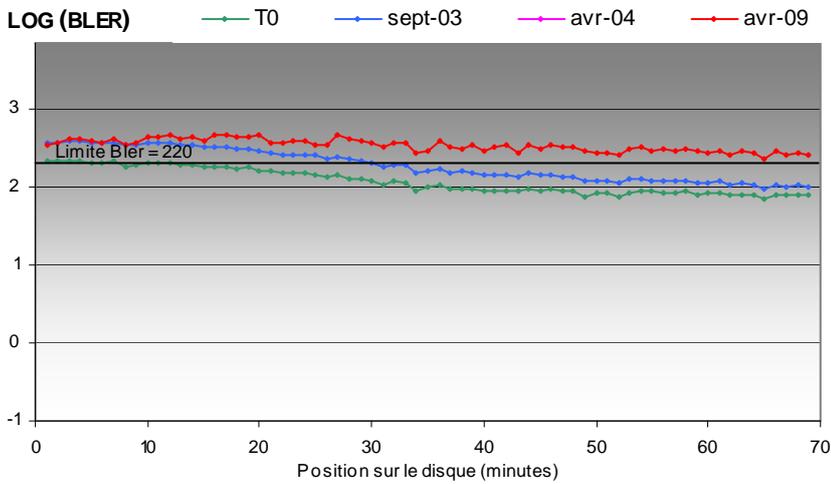


ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x

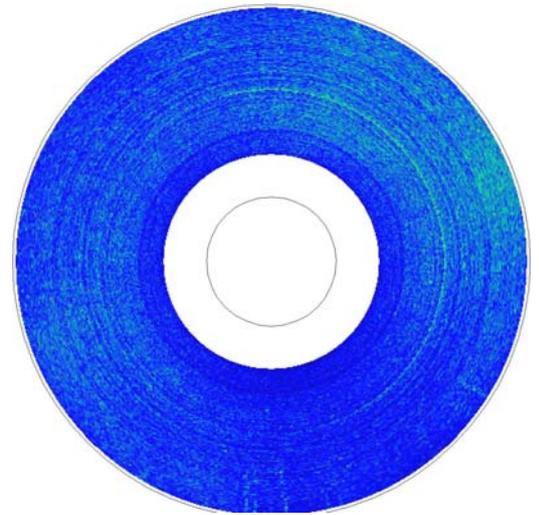


Disque N° 27 (20G) – Verbatim – Graveur G (janv 03)

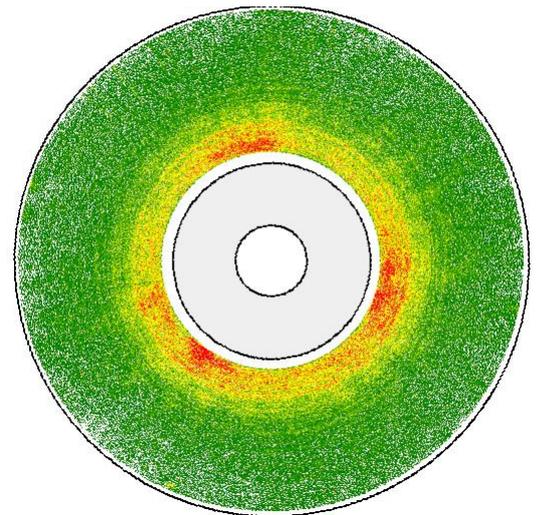
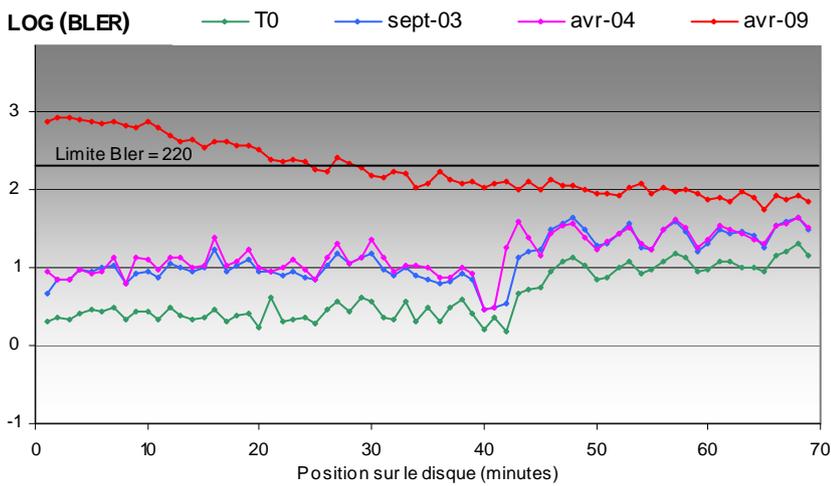
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



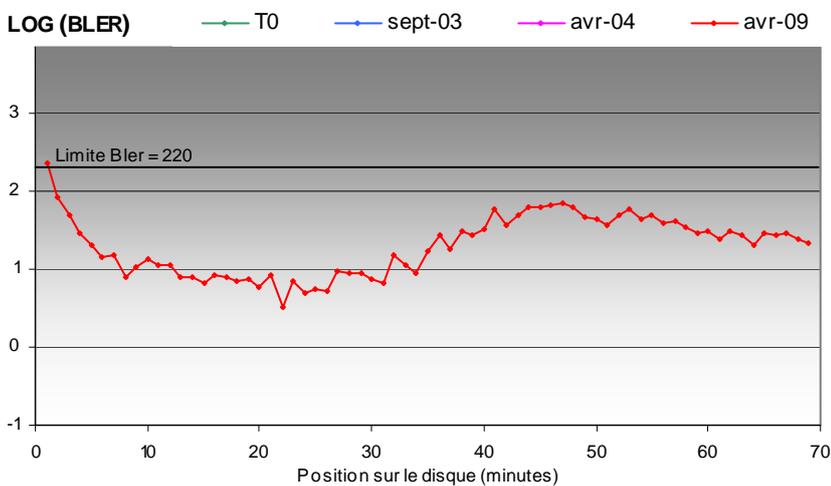
Représentations de surface (avril 2009)



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



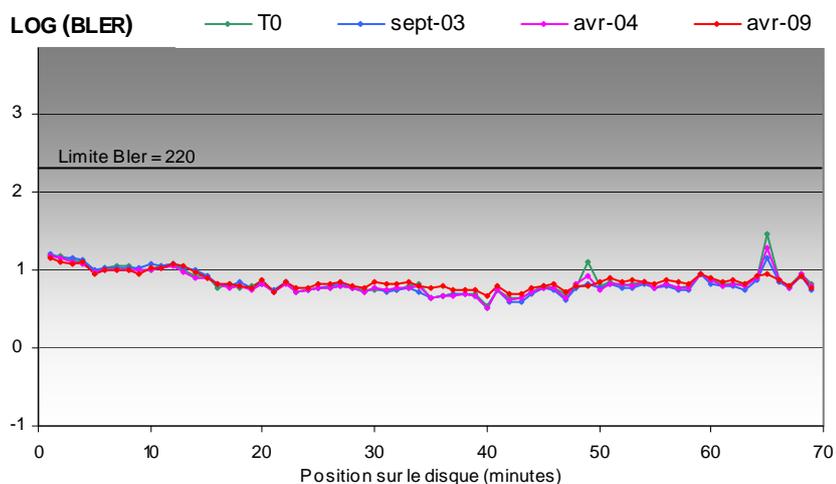
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



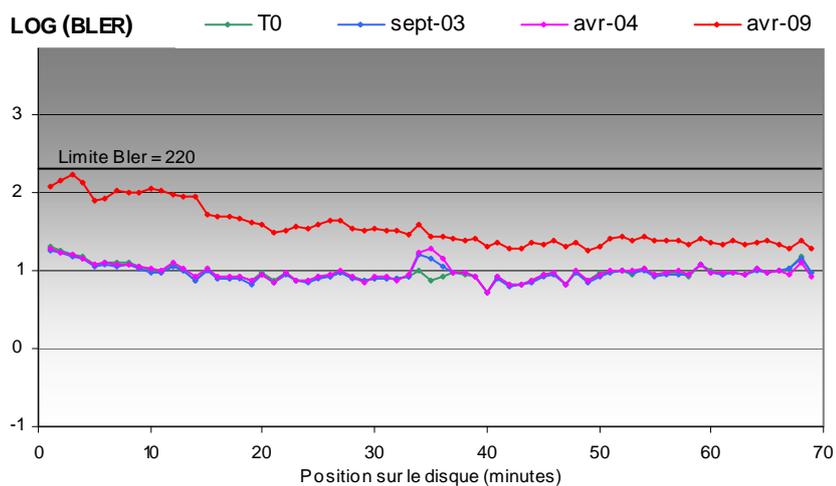
Disque N° 28 (21sy32) – Imation – Graveur sy32 (juil 02)

Représentations de surface
(avril 2009)

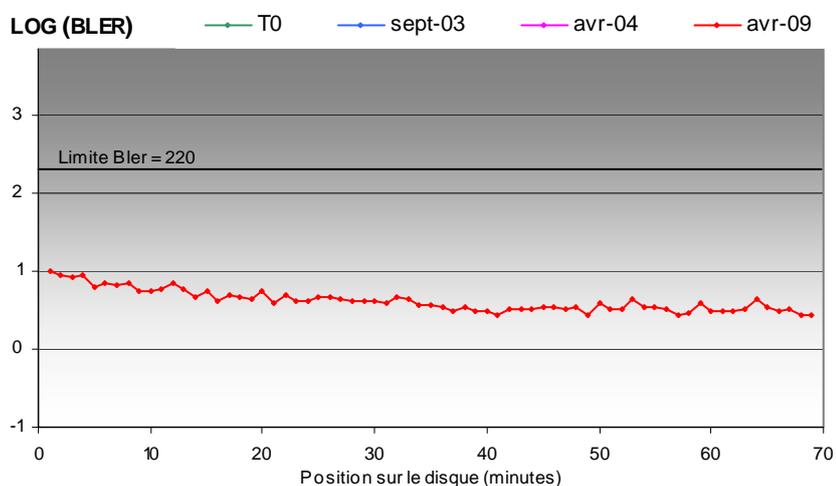
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



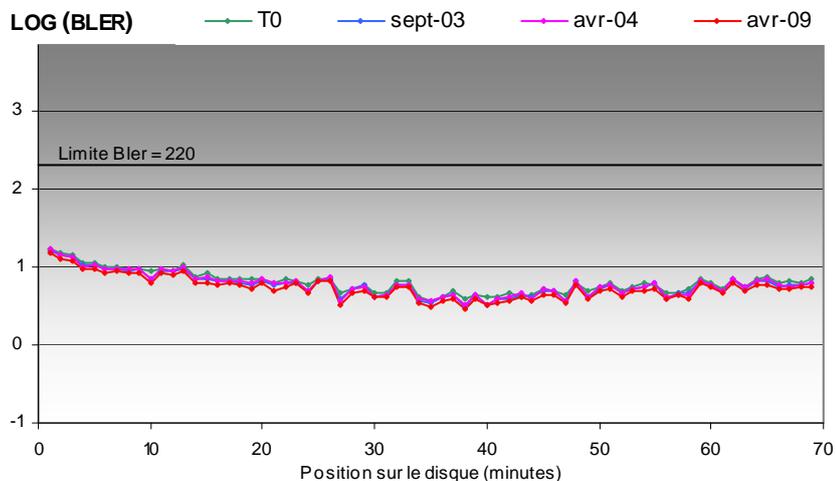
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



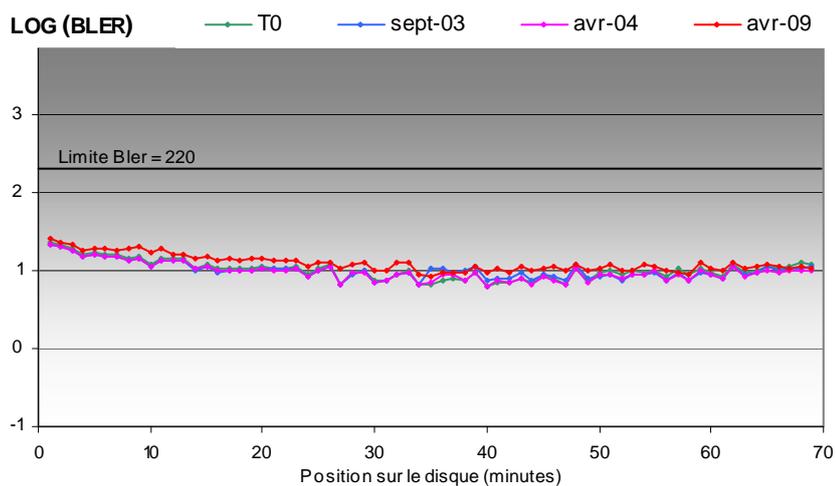
Disque N° 29 (21Q) – Imation – Graveur Q (juil 02)

Représentations de surface
(avril 2009)

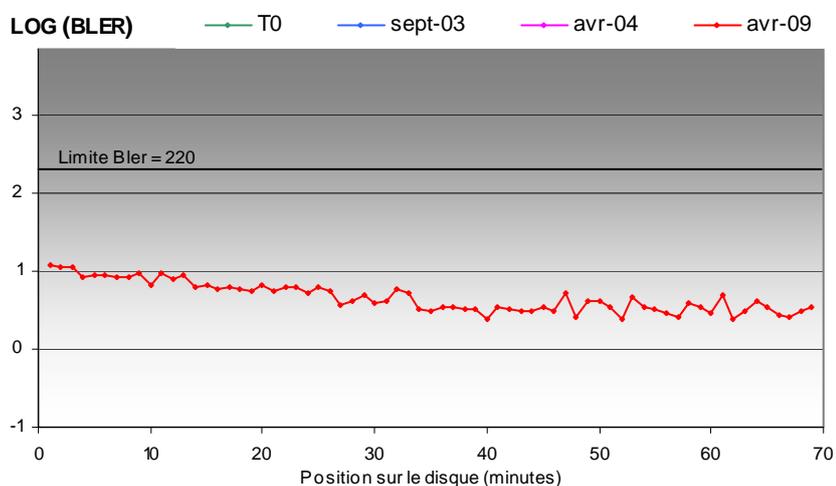
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



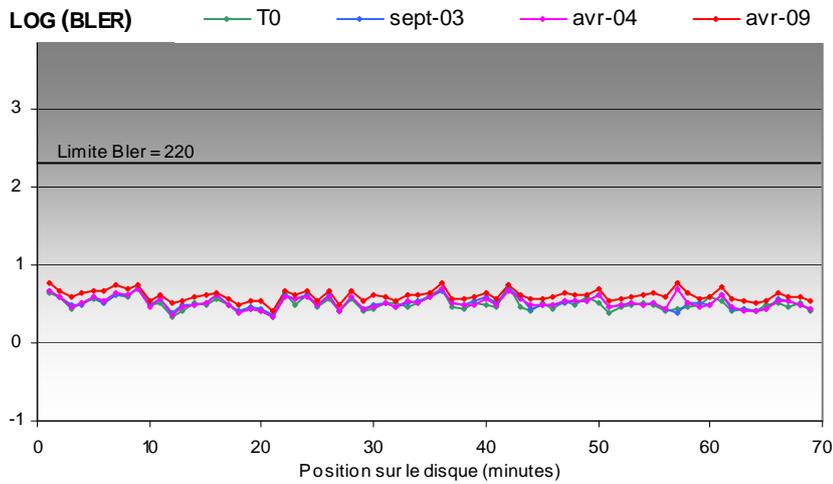
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



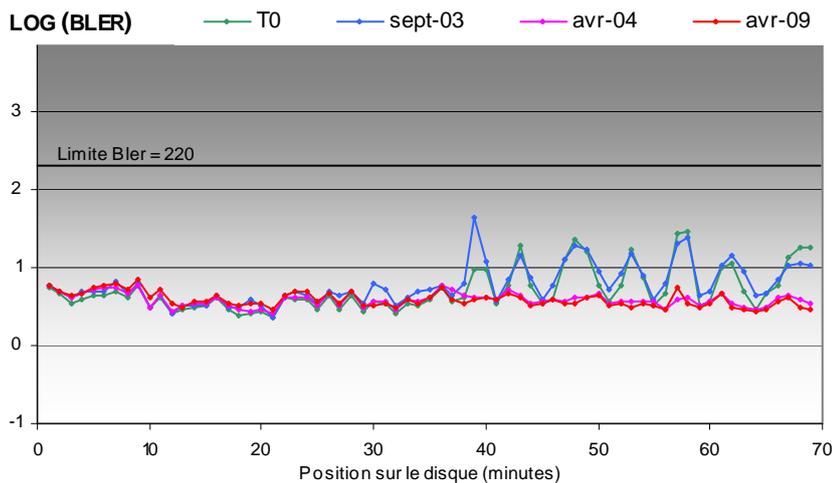
Disque N° 30 (22Q) – Mmore – Graveur Q (juil 02)

Représentations de surface
(avril 2009)

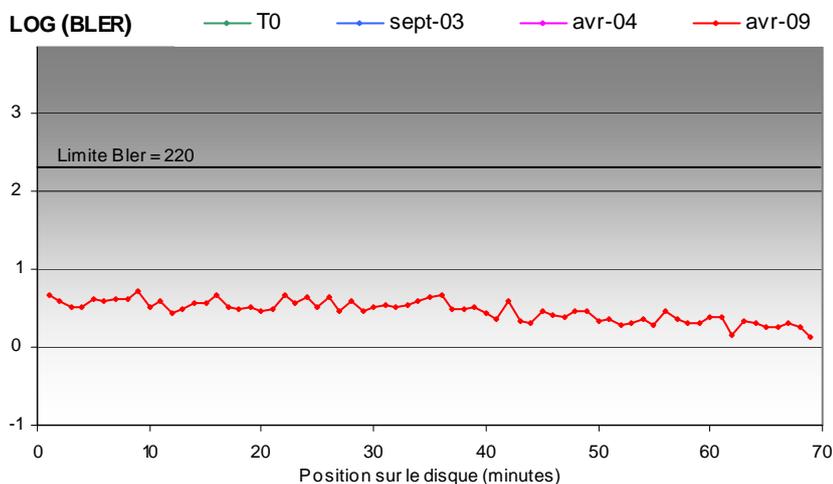
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



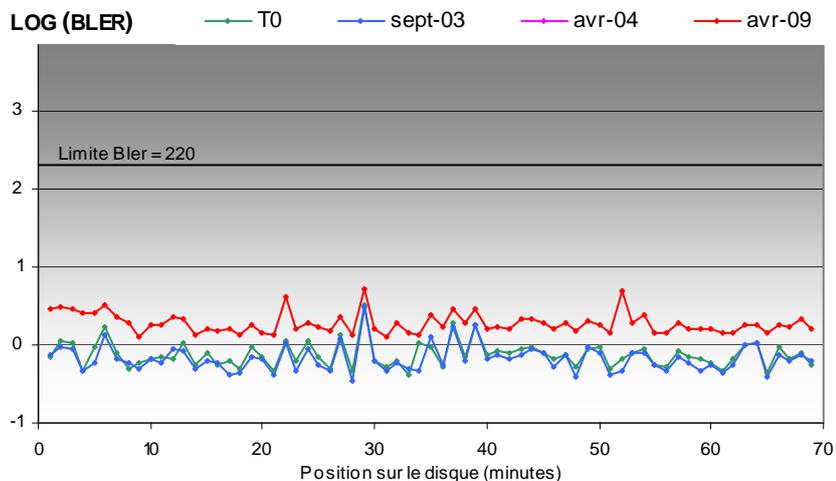
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



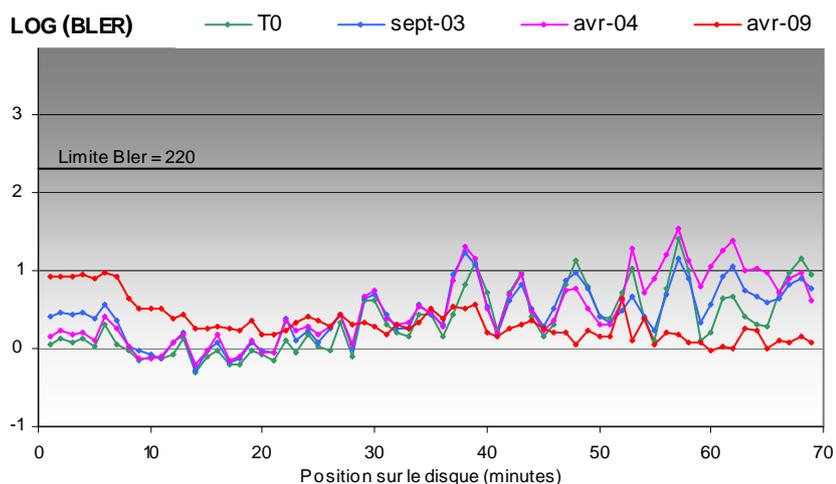
Disque N° 31 (23Q) – MPO – Graveur Q (juil 02)

Représentations de surface
(avril 2009)

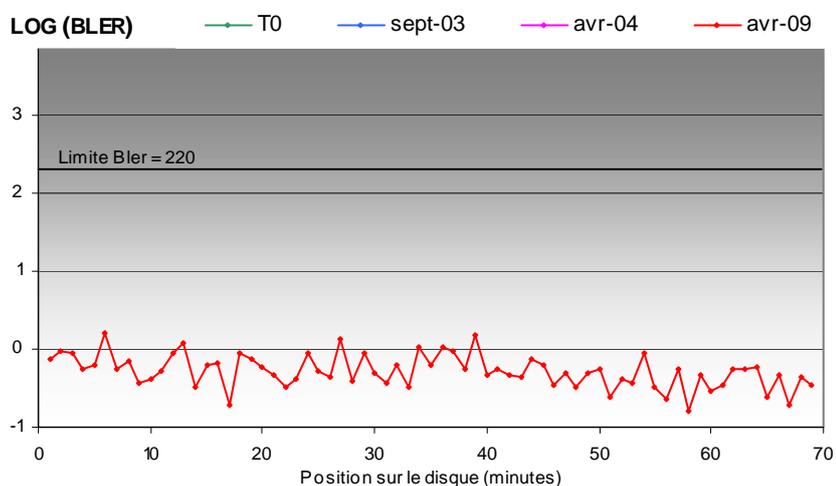
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



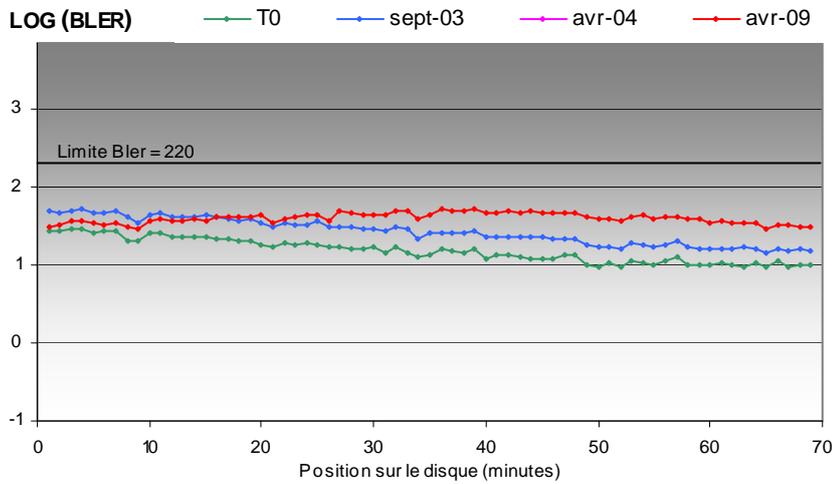
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



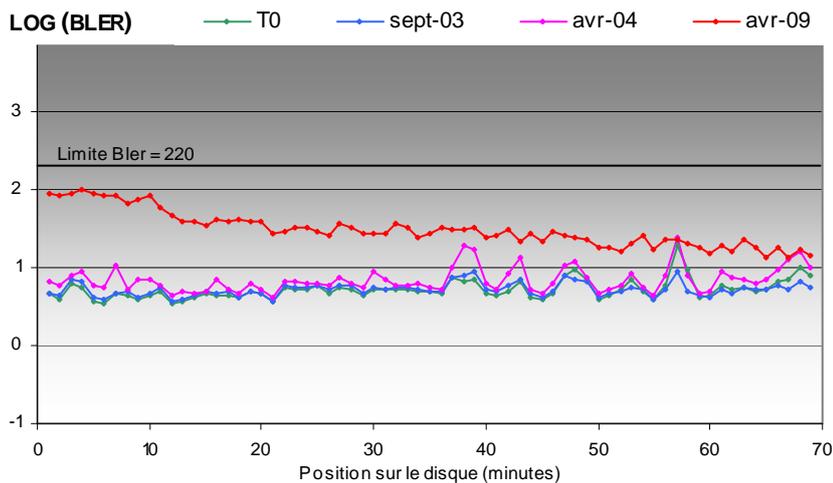
Disque N° 32 (23R) – MPO – Graveur R (juil 02)

Représentations de surface
(avril 2009)

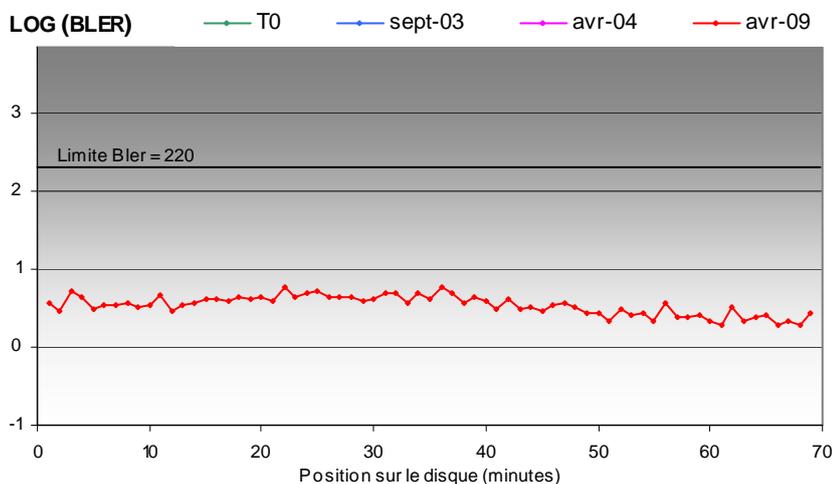
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x

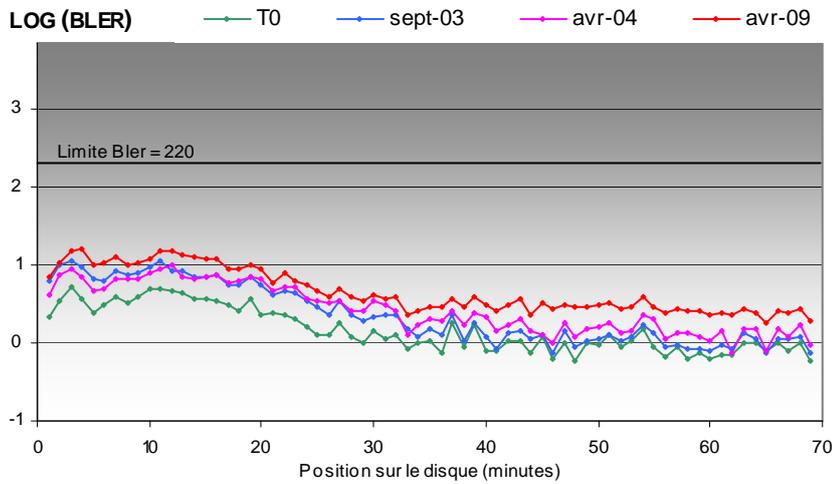


ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



Disque N° 33 (23S) – MPO – Graveur S (juil 02)

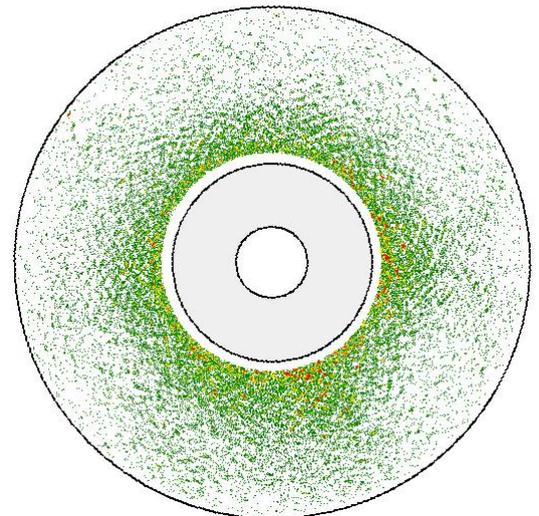
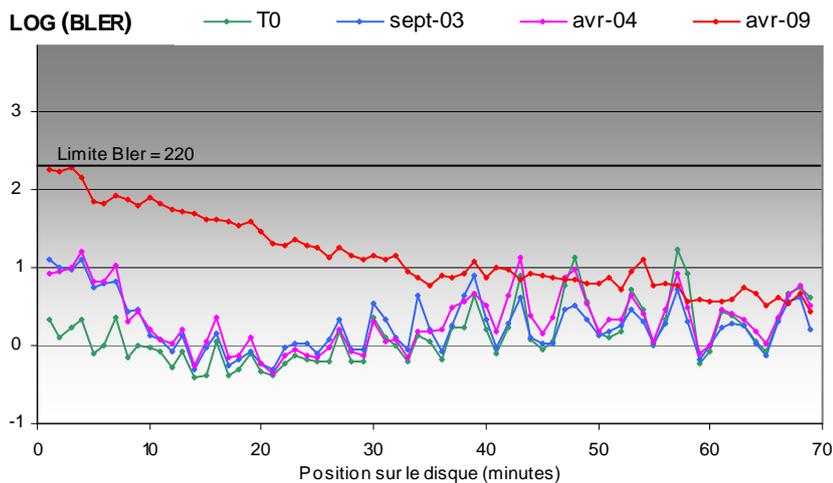
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



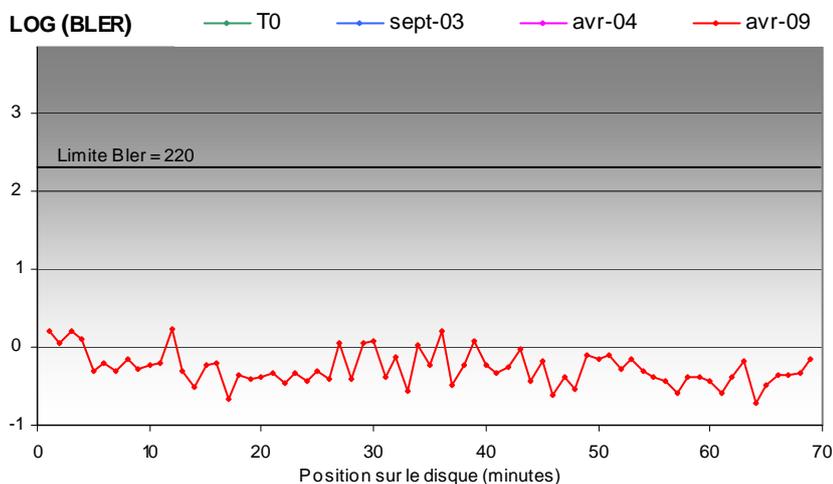
Représentations de surface (avril 2009)



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x

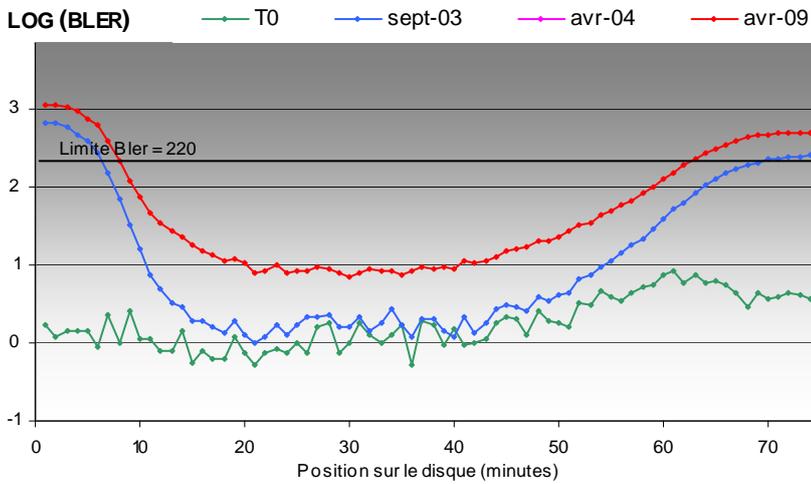


ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x

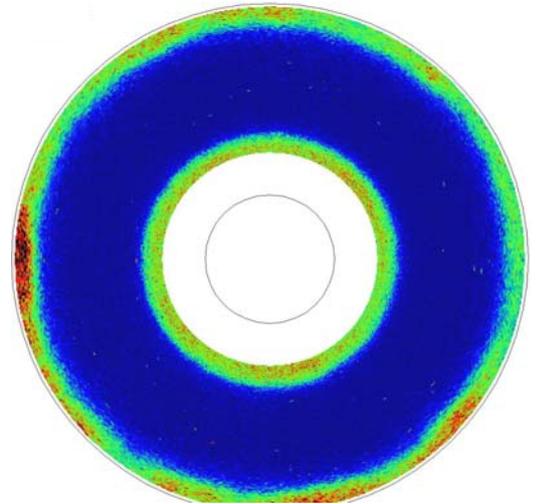


Disque N° 34 (24Q) – MPO Hollande – Graveur Q (juil 02)

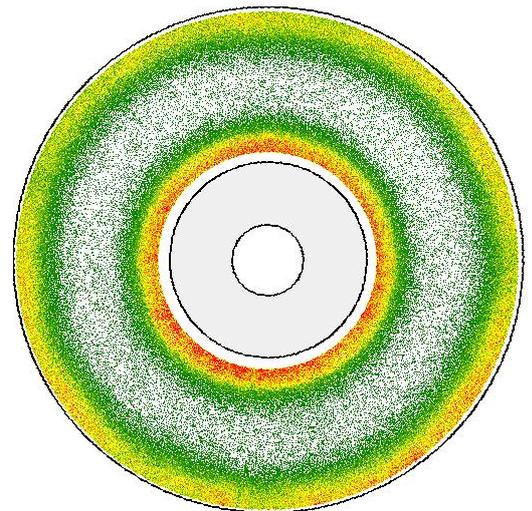
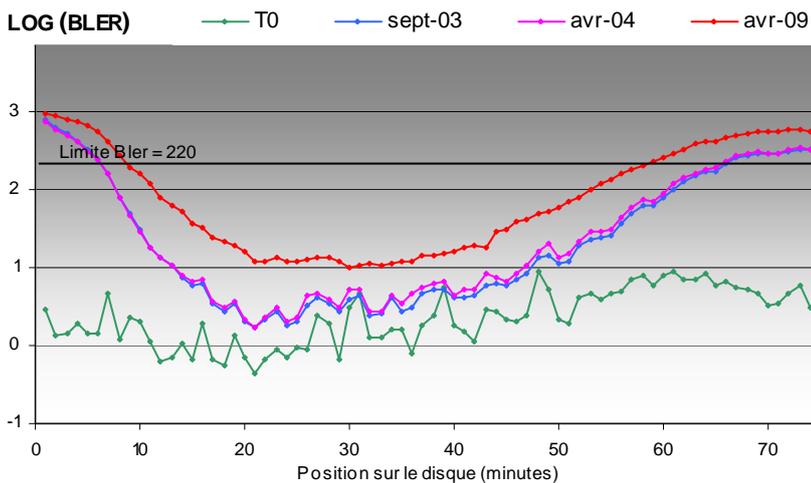
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



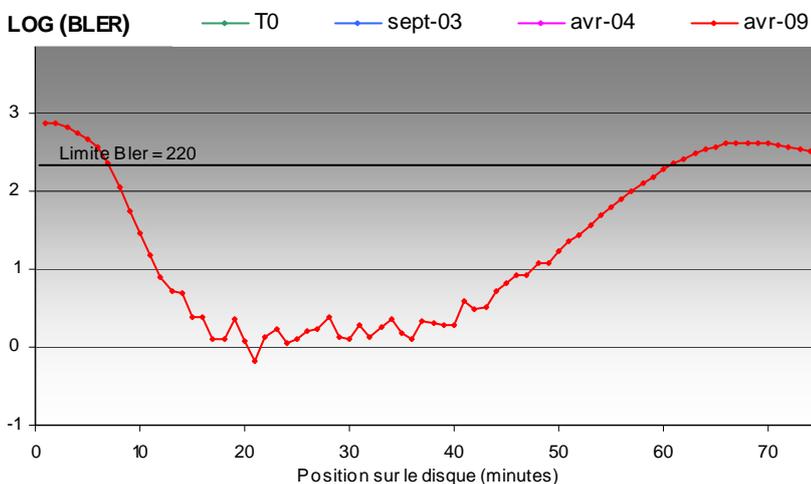
Représentations de surface (avril 2009)



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x

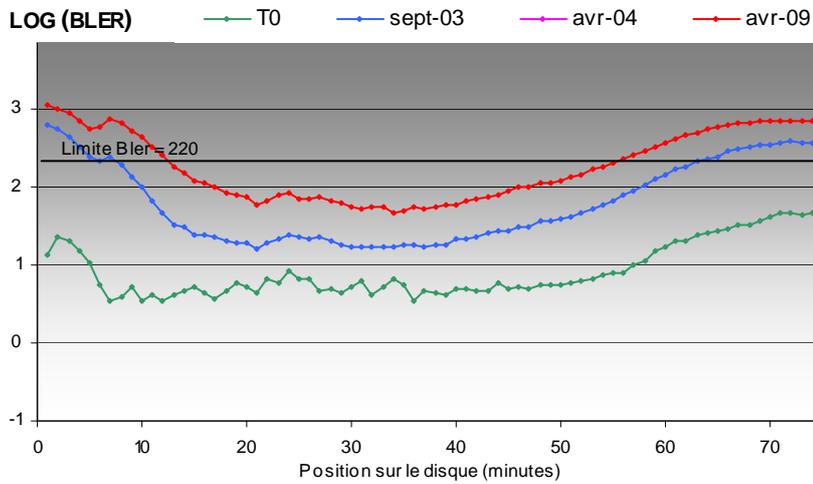


ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x

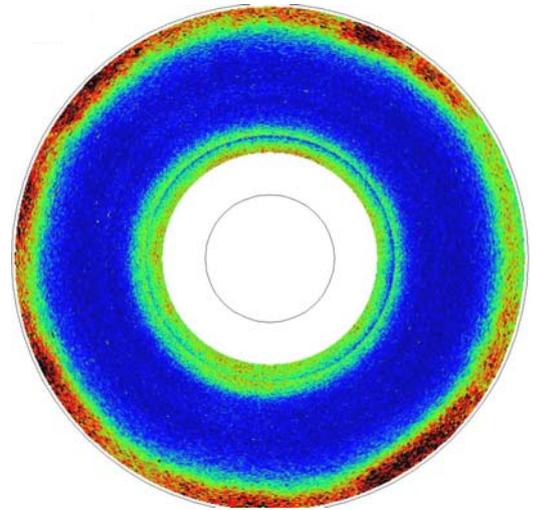


Disque N° 35 (24R) – MPO Hollande – Graveur R (juil 02)

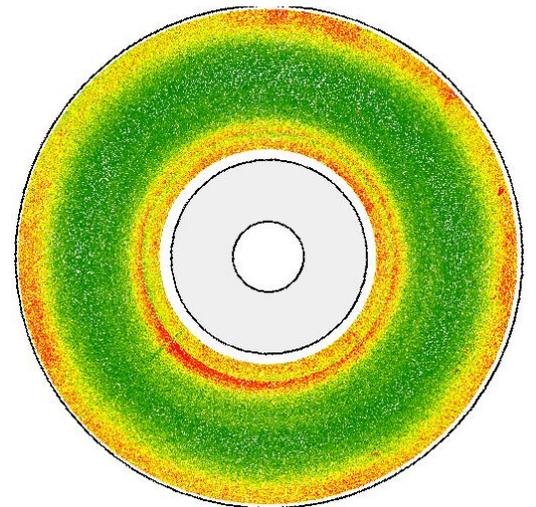
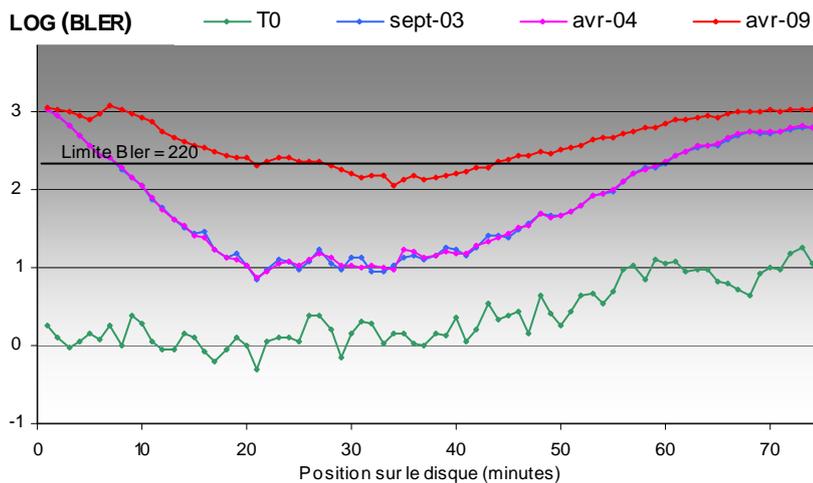
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



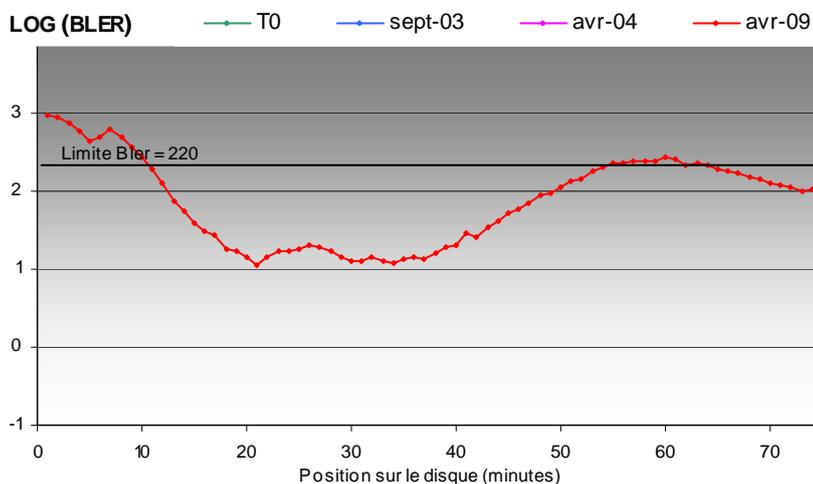
Représentations de surface (avril 2009)



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x

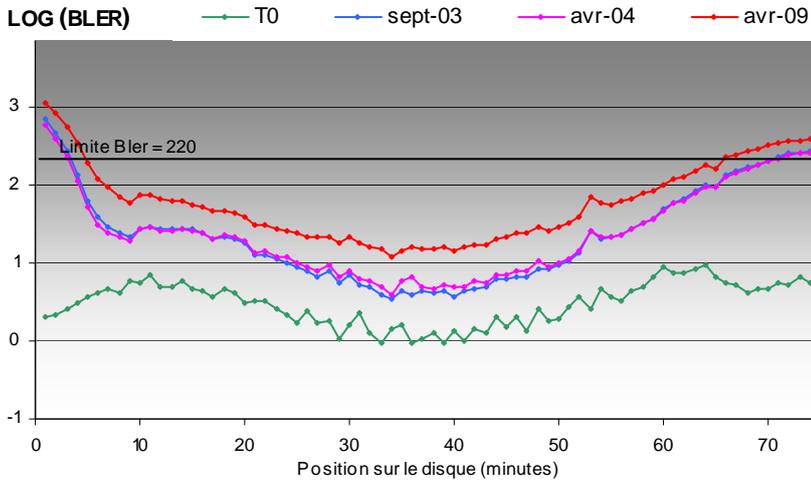


ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x

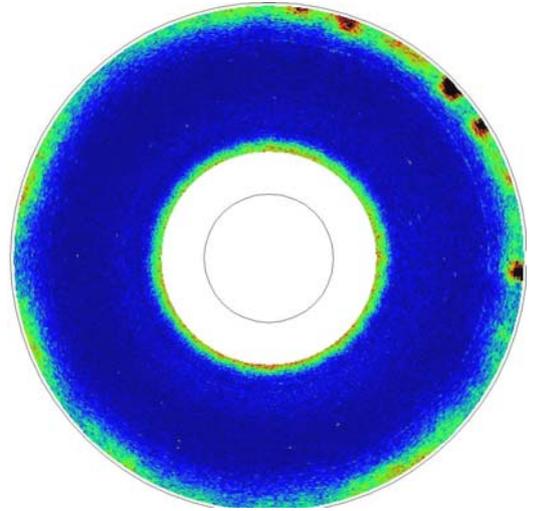


Disque N° 36 (24S) – MPO Hollande – Graveur S (juil 02)

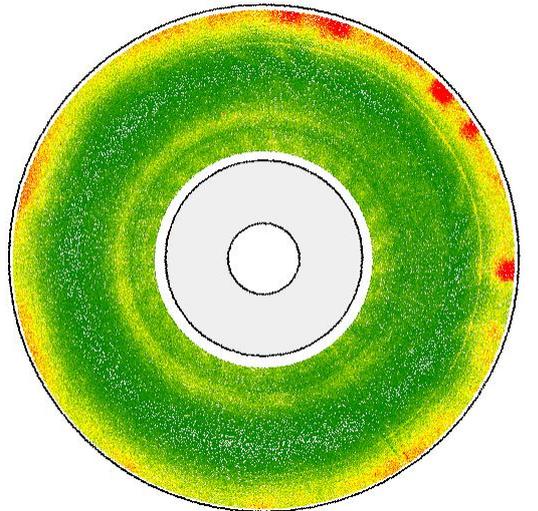
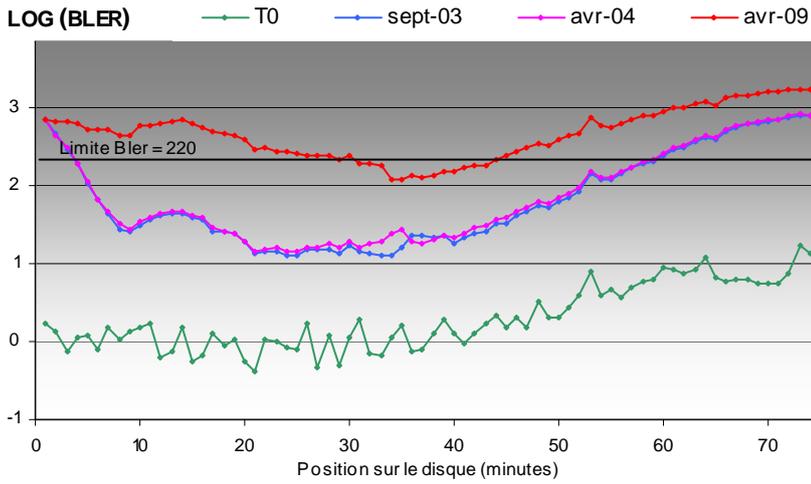
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



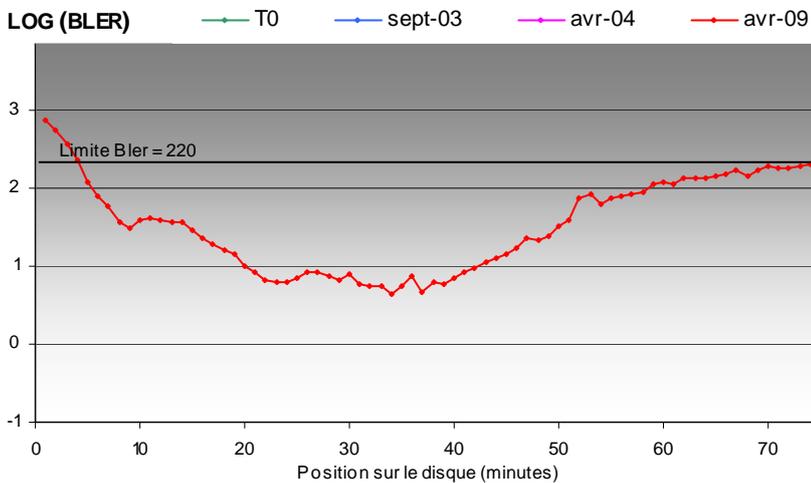
Représentations de surface (avril 2009)



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x

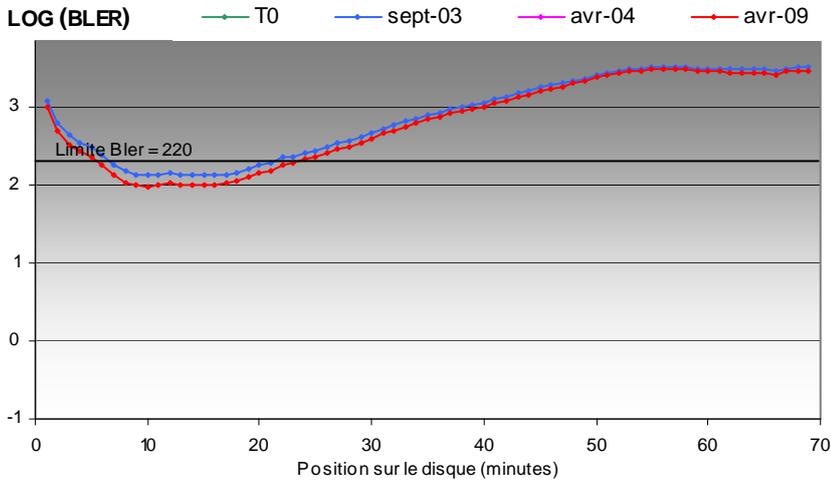


ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x

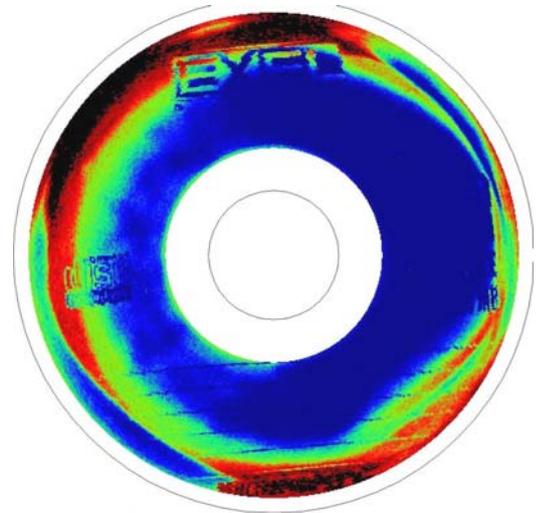


Disque N° 37 (25D) – Exel – Graveur D (juil 00)

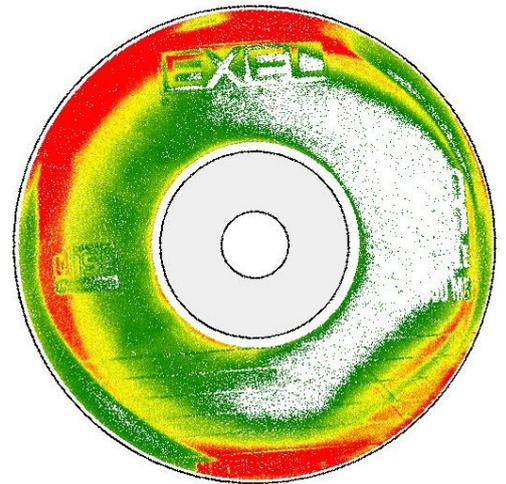
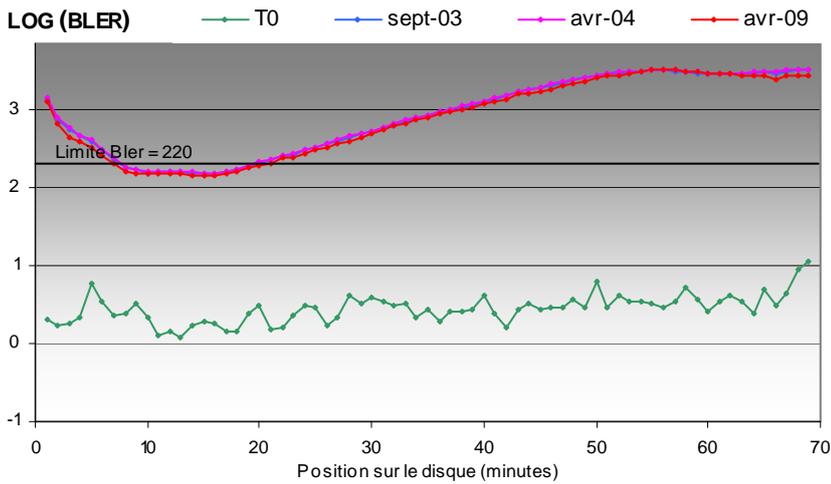
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



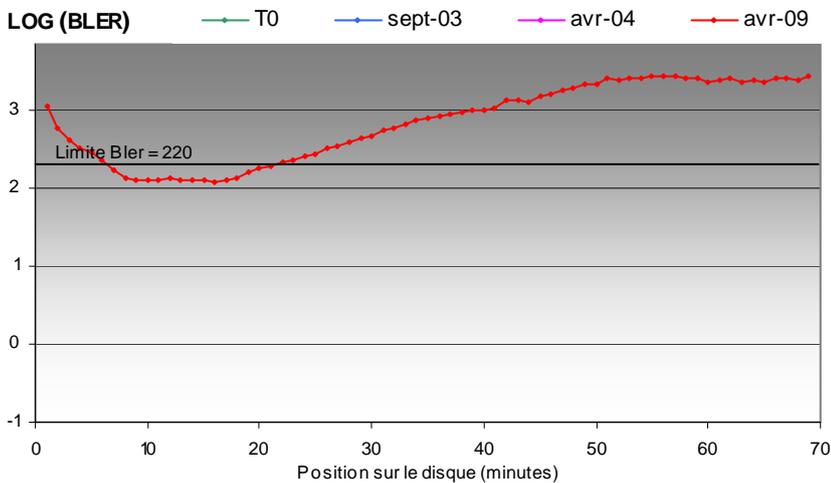
Représentations de surface (avril 2009)



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x

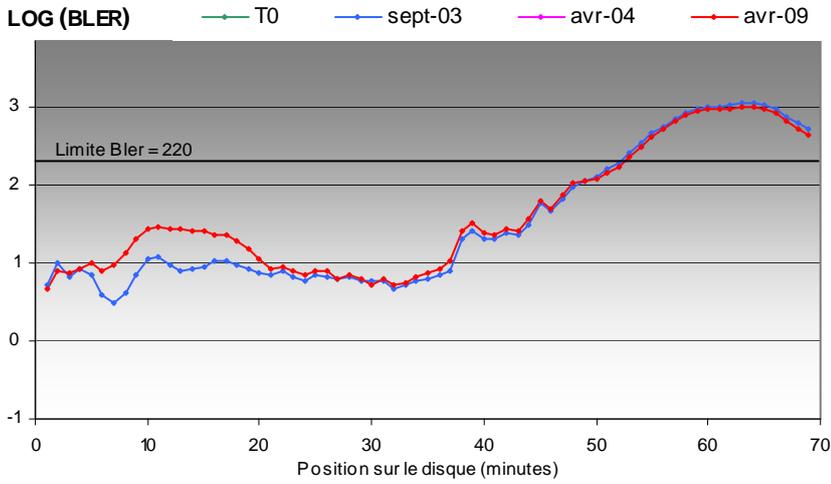


ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x

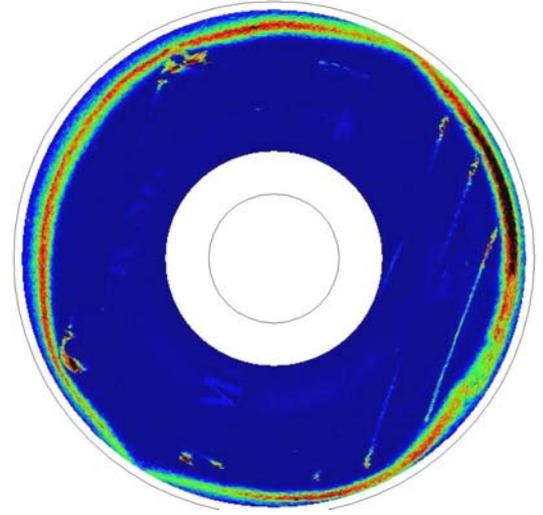


Disque N° 38 (26D) – Silver Pro – Graveur D (juil 00)

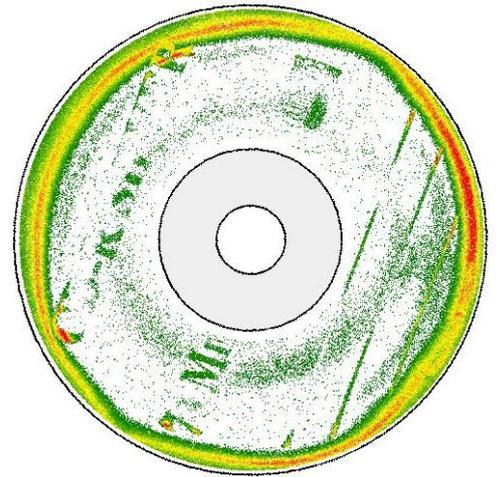
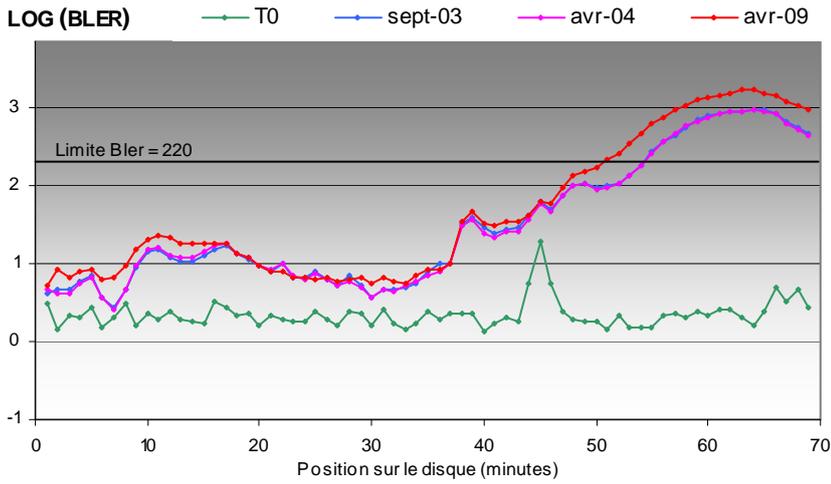
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



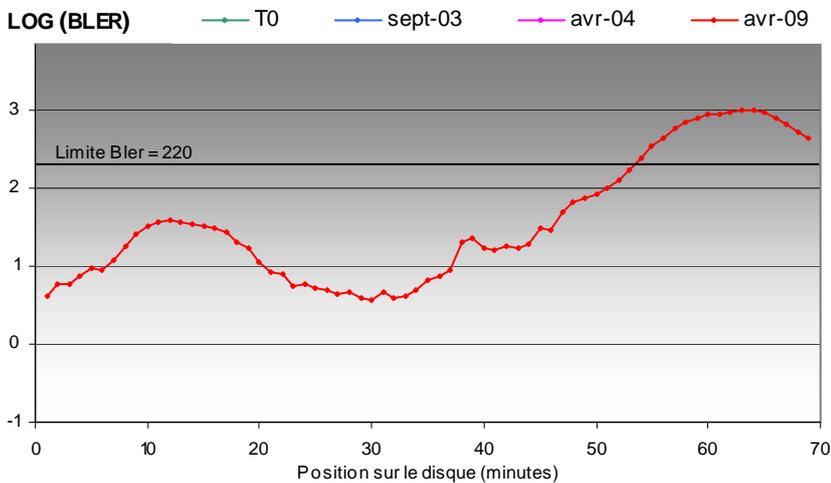
Représentations de surface (avril 2009)



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x

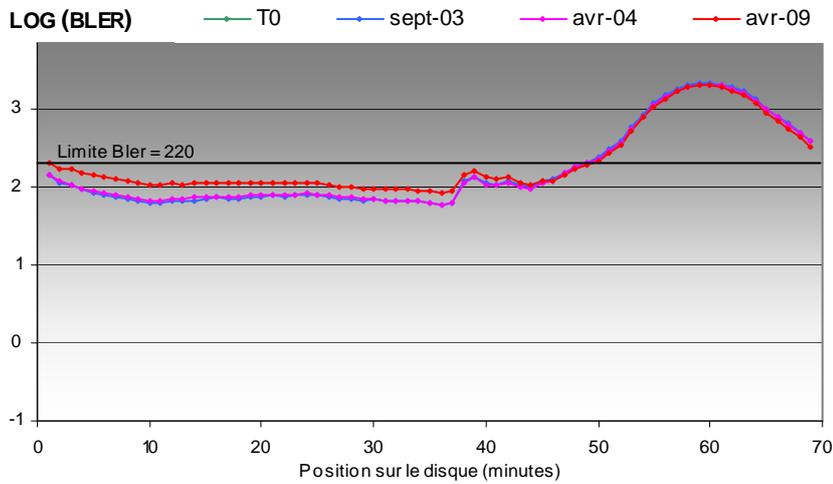


ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x

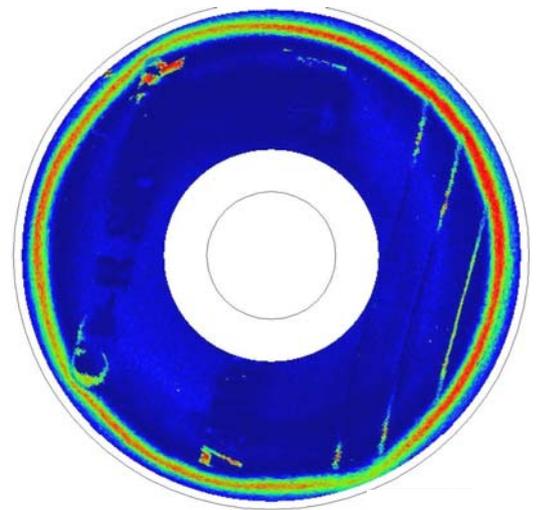


Disque N° 39 (26hp8) – Silver Pro – Graveur Hp8 (juil 00)

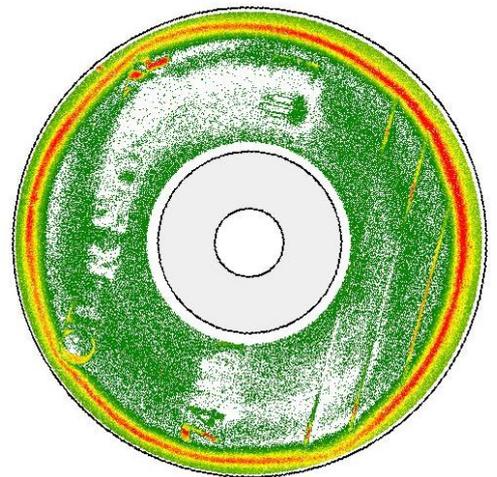
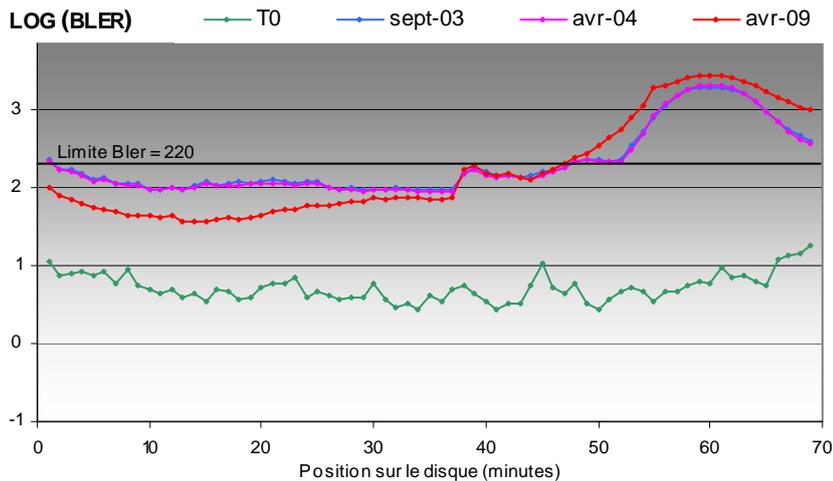
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



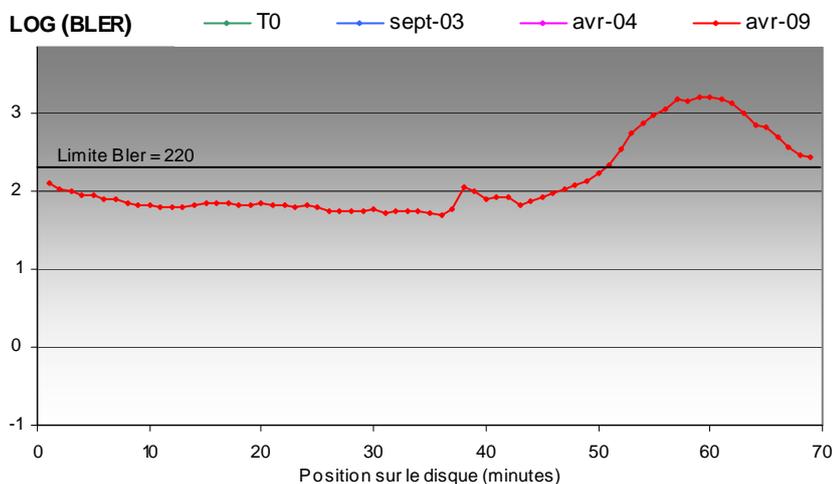
Représentations de surface (avril 2009)



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



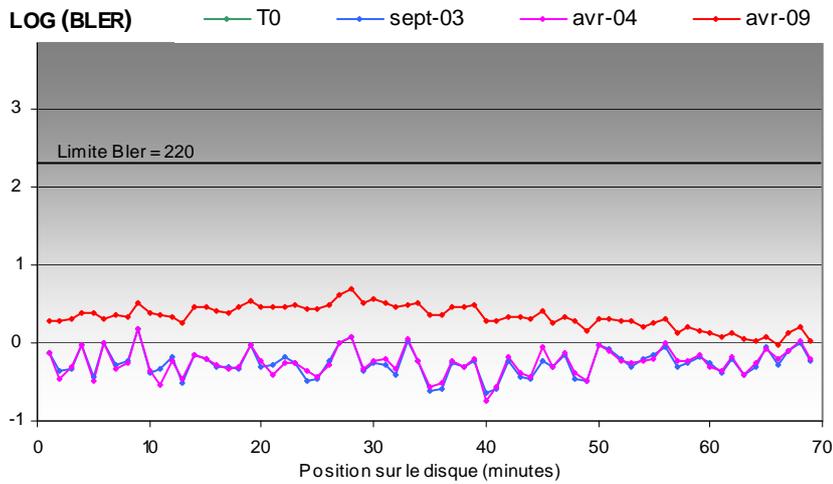
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



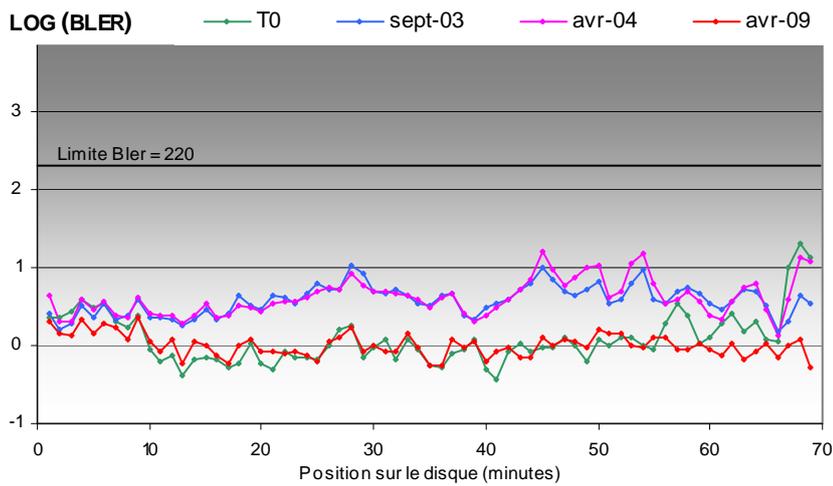
Disque N° 40 (27hp8) – Mitsui – Graveur Hp8 (juil 00)

Représentations de surface
(avril 2009)

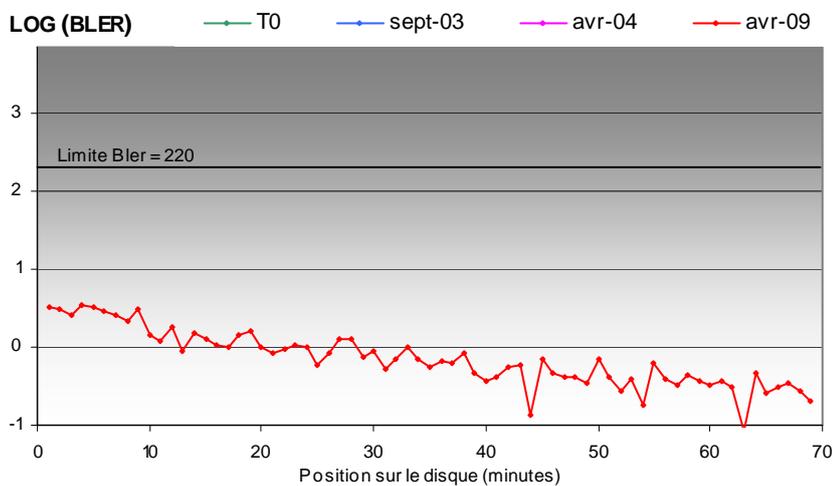
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x

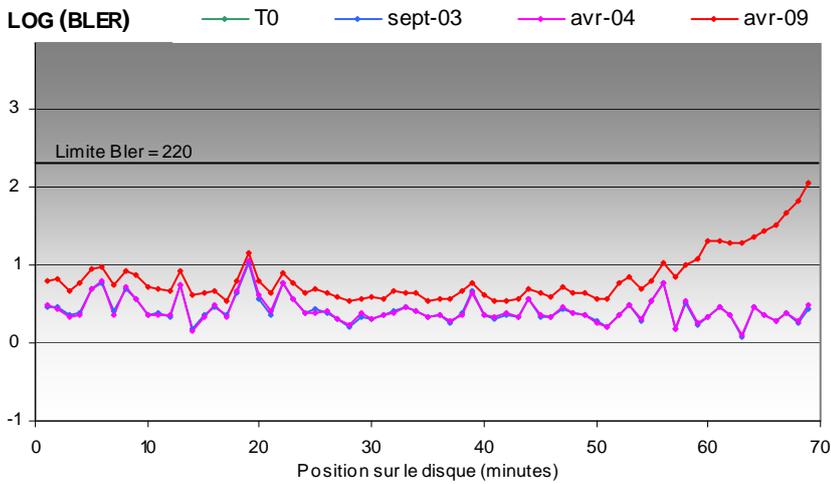


ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



Disque N° 41 (28hp8) – Sun – Graveur Hp8 (juil 00)

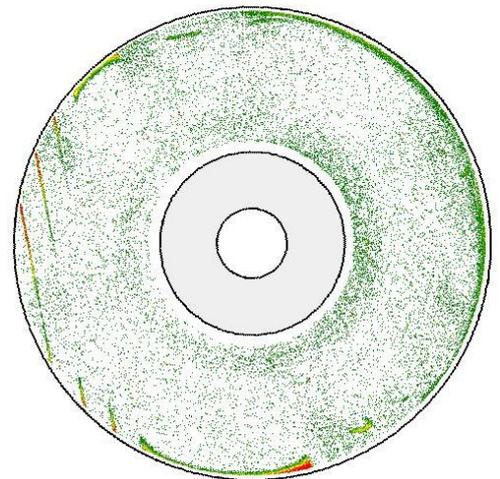
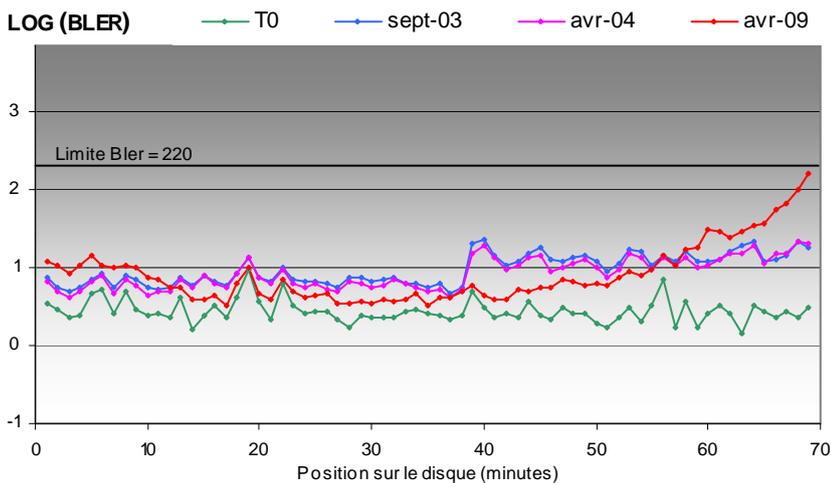
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



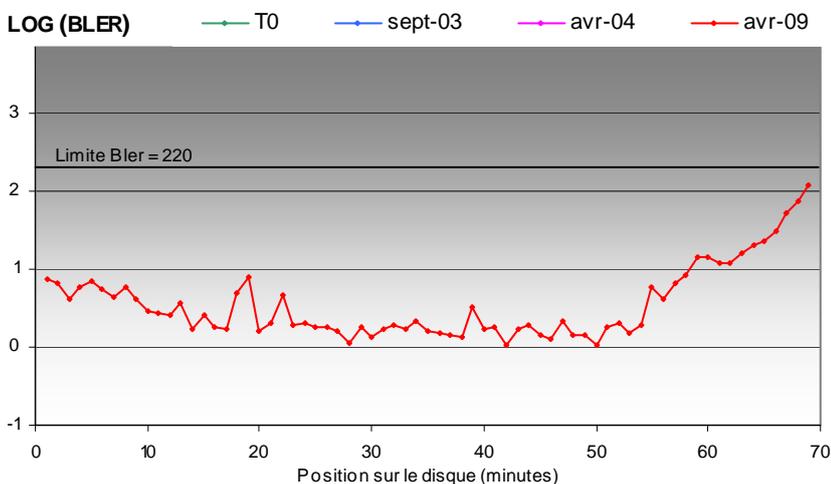
Représentations de surface (avril 2009)



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x

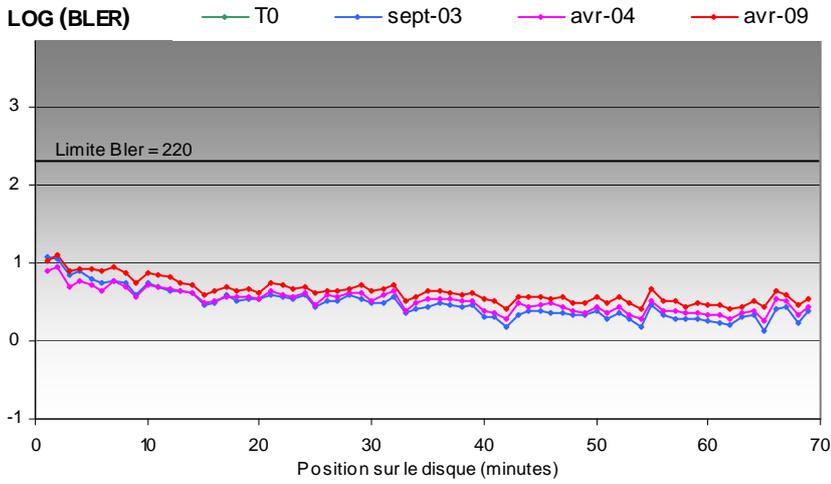


ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



Disque N° 42 (29hp8) – Acer – Graveur Hp8 (oct 00)

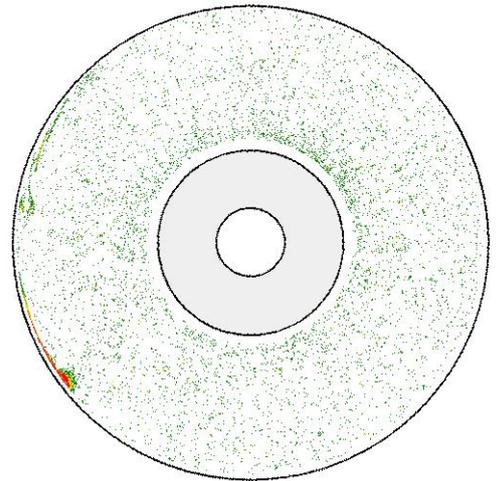
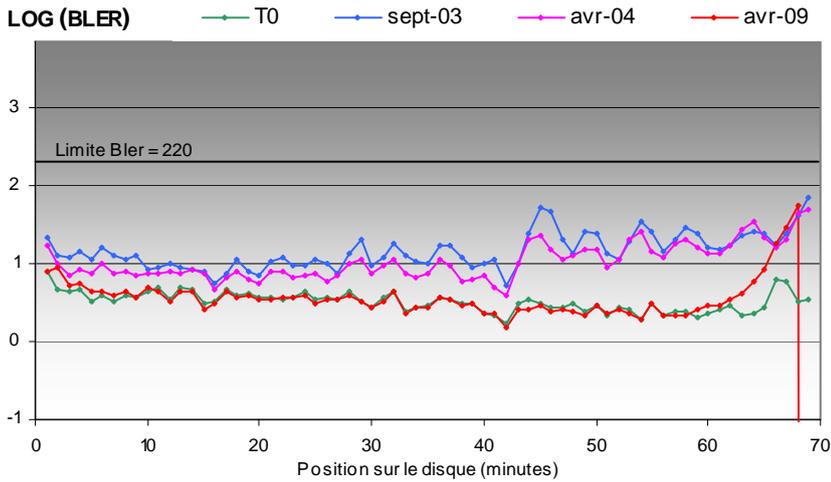
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



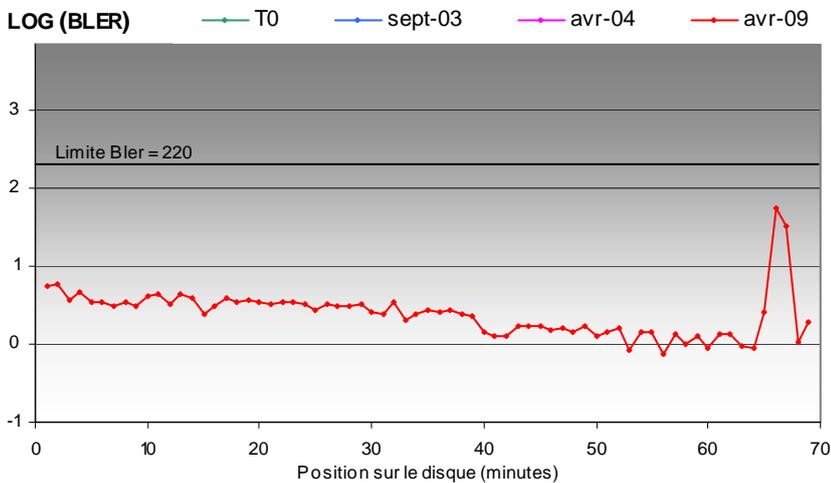
Représentations de surface (avril 2009)



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



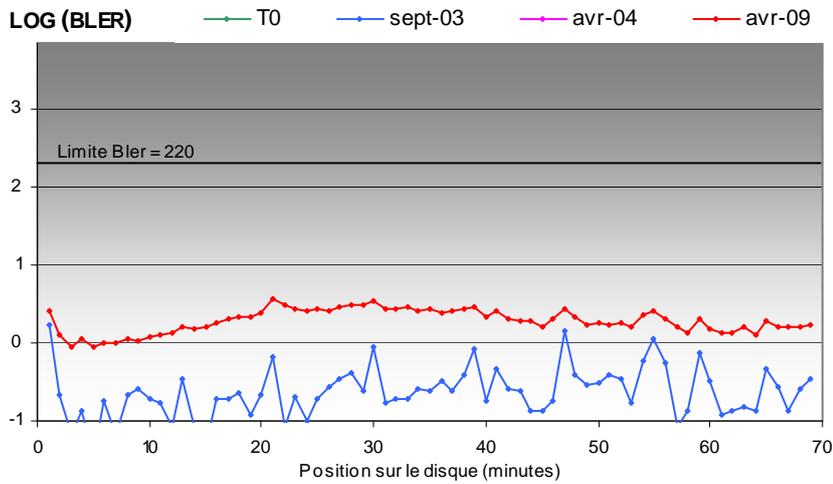
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



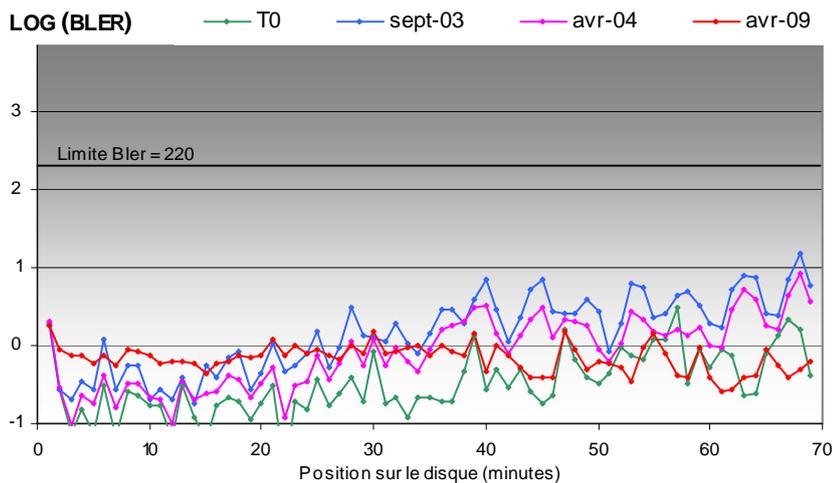
Disque N° 43 (30gPC) – TDK – Graveur GravPC (oct 00)

Représentations de surface
(avril 2009)

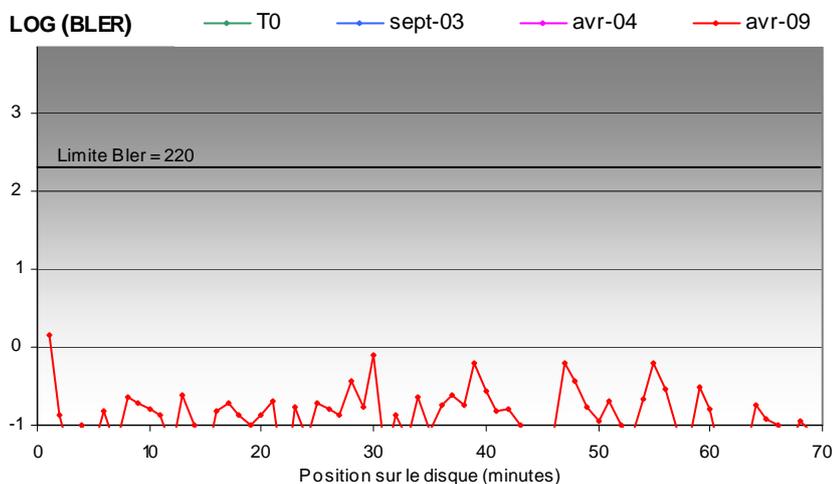
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



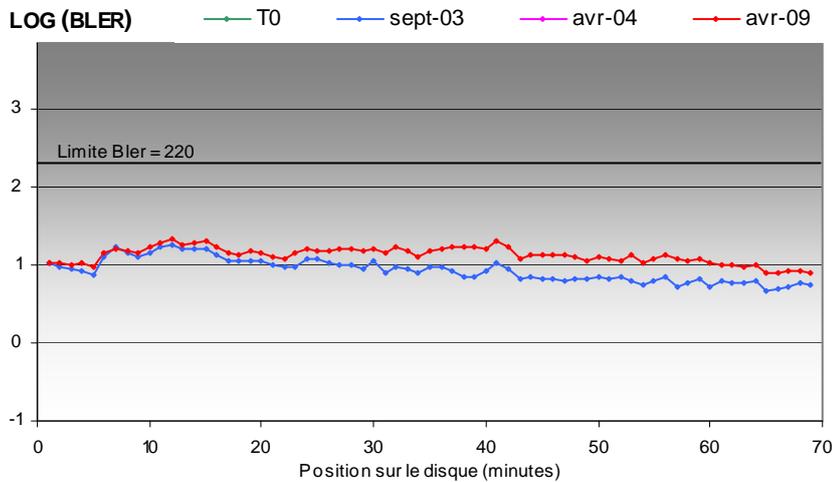
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



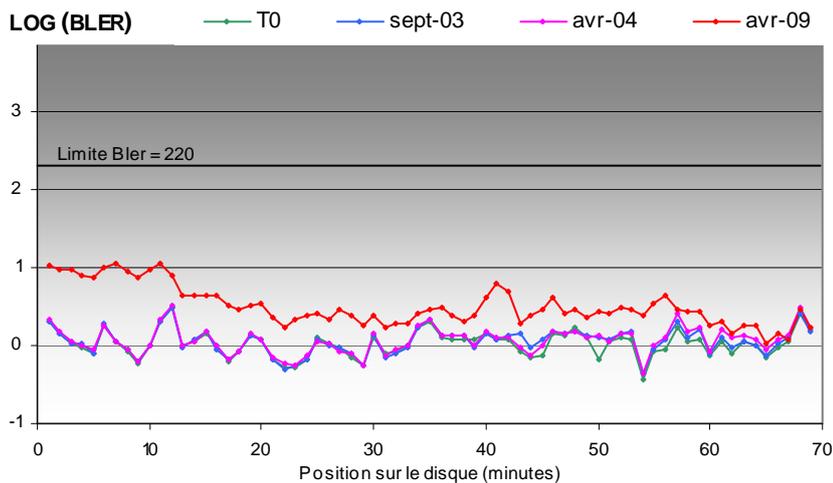
Disque N° 44 (31R) – Verbatim – Graveur R (juin 02)

Représentations de surface
(avril 2009)

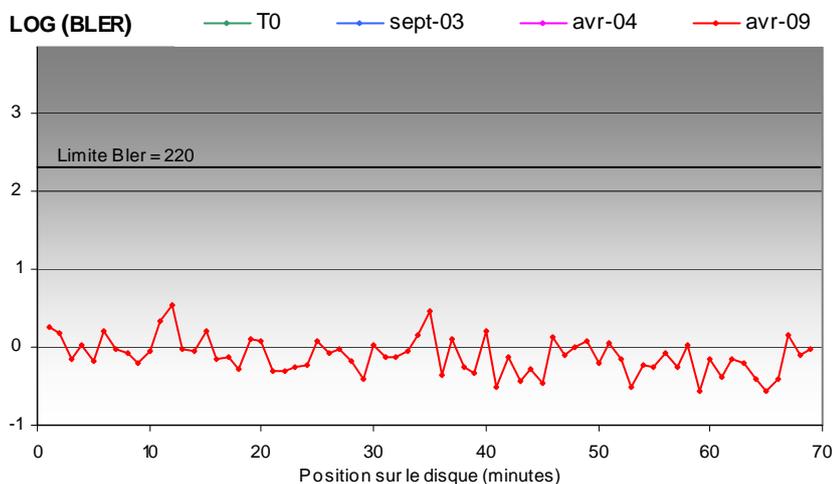
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x

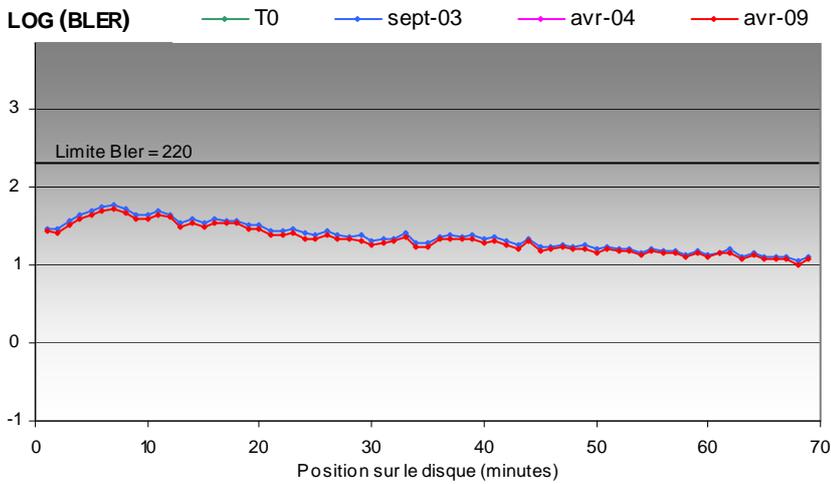


ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



Disque N° 45 (32Q) – TDK – Graveur Q (juin 02)

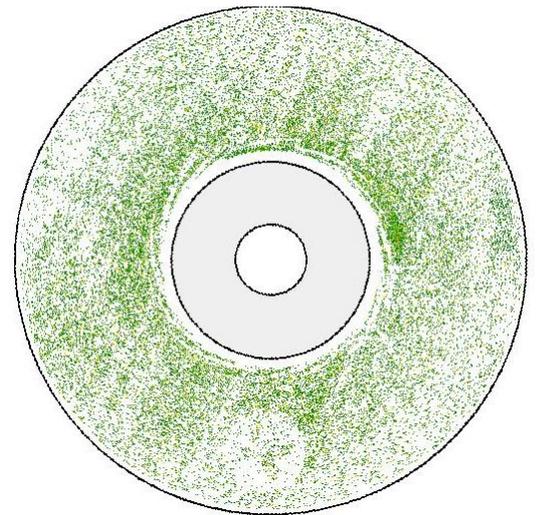
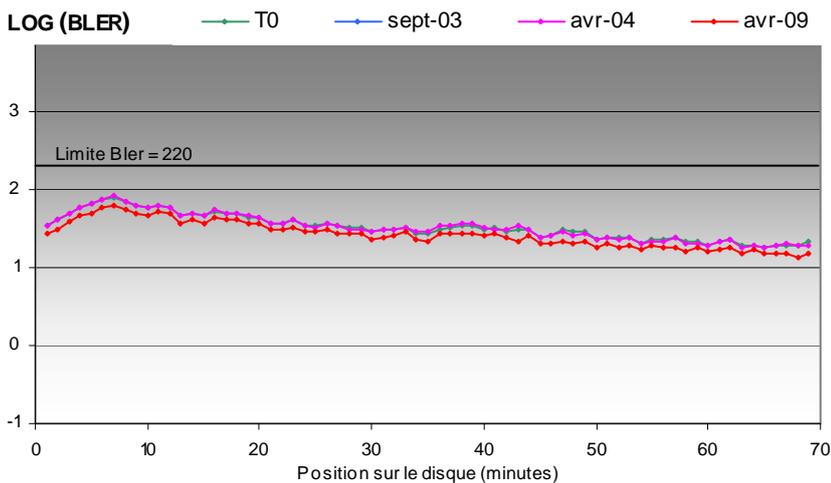
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



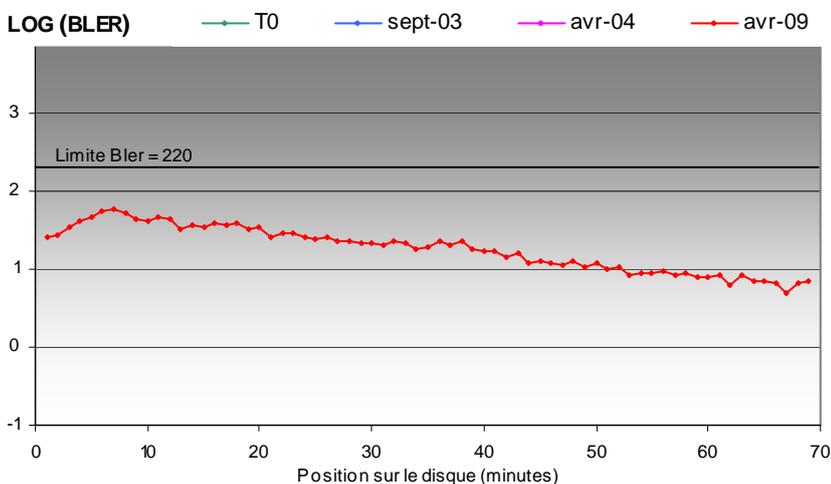
Représentations de surface (avril 2009)



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



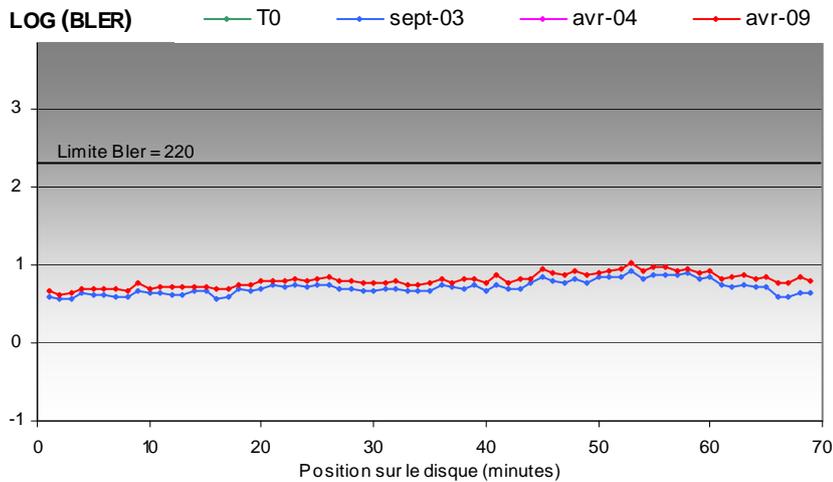
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



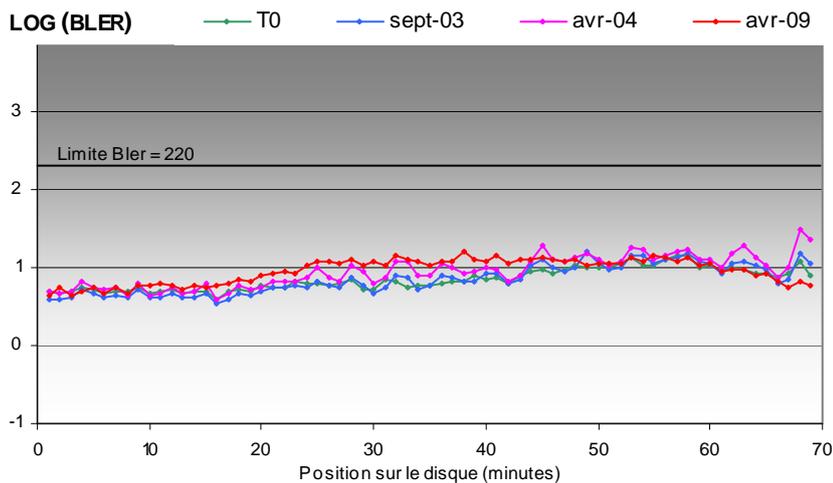
Disque N° 46 (33gPC) – Verbatim – Graveur GravPC (oct 00)

Représentations de surface
(avril 2009)

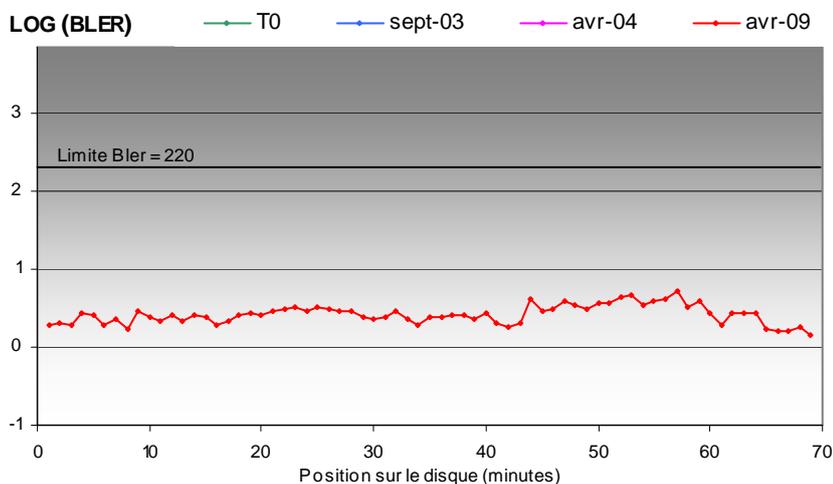
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



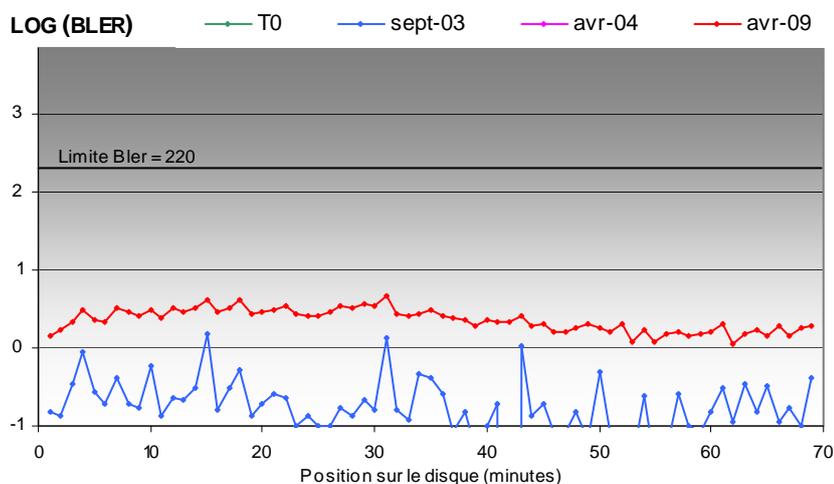
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



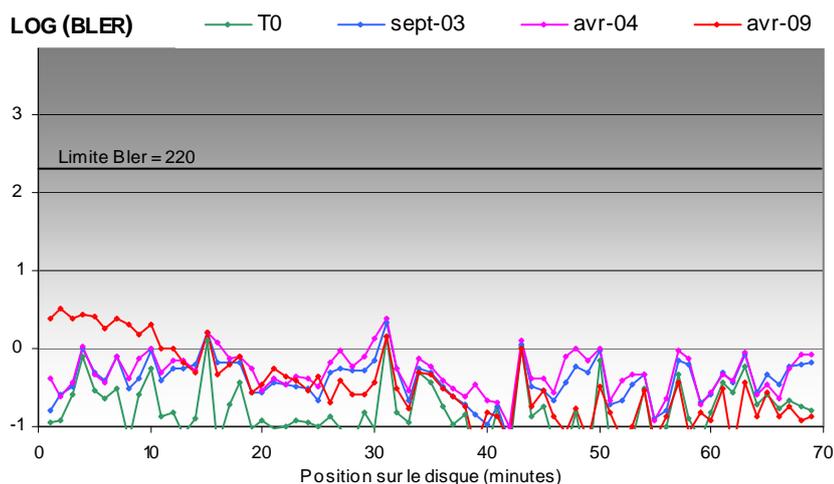
Disque N° 47 (34gPC) – Mitsui – Graveur GravPC (oct 00)

Représentations de surface
(avril 2009)

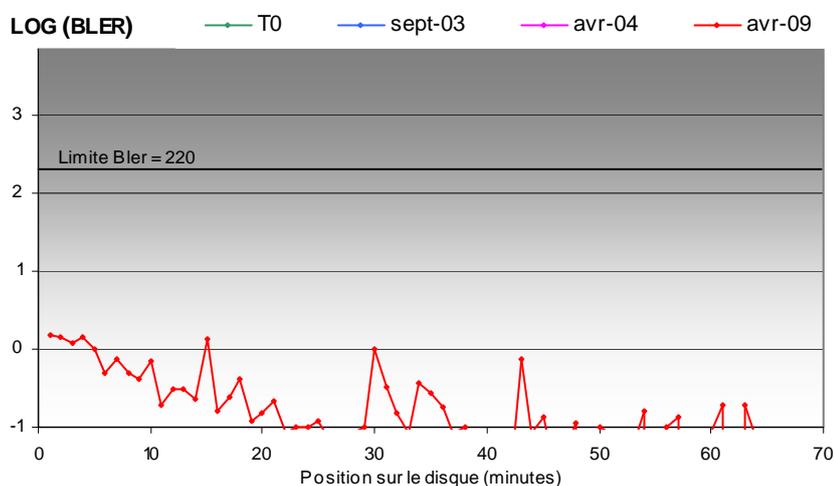
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



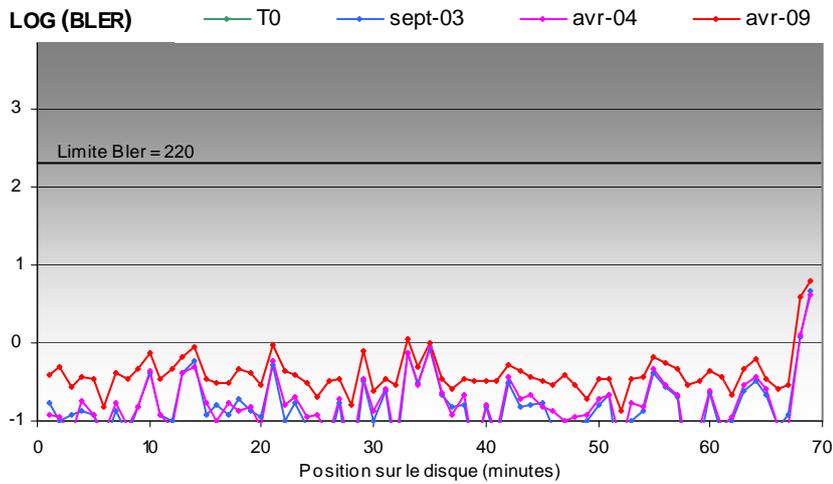
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



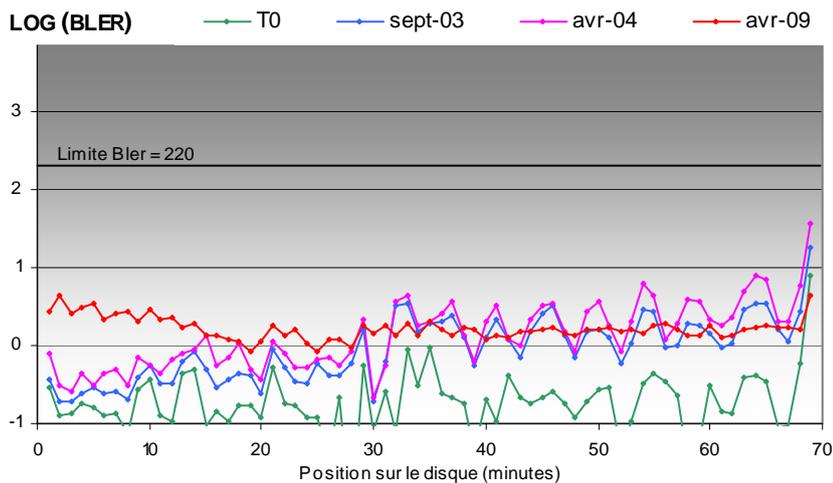
Disque N° 48 (35D) – Traxdata – Graveur D (oct 00)

Représentations de surface
(avril 2009)

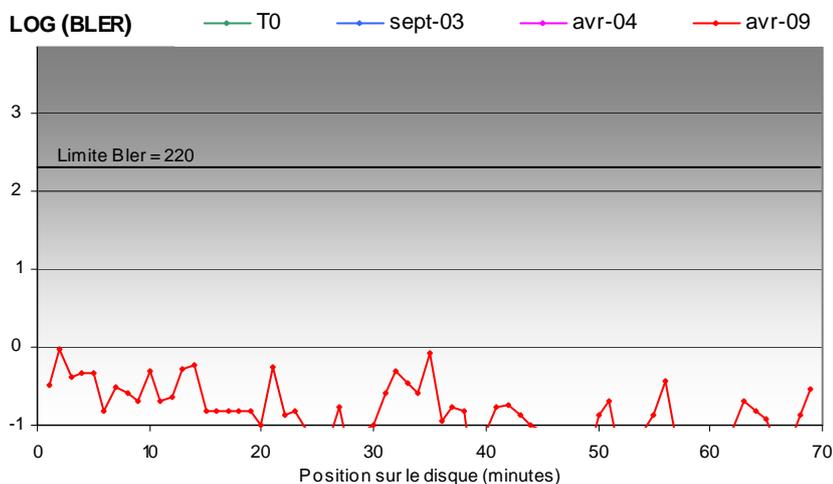
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



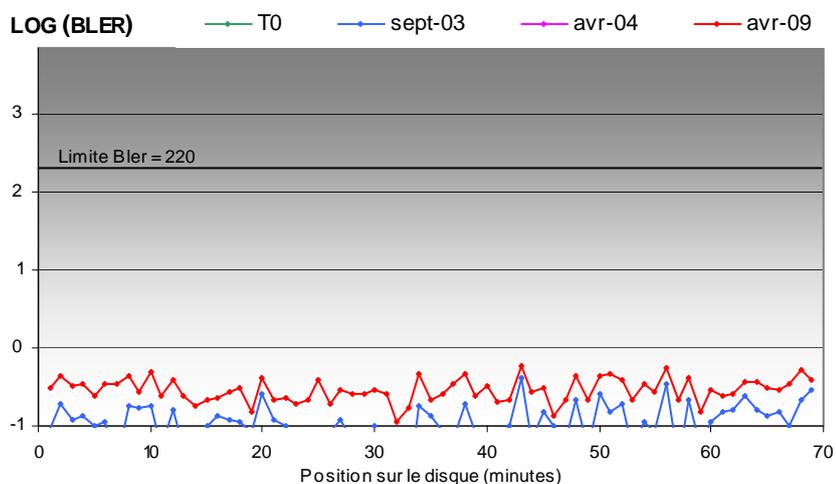
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



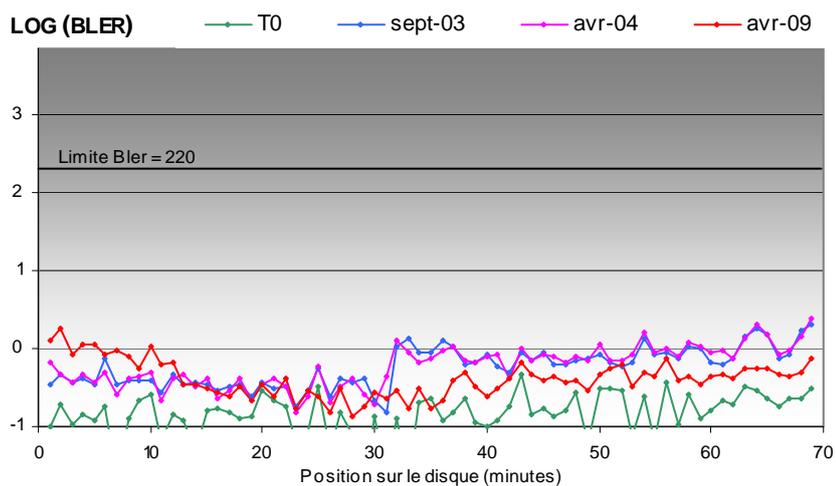
Disque N° 49 (35hp8) – Traxdata – Graveur Hp8 (oct 00)

Représentations de surface
(avril 2009)

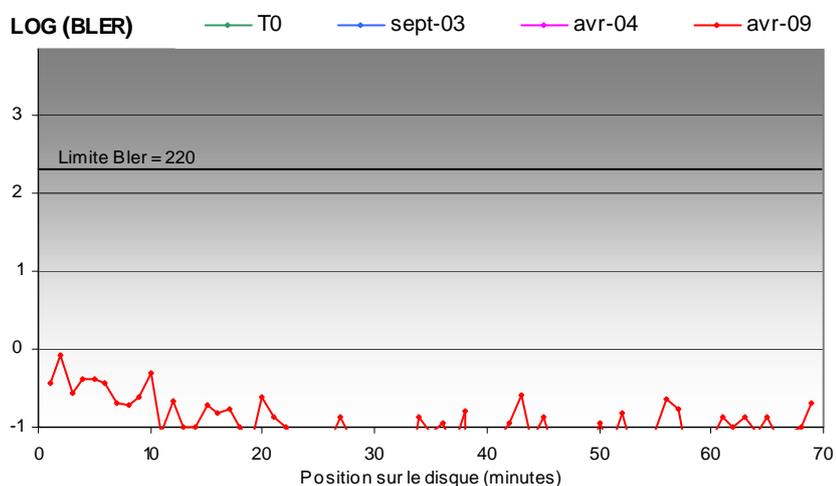
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



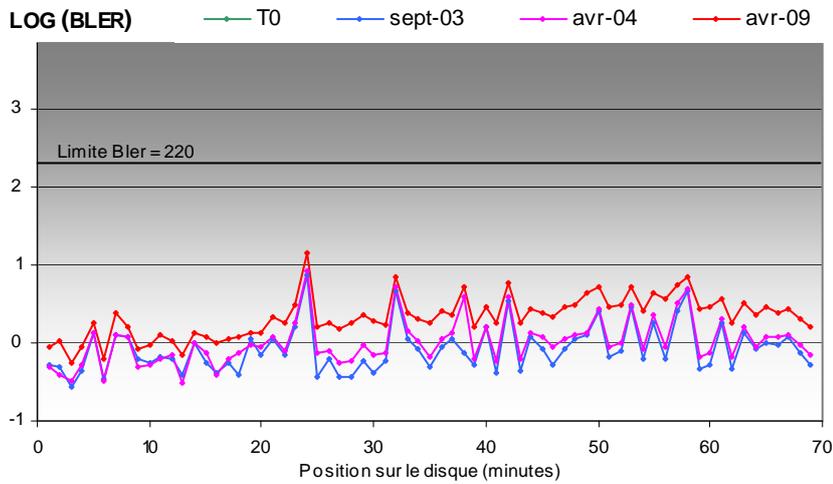
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



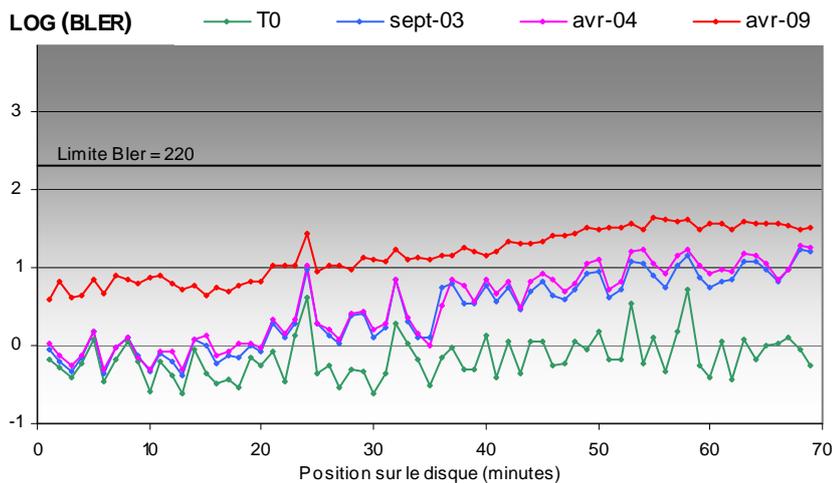
Disque N° 50 (36D) – Silver Pro – Graveur D (oct 00)

Représentations de surface
(avril 2009)

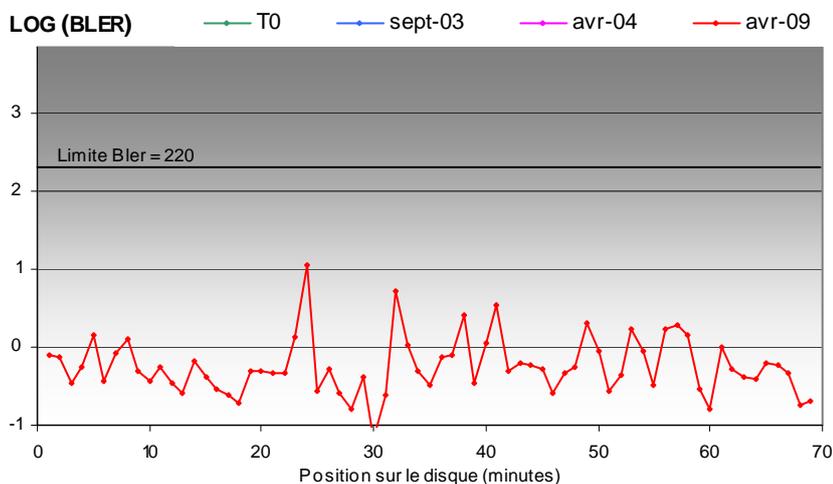
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x

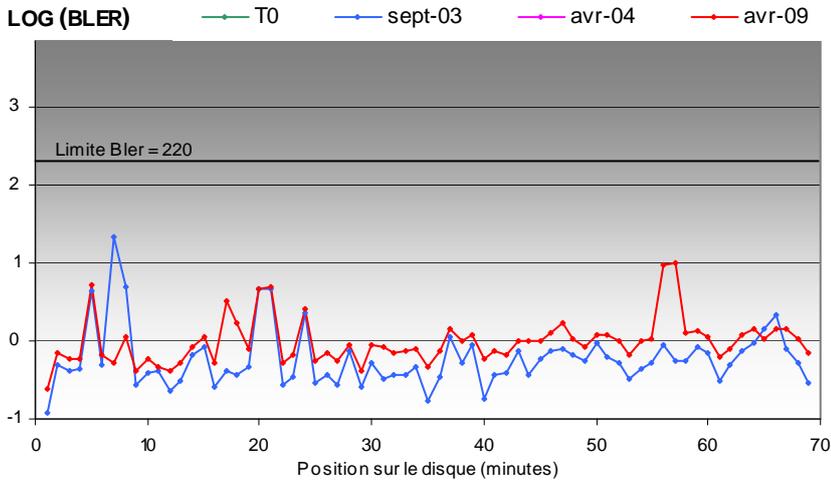


ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x

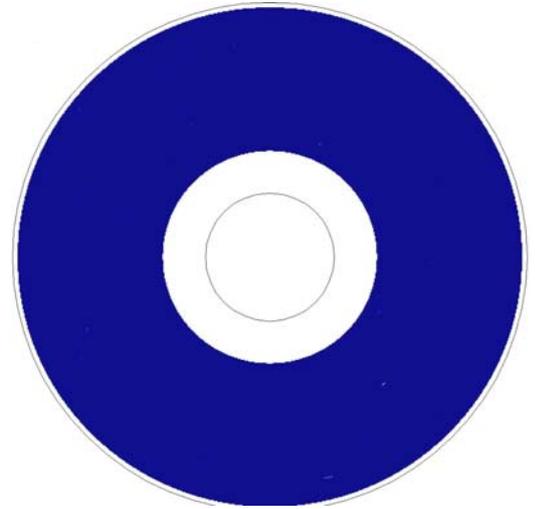


Disque N° 51 (36hp8) – Silver Pro – Graveur Hp8 (oct 00)

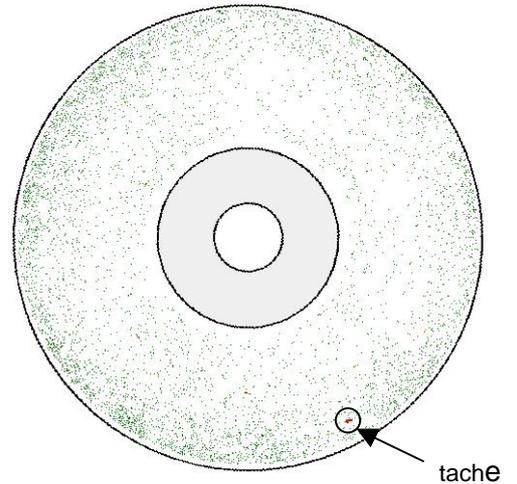
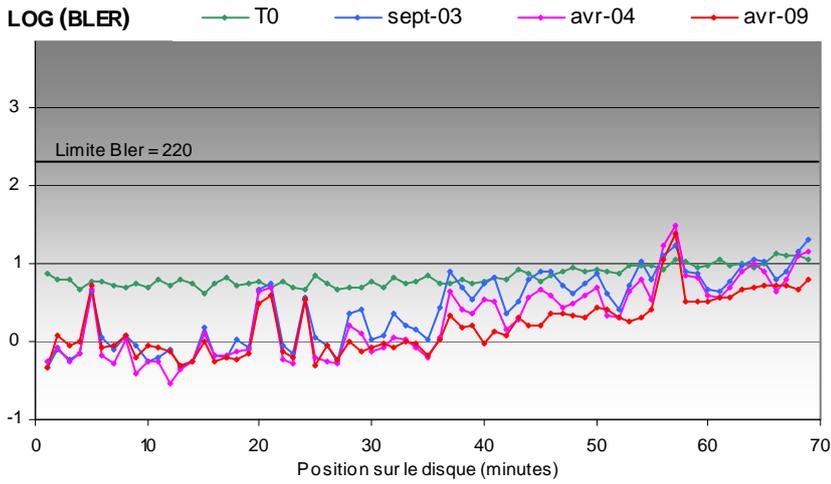
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



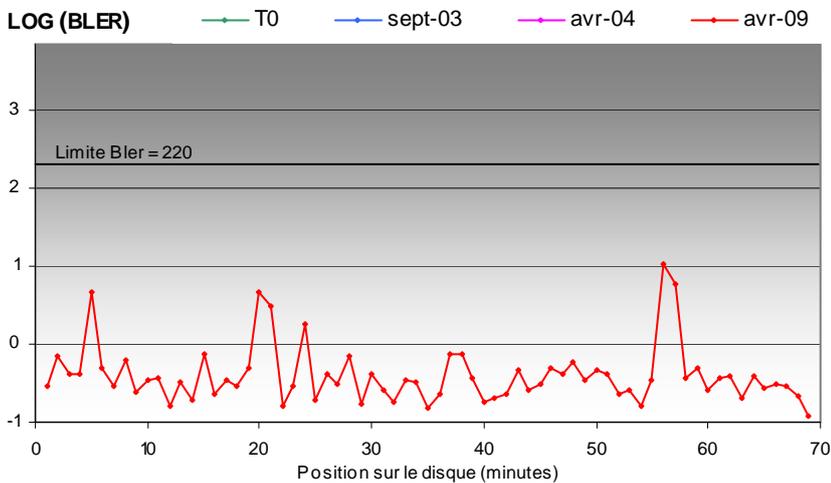
Représentations de surface (avril 2009)



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



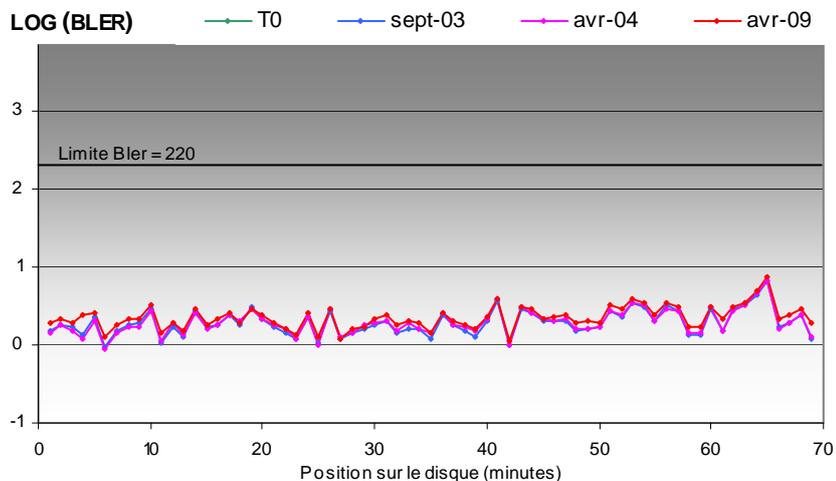
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



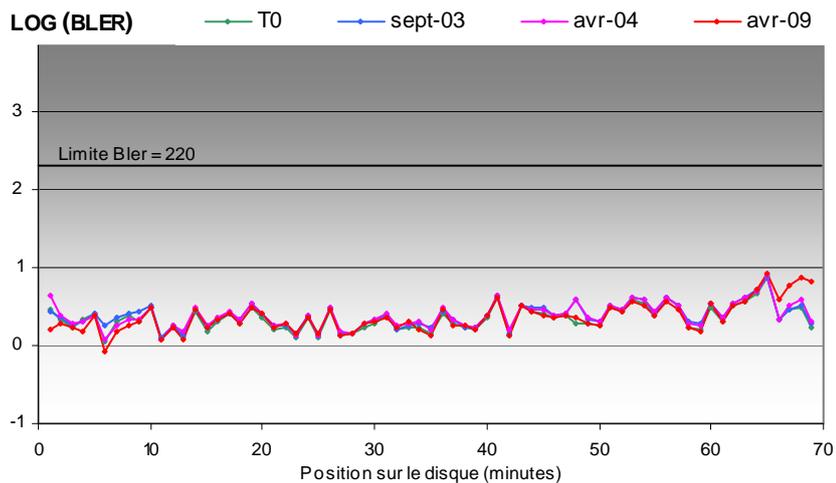
Disque N° 52 (37hp8) – Hi Space – Graveur Hp8 (juil 00)

Représentations de surface
(avril 2009)

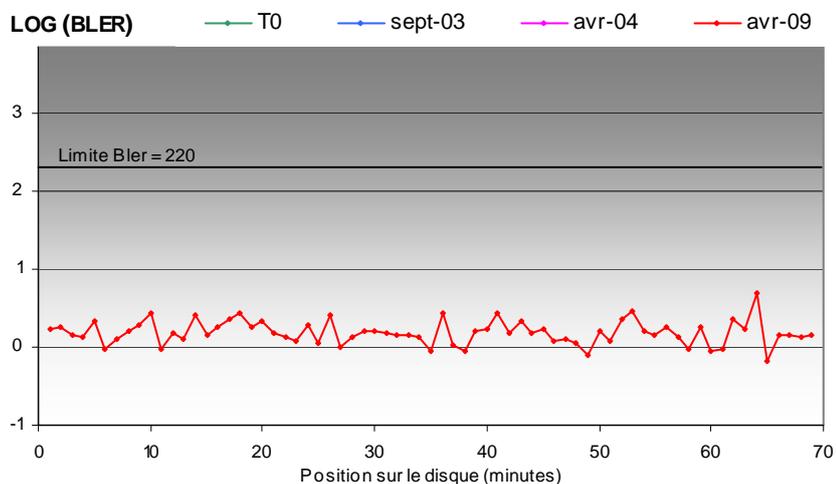
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



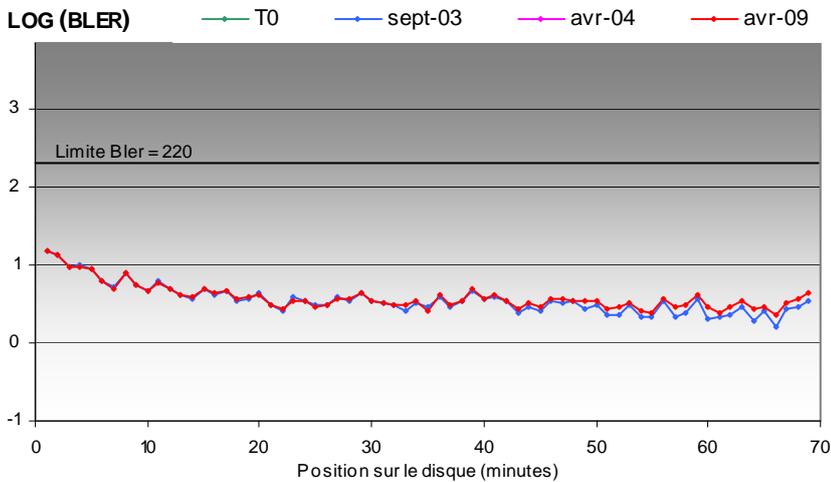
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



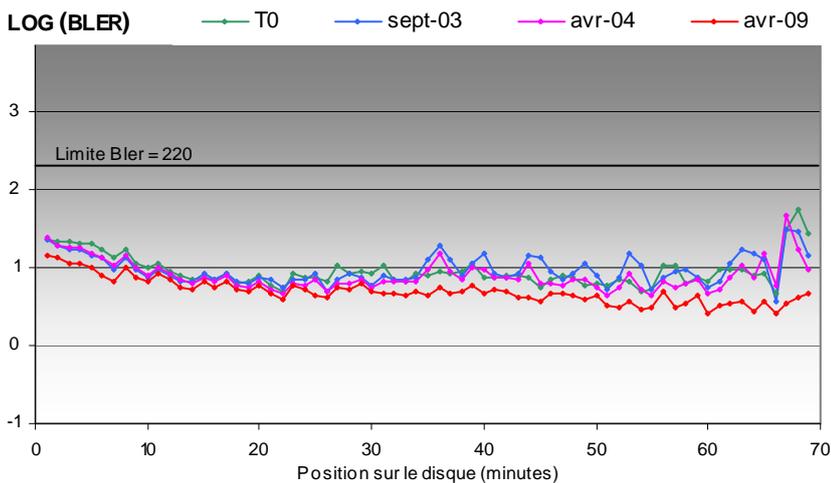
Disque N° 53 (38hp8) – TDK – Graveur Hp8 (juil 00)

Représentations de surface
(avril 2009)

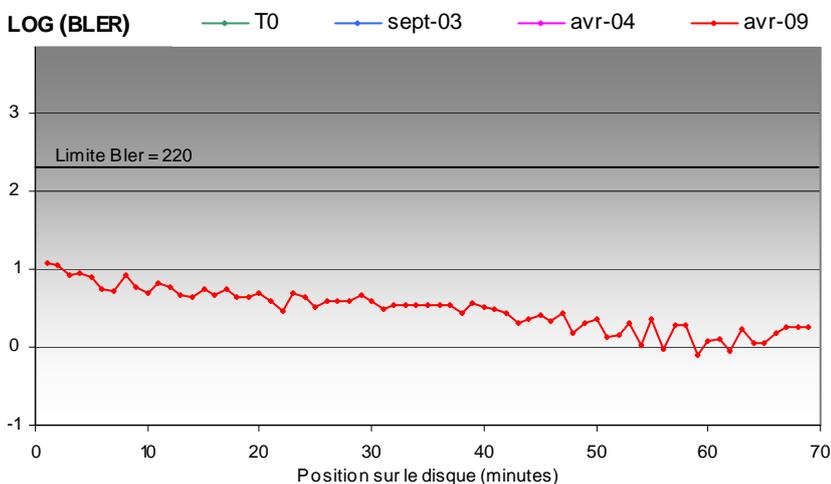
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



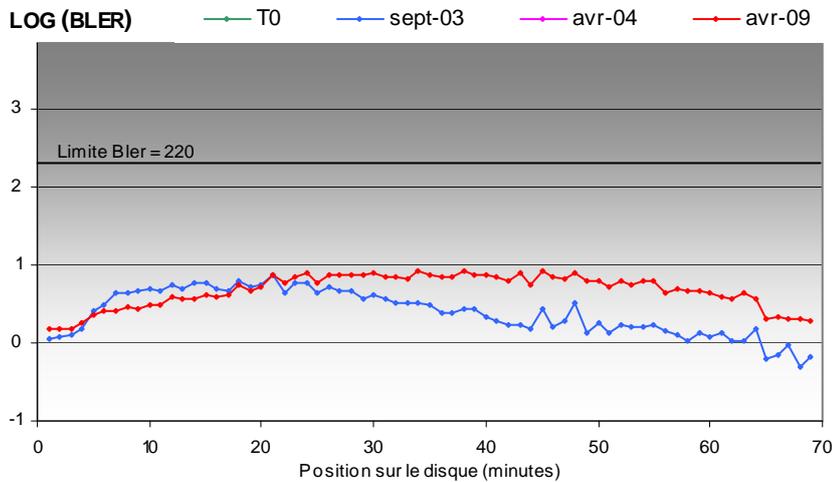
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



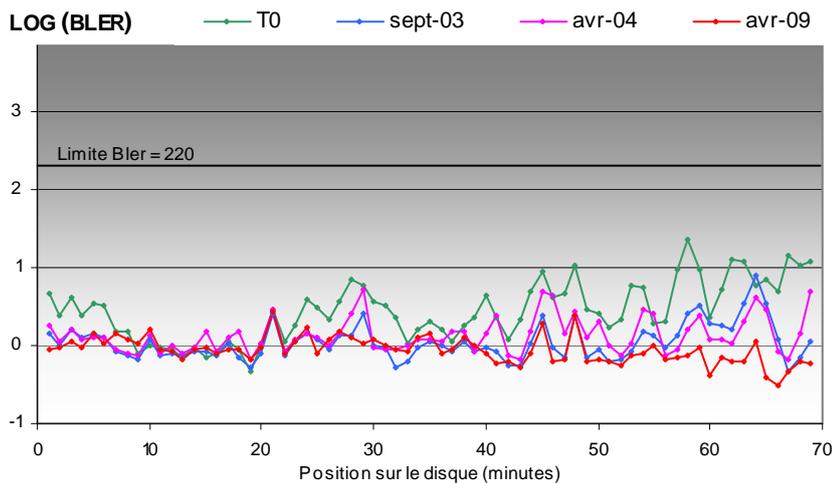
Disque N° 54 (39hp8) – Fujifilm – Graveur Hp8 (juil 00)

Représentations de surface
(avril 2009)

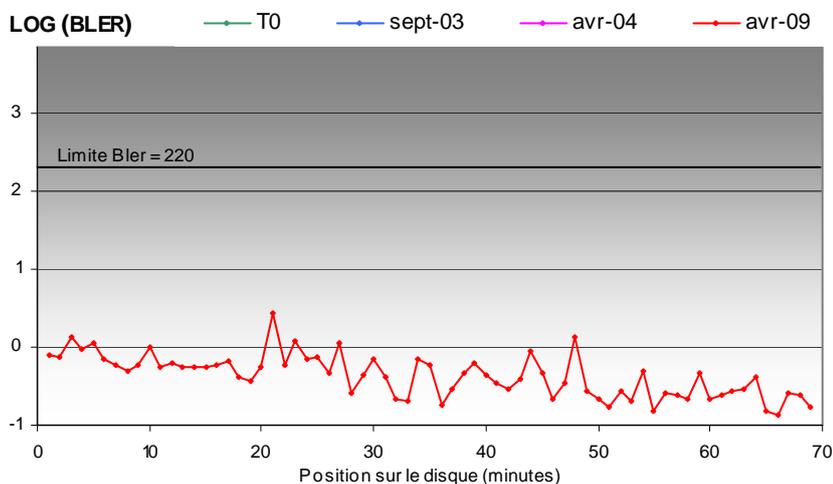
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



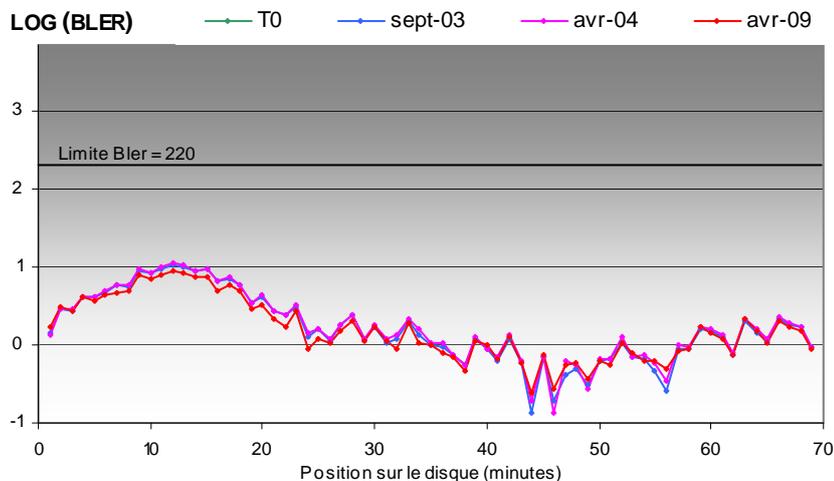
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



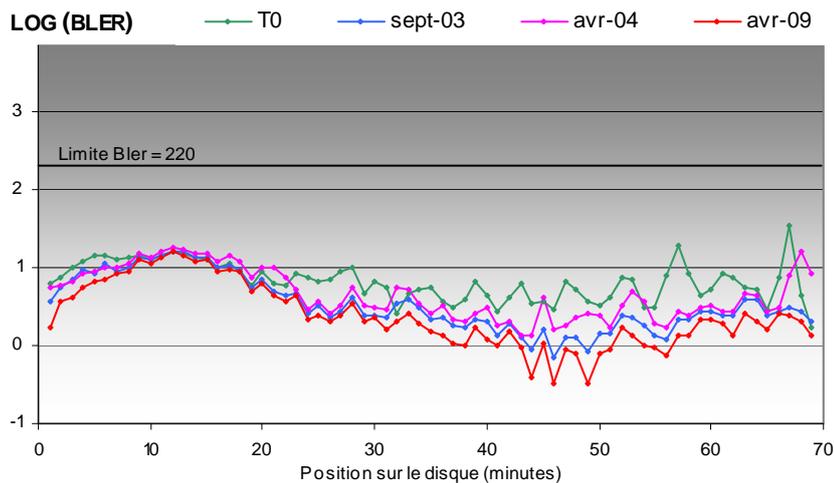
Disque N° 55 (40hp8) – Verbatim – Graveur Hp8 (juil 00)

Représentations de surface
(avril 2009)

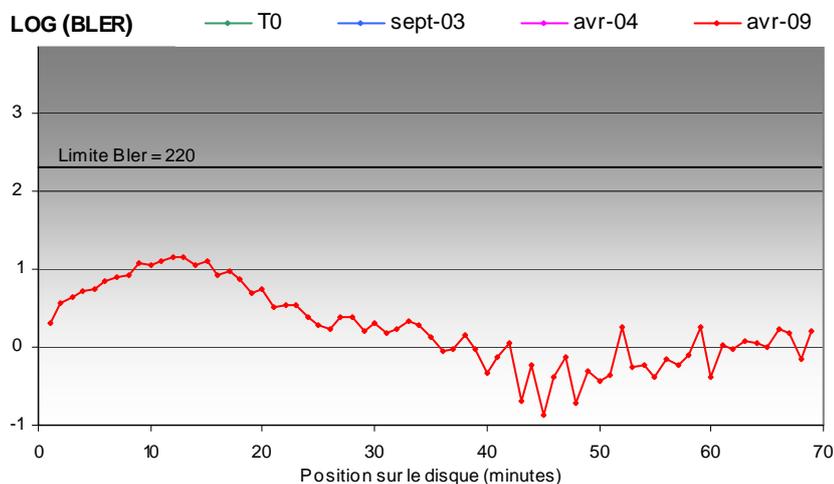
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



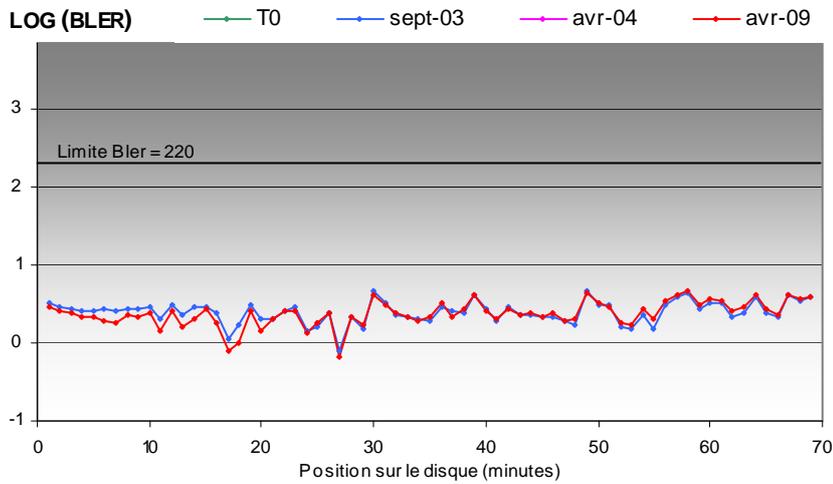
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



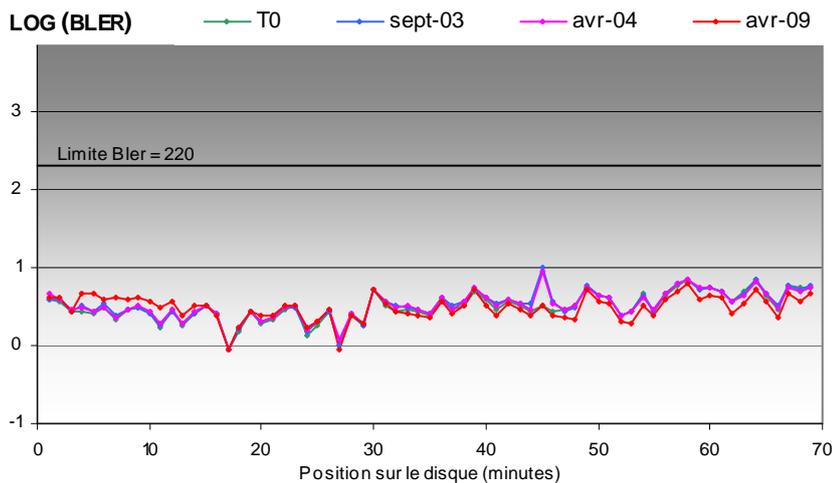
Disque N° 56 (41G) – Verbatim – Graveur G (sept 01)

Représentations de surface
(avril 2009)

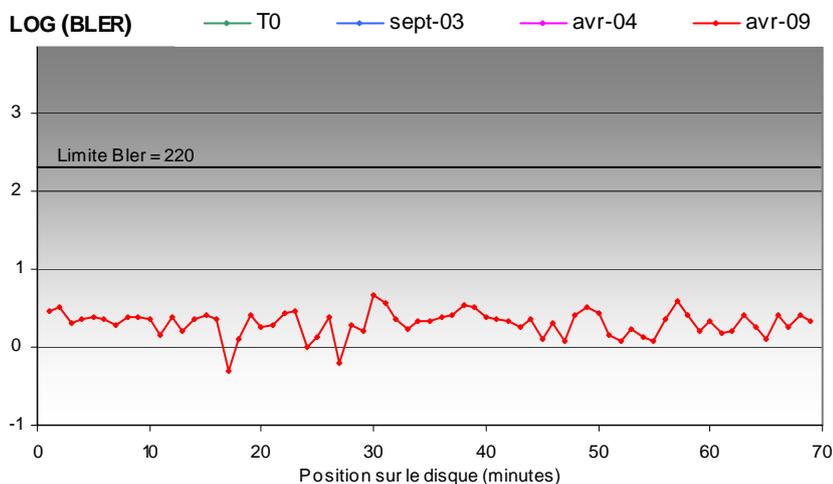
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



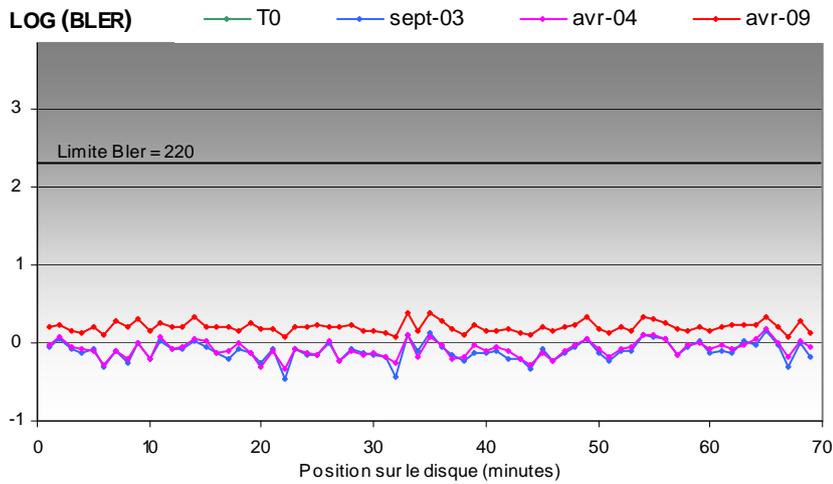
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



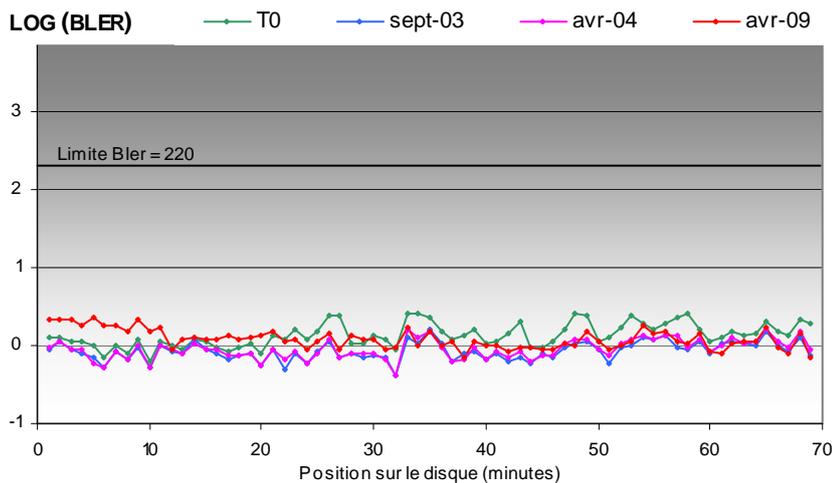
Disque N° 57 (42I) – Memorex – Graveur I (oct 01)

Représentations de surface
(avril 2009)

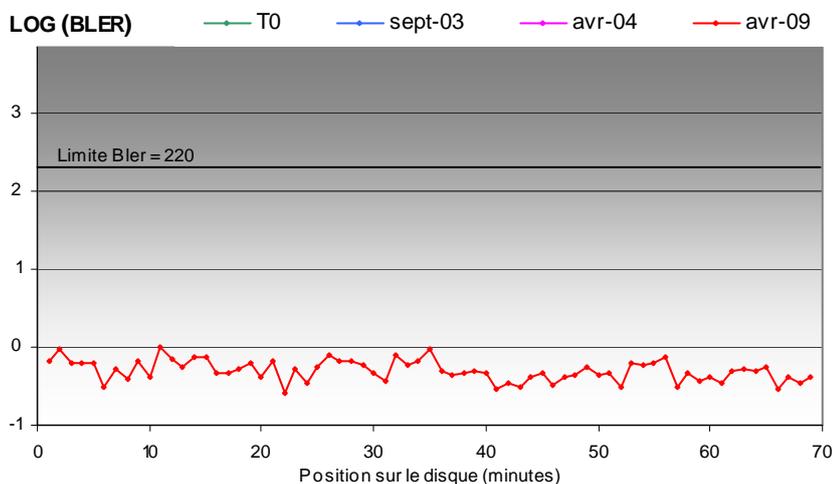
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



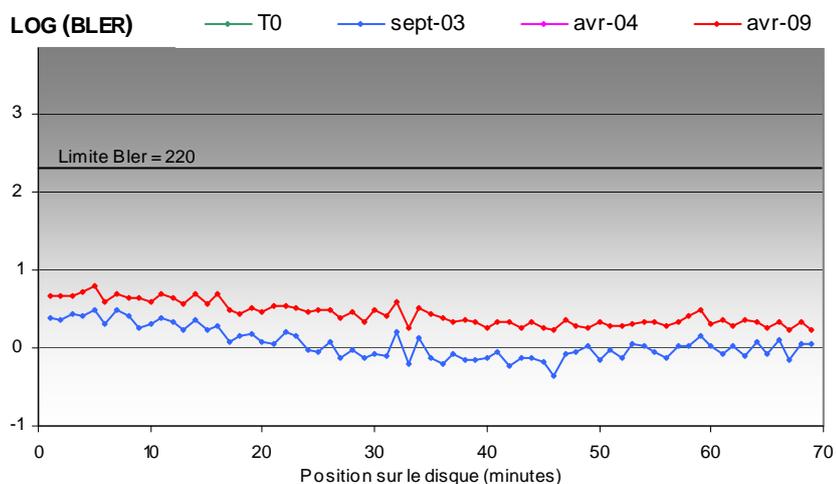
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



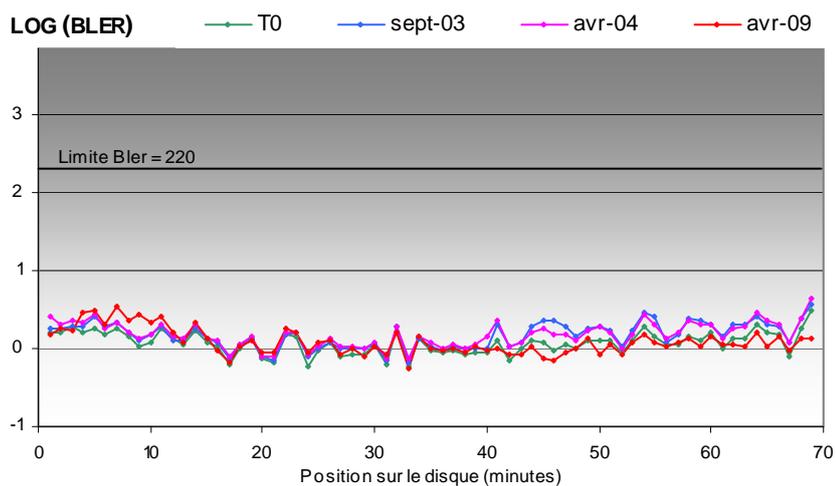
Disque N° 58 (43G) – Mitsui – Graveur G (oct 01)

Représentations de surface
(avril 2009)

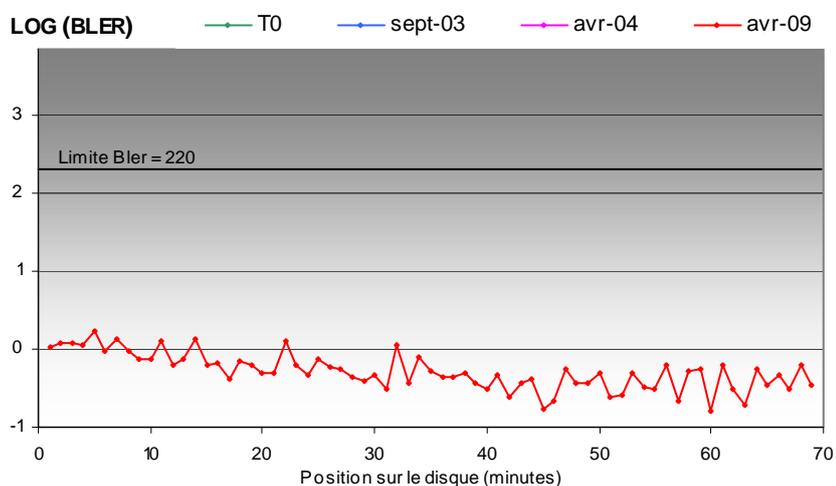
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



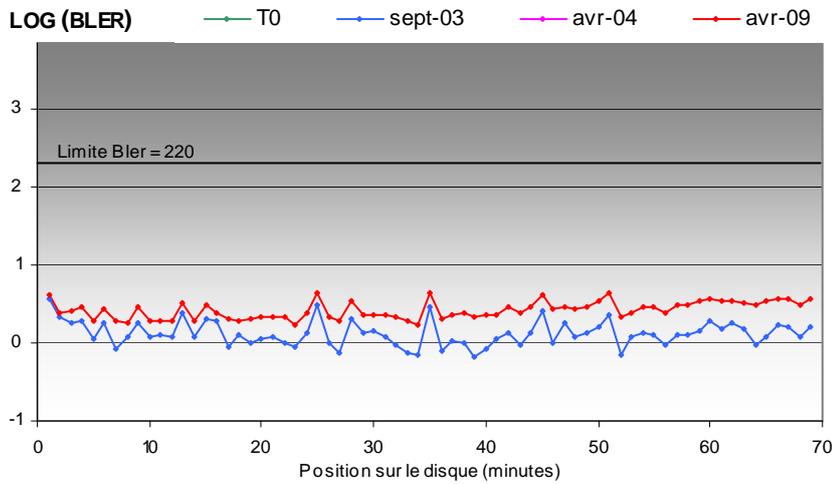
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



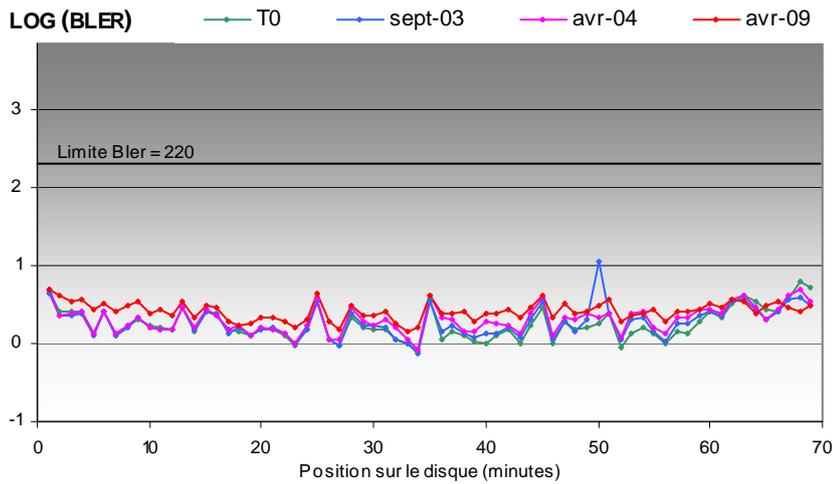
Disque N° 59 (44I) – TDK – Graveur I (sept 01)

Représentations de surface
(avril 2009)

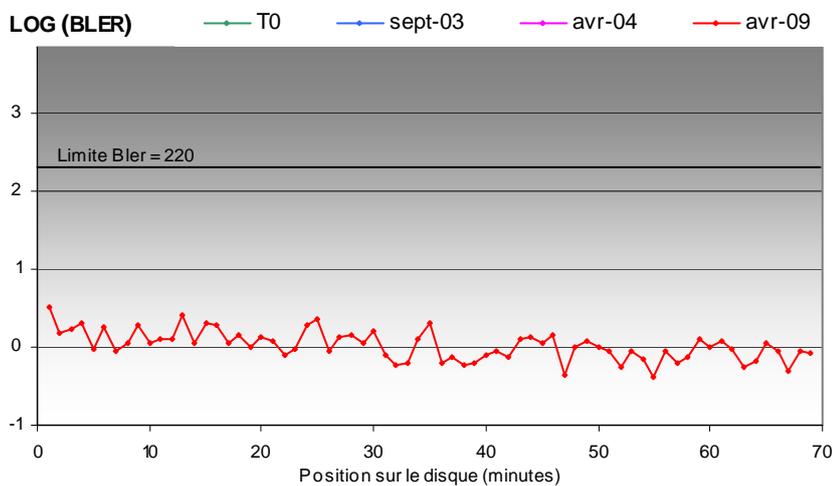
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



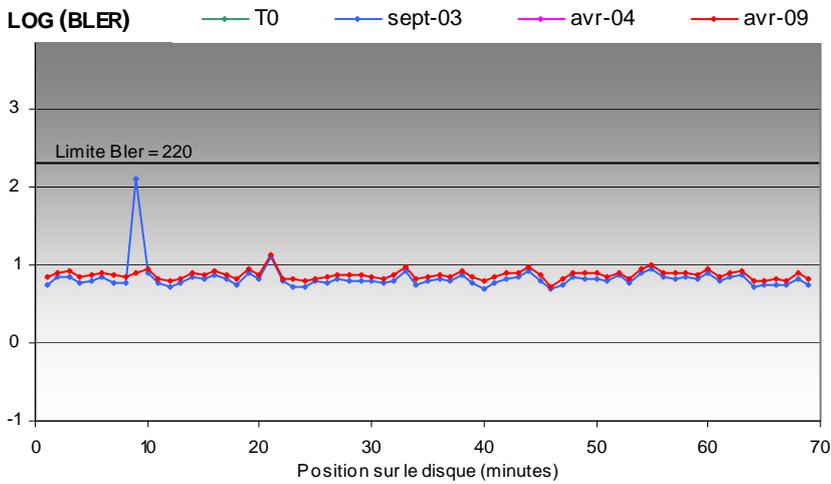
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



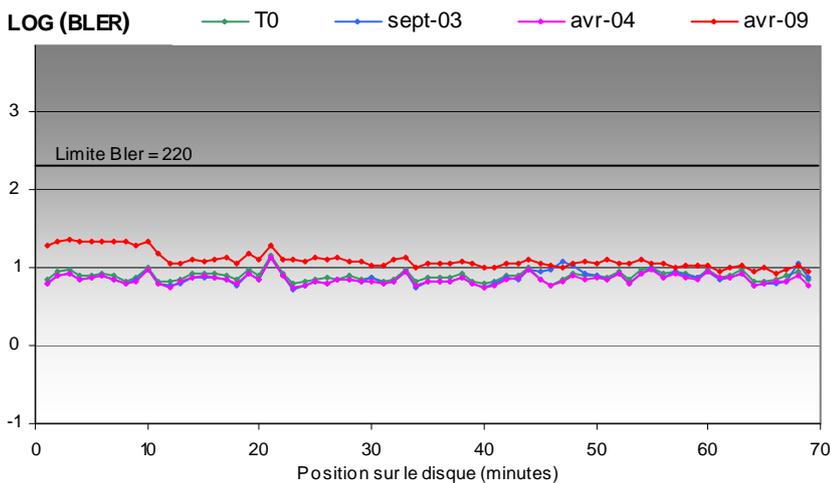
Disque N° 60 (45K) – Pny – Graveur K (oct 01)

Représentations de surface
(avril 2009)

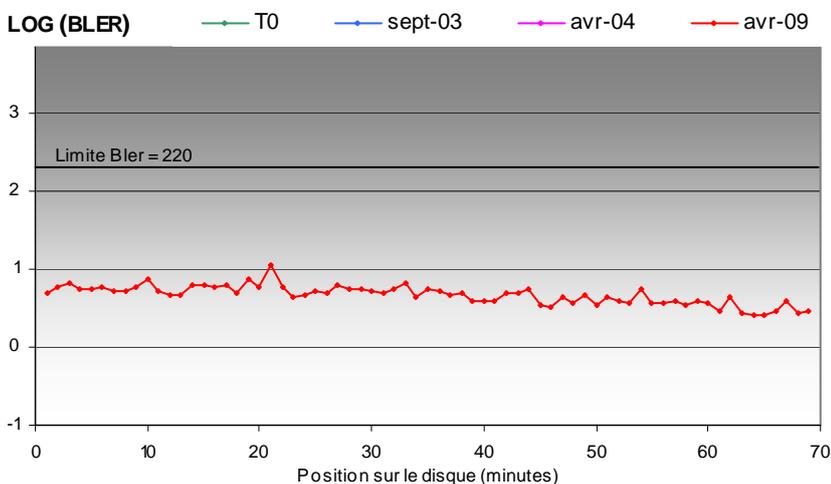
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x

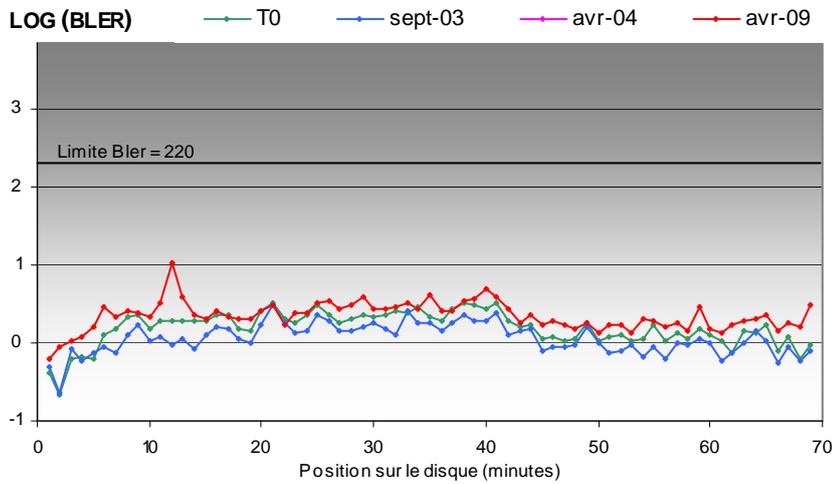


ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x

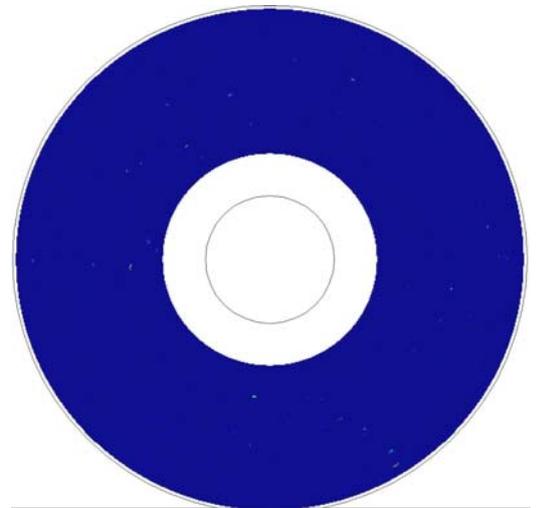


Disque N° 61 (50R) – Pacoje – Graveur R (sept 02)

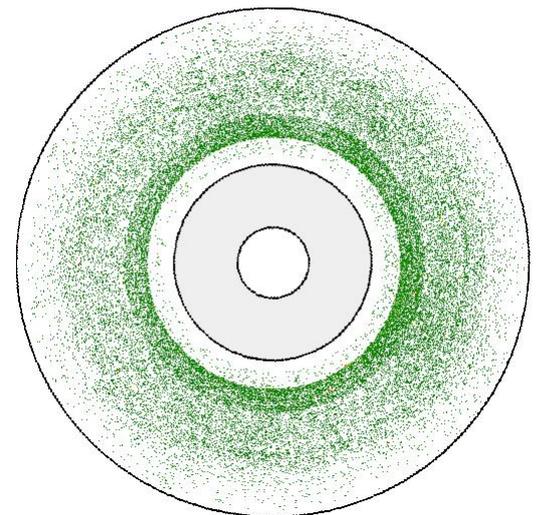
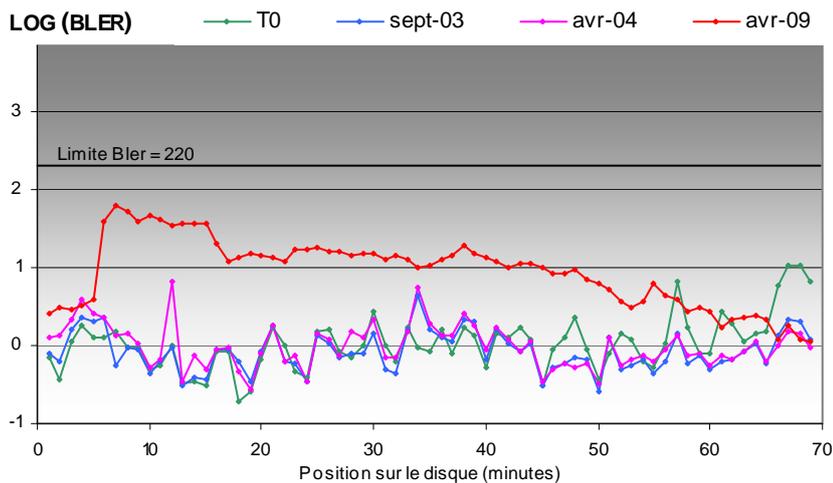
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



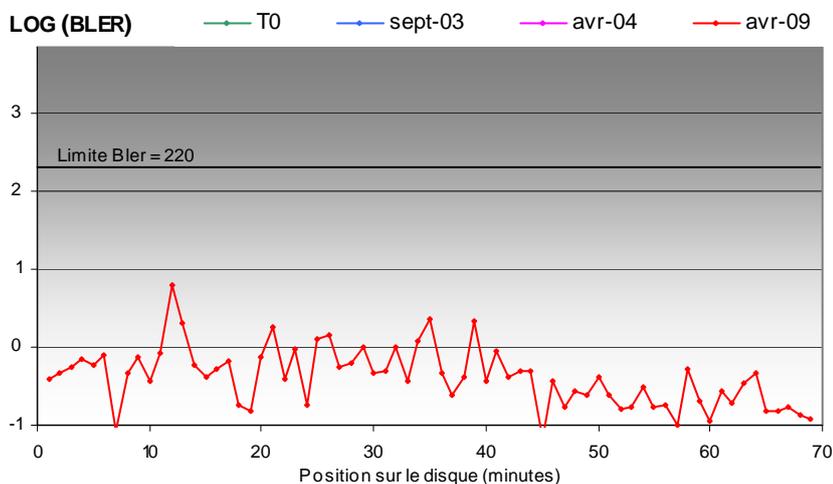
Représentations de surface (avril 2009)



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



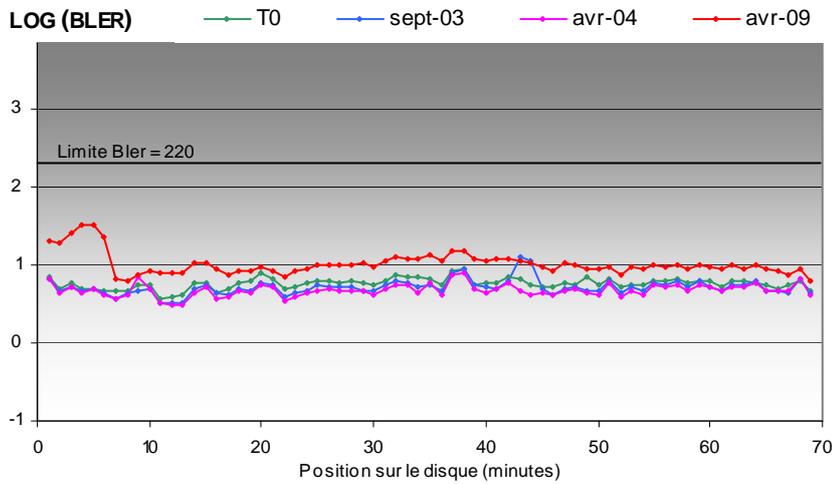
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



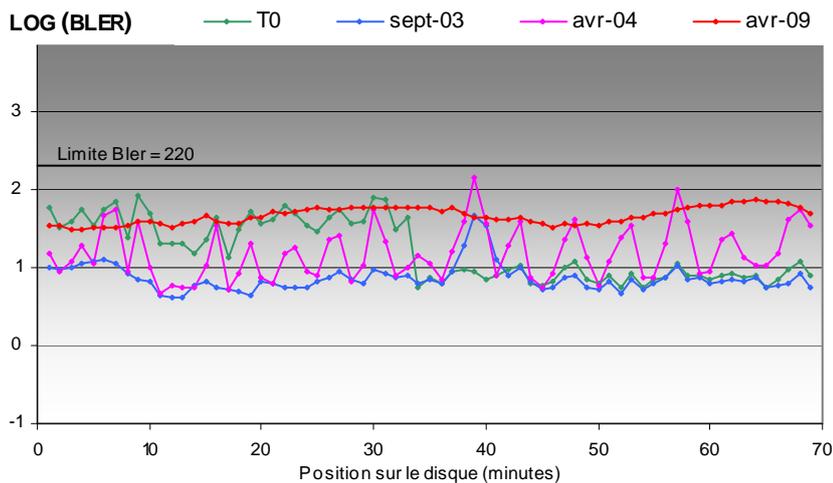
Disque N° 62 (51R) – Pacoje – Graveur R (déc 02)

Représentations de surface
(avril 2009)

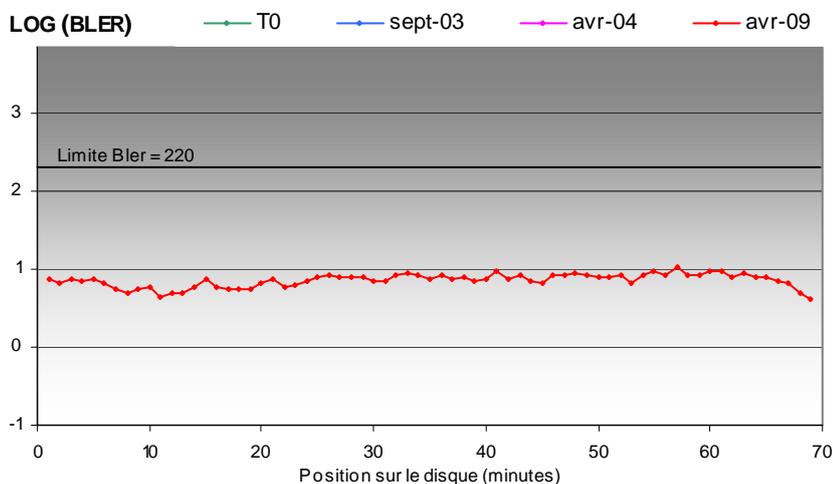
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



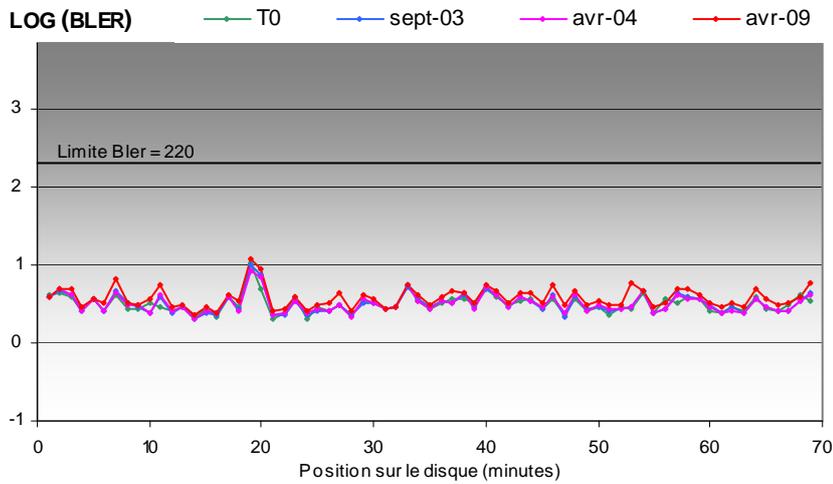
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



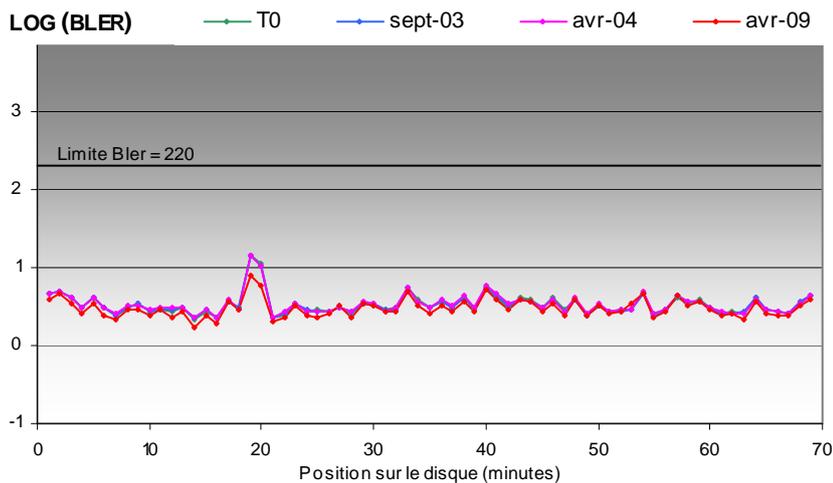
Disque N° 63 (52AA) – Sony – Graveur AA (déc 02)

Représentations de surface
(avril 2009)

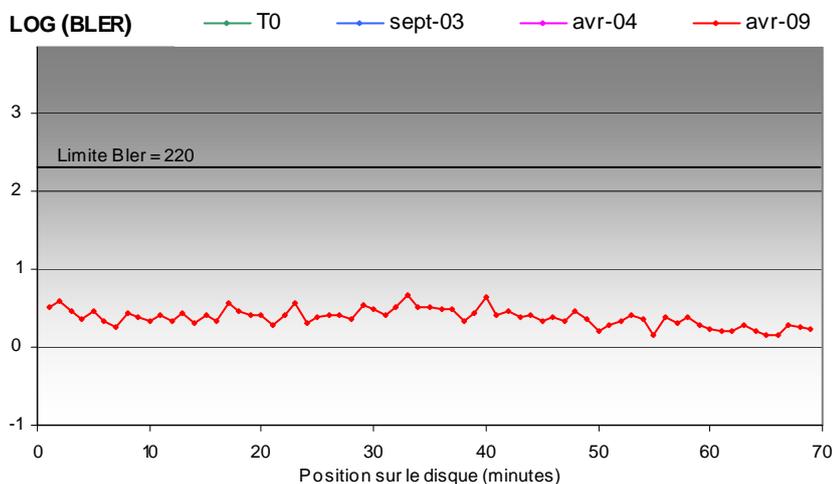
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x

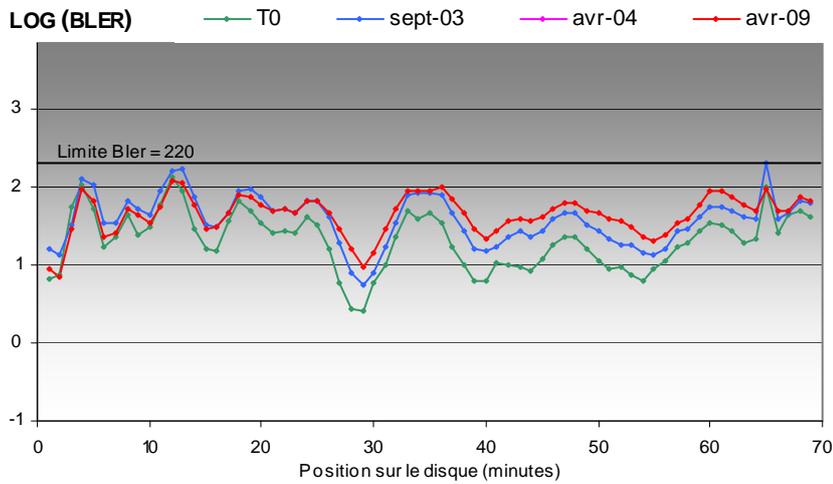


ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



Disque N° 64 (53S) – Verbatim – Graveur S (déc 02)

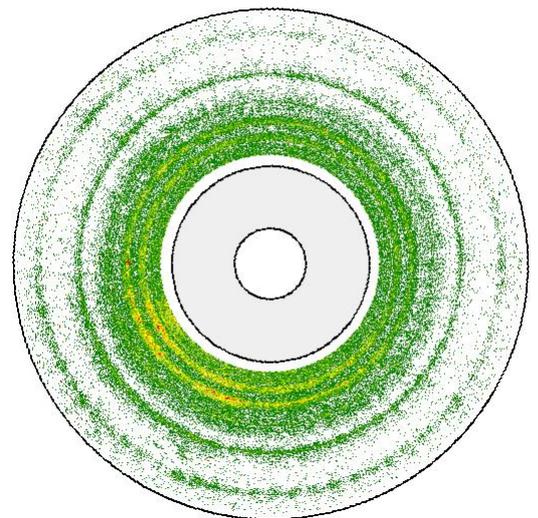
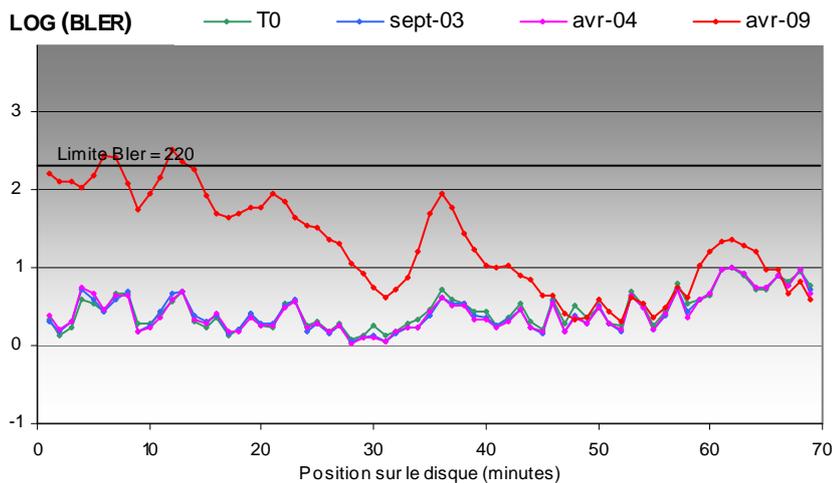
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



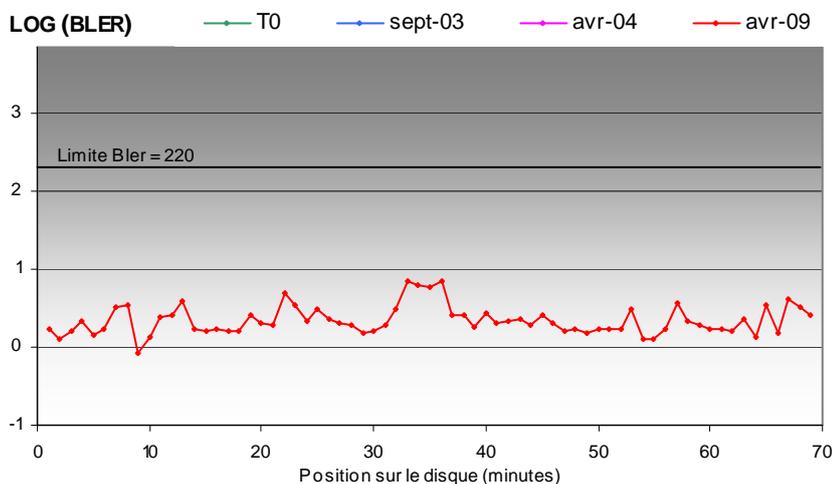
Représentations de surface (avril 2009)



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x

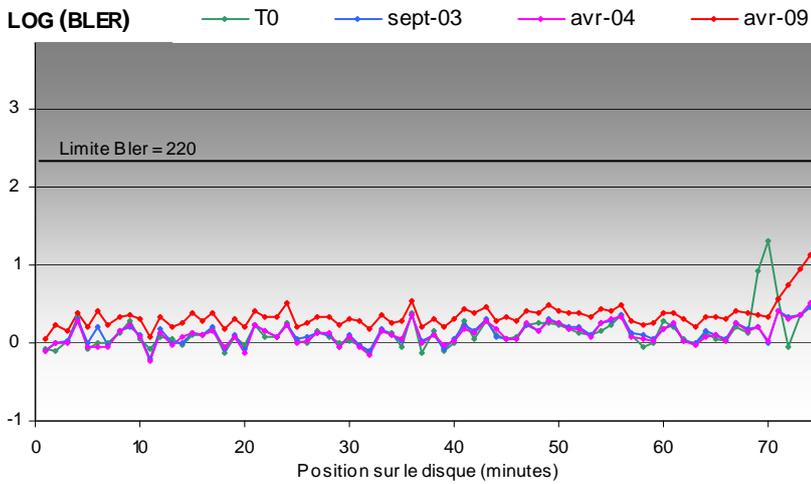


ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



Disque N° 65 (56V) – Omiz – Graveur V (déc 02)

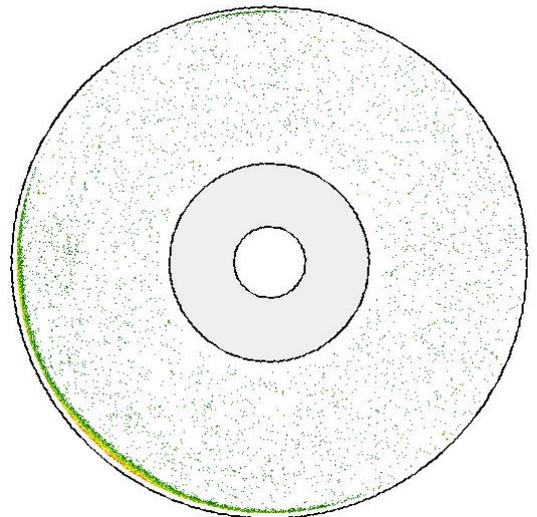
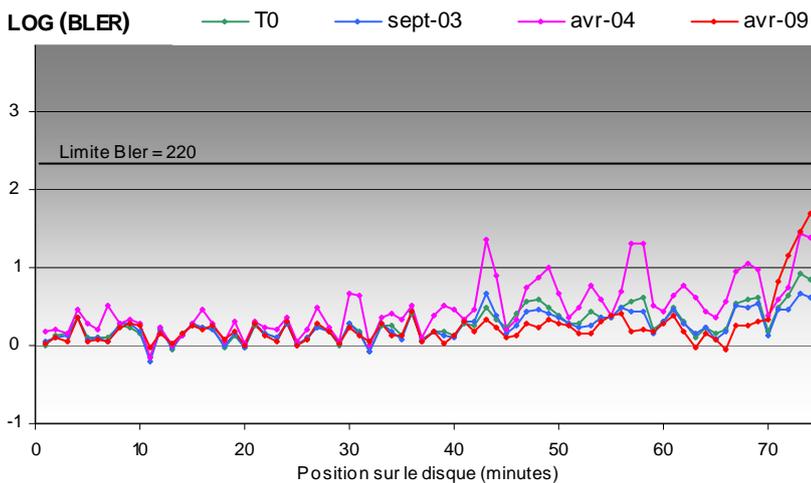
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



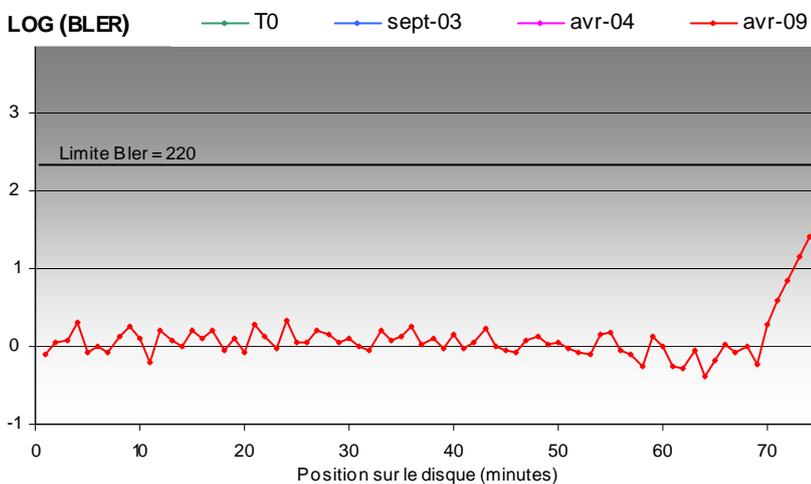
Représentations de surface (avril 2009)



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



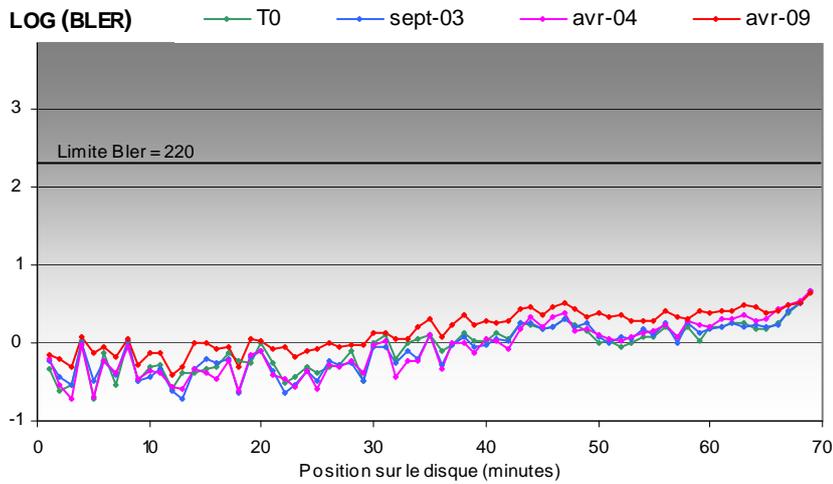
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



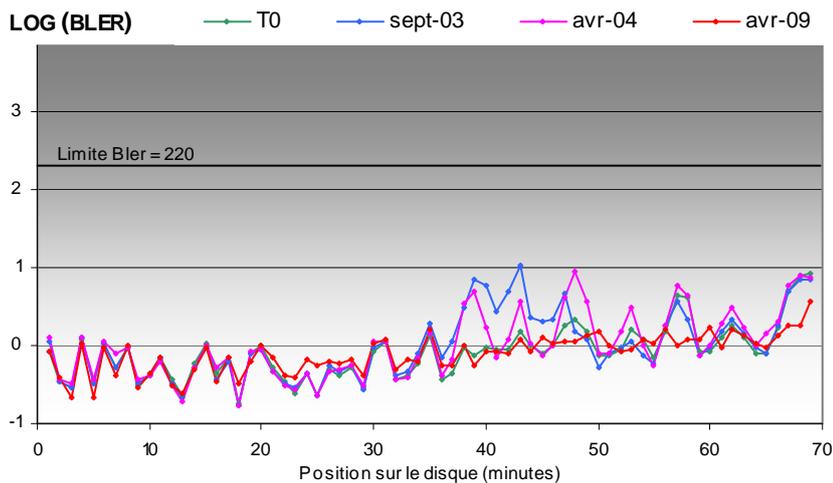
Disque N° 66 (58V) – Maxell – Graveur V (déc 02)

Représentations de surface
(avril 2009)

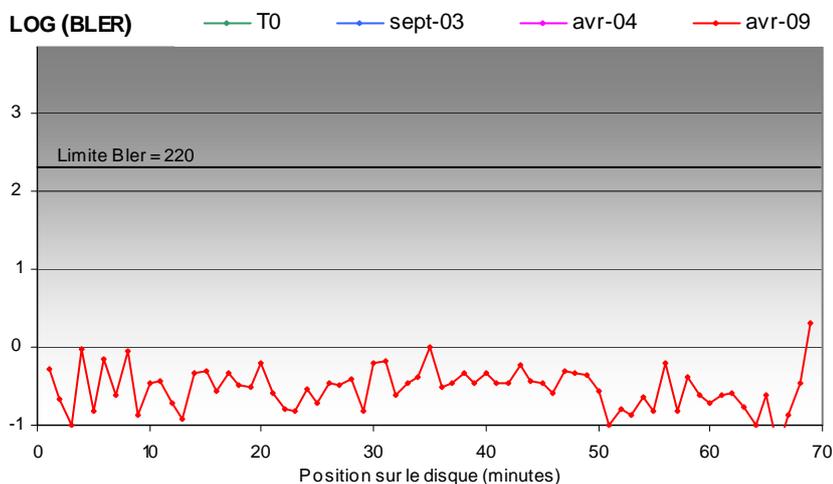
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



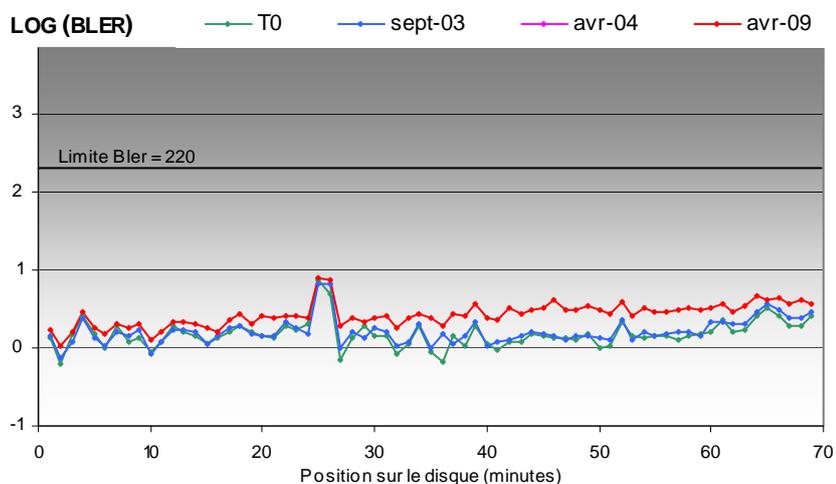
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



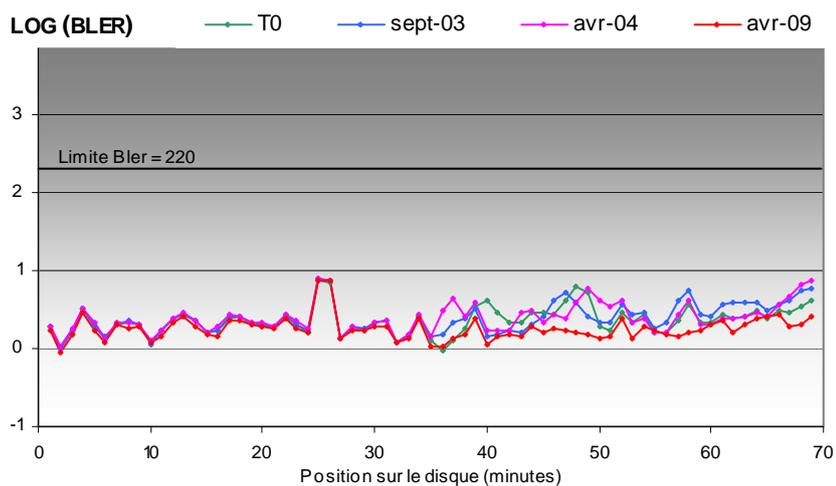
Disque N° 67 (59V) – Médiastar – Graveur V (déc 02)

Représentations de surface
(avril 2009)

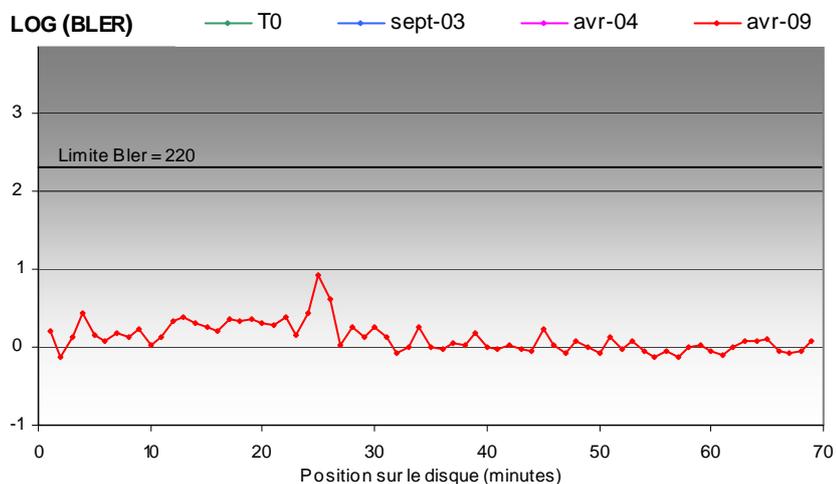
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



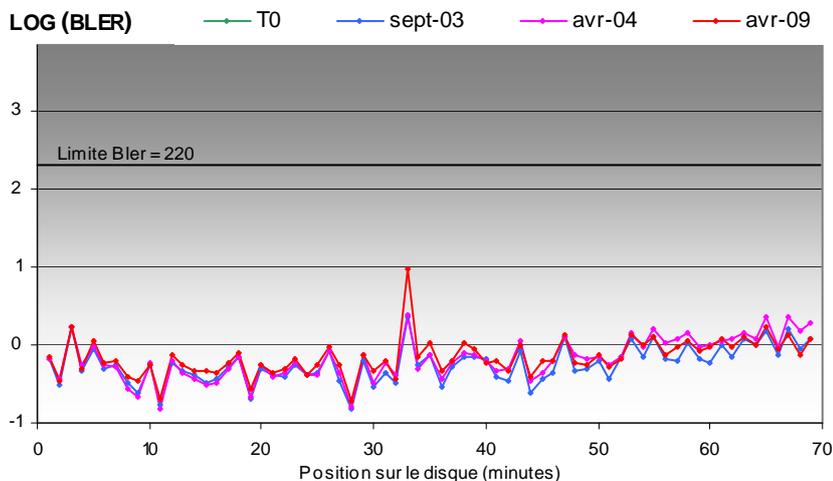
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



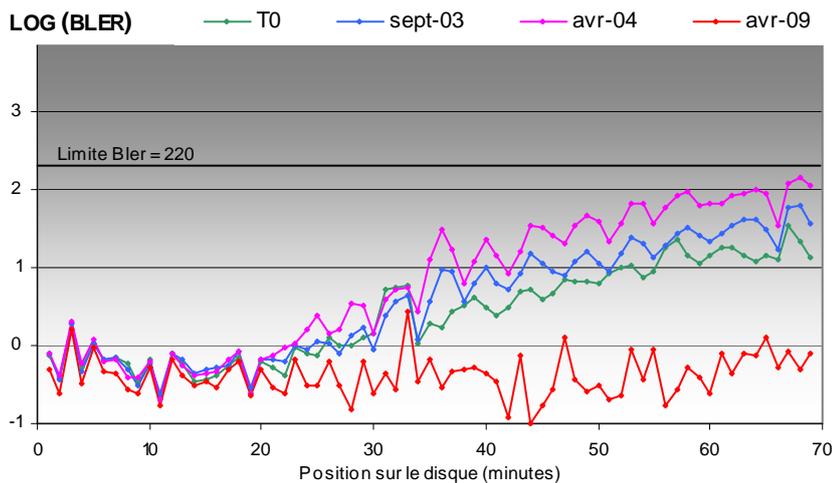
Disque N° 68 (60hp8) – Silver – Graveur Hp8 (juil 00)

Représentations de surface
(avril 2009)

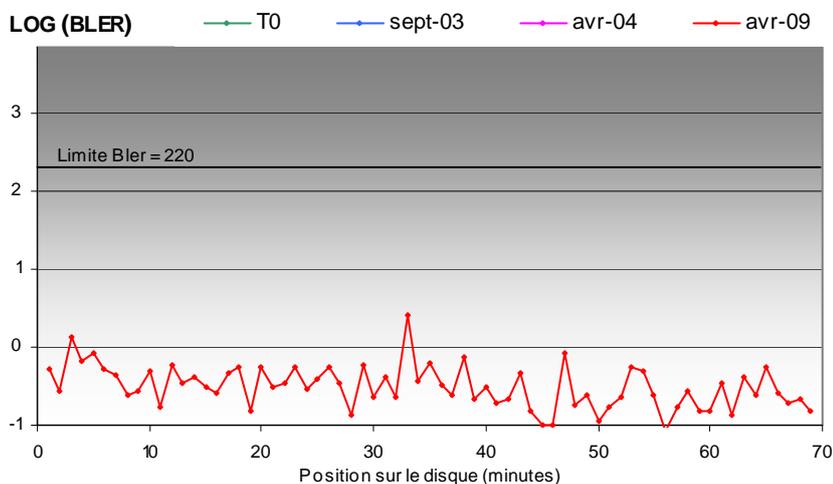
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



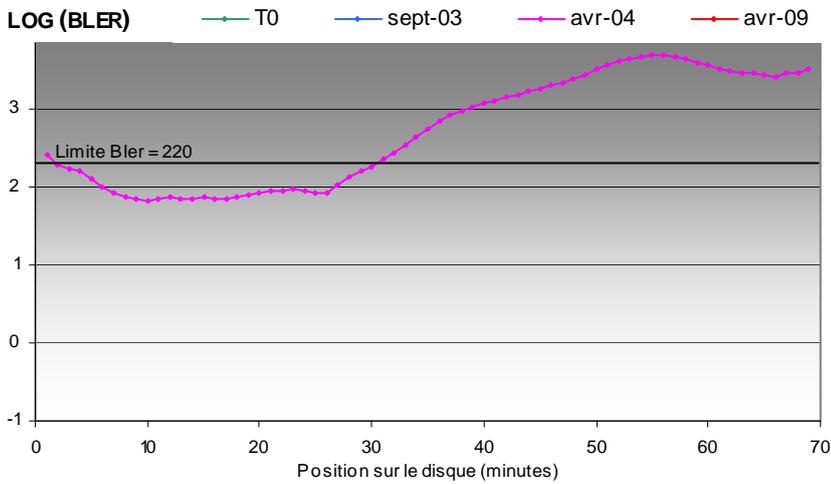
ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



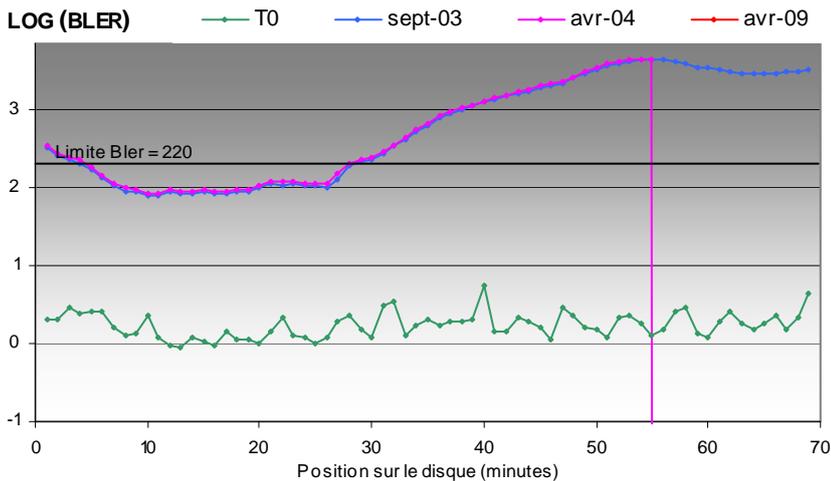
Disque N° 69 (25hp8) – Exel – Graveur Hp8 (juil 00)

Représentations de surface
(avril 2009)

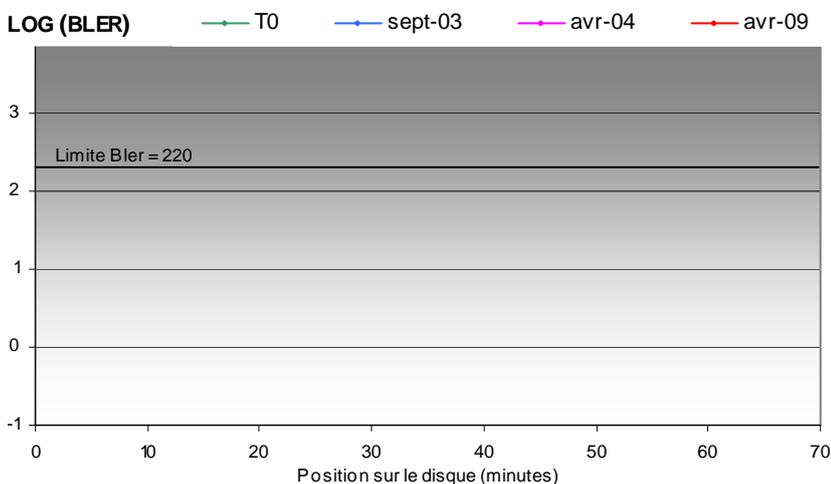
ANALYSEUR AudioDev CATS SA300 – Lecture 1x



ANALYSEUR CDA 2000 – Lecture 24x



ANALYSEUR Clover DVX – Lecture 24x



ANNEXE 2

Valeurs des taux d'erreurs numériques pour chaque disque

- **BLER moyen sur la totalité du disque**
- **BLER max (1 minute) sur le disque**
- **Somme E22 sur la totalité du disque**
- **Somme E32 sur la totalité du disque**

(valeurs du Logarithme décimal)

Log (BLER moyen)

CD-R	N°	Id LNE	Analyse initiale (T0)		Septembre 2003		Avril 2004		Avril 2009		
			CATS	CDA2000	CATS	CDA2000	CATS	CDA2000	CATS	DaTARIUS	Clover
1	1	F		0,70	2,54	1,28	2,55	1,30	2,57	2,12	1,03
2	2	G		0,52	1,71	0,86		1,02	1,92	0,66	0,66
3	3	F		0,32	1,25	0,94		0,75	0,99	0,53	0,27
4	4	D		1,01	0,84		0,84	1,24	0,87	0,88	0,86
5	5	Hp8		0,53	0,09	0,88	0,17	1,07	0,05	-0,14	-0,23
6	6	F		0,27	0,27	0,46	0,39	0,46	0,68	0,46	0,26
7	7	F		0,55	0,37	0,60	0,39	0,66	0,53	0,75	0,36
8	8	E		0,51	0,24	0,81	0,25	0,90	0,36	0,38	0,17
9	8	G		0,60	0,52	0,73		0,69	0,66	0,80	0,55
10	9	G		0,43	0,98	1,31	1,00	1,28	1,34	0,09	0,28
11	9	I		-0,21	0,39	0,20	0,37	-0,01	0,69	0,82	-0,47
12	10	D		0,68	1,76	1,27		1,17	1,47	0,62	0,53
13	10	Hp8		0,96	0,68	1,21	0,69	1,16	0,62	0,36	0,50
14	11	R	0,02	0,12	0,06	0,38	-0,09	1,17	3,18	3,23	3,23
15	12	Q	0,25	0,60	0,23	2,17	0,24	0,41	0,31	0,14	0,14
16	12	R	0,15	0,44	0,18	0,15	0,21	0,16	0,40	0,93	-0,01
17	12	Ph24	0,66	1,05	0,60	0,60	0,50	0,72	0,71	0,53	-0,13
18	13	Q	0,44	1,08	0,39	1,54	0,50	1,63	0,90	0,63	0,34
19	13	R	0,39	1,20	0,79	0,92		1,09	0,80	1,32	0,10
20	14	R	0,71	0,11	0,94	0,58	0,93	0,35	2,18	2,46	2,31
21	14	io24		0,26	1,92	1,94		2,10	2,58	2,71	2,52
22	15	V		0,77	0,63	0,70		0,70	1,12	0,39	0,21
23	16	V	0,20	1,10	0,18	1,58		1,33	2,41	2,48	2,26
24	17	U	0,65	1,45					0,90	0,45	
25	18	U	0,60	1,18	0,61	1,21		1,18	0,72	0,70	0,61
26	19	V	0,59	0,64	1,11	1,66		1,81	1,50	1,42	0,54
27	20	G	2,10	0,84	2,34	1,25		1,29	2,55	2,40	1,48
28	21	sy32	0,91	1,01	0,87	1,01	0,86	1,02	0,88	1,64	0,63
29	21	Q	0,85	1,04	0,81	1,03	0,81	1,02	0,77	1,11	0,70
30	22	Q	0,51	0,87	0,53	0,89	0,53	0,61	0,62	0,60	0,47
31	23	Q	-0,09	0,65	-0,13	0,60		0,75	0,30	0,41	-0,25
32	23	R	1,20	0,80	1,46	0,73		0,95	1,61	1,54	0,54
33	23	S	0,25	0,50	0,54	0,45	0,54	0,57	0,76	1,45	-0,21
34	24	Q	0,41	0,50	1,96	2,04		2,05	2,28	2,35	2,17
35	24	R	1,12	0,60	2,13	2,30		2,31	2,50	2,74	2,22
36	24	S	0,58	0,52	1,88	2,29	1,85	2,30	2,13	2,81	1,94
37	25	D		0,49	3,15	3,09		3,09	3,11	3,14	3,08
38	26	D		0,41	2,34	2,25		2,24	2,30	2,50	2,27
39	26	hp8		0,79	2,61	2,59	2,60	2,59	2,61	2,74	2,48
40	27	hp8		0,30	-0,23	0,61	-0,22	0,68	0,36	0,03	-0,01
41	28	hp8		0,47	0,46	1,02	0,46	0,97	1,17	1,29	0,97
42	29	hp8		0,54	0,53	1,23	0,55	1,10	0,67	0,85	0,57
43	30	gPC		-0,28	-0,50	0,39		0,14	0,31	-0,12	-0,71
44	31	R		0,08	0,97	0,10		0,13	1,14	0,58	-0,05
45	32	Q		1,54	1,41			1,55	1,37	1,44	1,32
46	33	gPC		0,87	0,72	0,89		0,99	0,82	0,98	0,43
47	34	gPC		-0,63	-0,60	-0,32		-0,23	0,38	-0,19	-0,55
48	35	D		-0,45	-0,58	0,16	-0,57	0,39	-0,26	0,25	-0,70
49	35	hp8		-0,76	-0,90	-0,16		-0,14	-0,51	-0,31	-0,85
50	36	D		-0,06	0,05	0,66	0,13	0,75	0,42	1,29	-0,04
51	36	hp8		0,86	0,05	0,65		0,56	0,14	0,40	-0,12
52	37	hp8		0,38	0,32	0,42	0,33	0,43	0,38	0,43	0,22
53	38	hp8		1,06	0,62	1,02		0,96	0,64	0,73	0,57
54	39	hp8		0,62	0,47	0,12		0,21	0,71	0,02	-0,28
55	40	hp8		0,91	0,42	0,68	0,44	0,78	0,37	0,58	0,52
56	41	G		0,53	0,42	0,56		0,56	0,41	0,52	0,33
57	42	I		0,22	-0,09	-0,03	-0,06	0,00	0,21	0,10	-0,28
58	43	G		0,10	0,11	0,21		0,22	0,47	0,12	-0,23
59	44	I		0,31	0,16	0,33		0,35	0,44	0,44	0,07
60	45	K		0,91	0,93	0,88		0,87	0,88	1,11	0,67
61	50	R	0,22	0,41	0,10	0,02		0,13	0,39	1,10	-0,23
62	51	R	0,78	1,65	0,73	0,93	0,69	1,47	1,05	1,66	0,85
63	52	AA	0,52	0,56	0,53	0,56	0,52	0,56	0,61	0,50	0,39
64	53	S	1,45	0,54	1,70	0,52		0,51	1,71	1,69	0,37
65	56	V	0,24	0,33	0,15	0,28	0,14	0,85	0,52	0,82	0,42
66	58	V	0,17	0,29	0,04	0,30	0,06	0,37	0,23	0,09	-0,38
67	59	V	0,26	0,43	0,26	0,47		0,52	0,46	0,31	0,16
68	60	hp8		0,78	-0,18	1,05	-0,09	1,45	-0,06	-0,29	-0,41
69	25	hp8		0,27		3,07	3,17	2,96			

	Bler moyen supérieur à 220
	Bler moyen compris entre 50 et 220
	Mesure non effectuée

Log (BLER max, 1minute)

N°	CD-R Id.LNE	Analyse initiale (T0)		Septembre 2003		Avril 2004		Avril 2009		
		CATS	CDA2000	CATS	CDA2000	CATS	CDA2000	CATS	DaTARIUS	Clover
1	1 F		1,28	2,72	1,72	2,70	1,78	2,72	2,41	1,26
2	2 G		1,05	2,11	1,30		1,51	2,16	1,48	1,48
3	3 F		1,33	1,76	1,59		1,45	1,42	1,49	1,05
4	4 D		1,57	1,25		1,25	1,85	1,24	1,53	1,50
5	5 Hp8		1,23	0,52	1,53	0,52	1,73	0,51	0,40	0,35
6	6 F		0,55	0,56	0,96	1,47	0,89	0,80	1,26	1,16
7	7 F		1,22	0,59	1,18	0,62	1,31	0,75	1,18	0,62
8	8 E		1,57	0,40	1,86	0,39	1,98	0,51	0,76	0,35
9	8 G		0,93	0,71	1,28		1,35	1,16	1,49	1,38
10	9 G		1,27	1,24	1,85	1,23	1,77	1,52	0,60	1,08
11	9 I		0,71	0,67	1,18	0,65	1,00	0,93	1,03	0,25
12	10 D		1,30	1,88	2,07		2,14	1,61	1,04	1,02
13	10 Hp8		2,49	2,20	2,54	2,23	2,53	2,08	1,31	1,90
14	11 R	1,06	1,30	1,35	1,17	0,73	2,35	3,73	3,75	3,74
15	12 Q	0,85	1,72	0,85	1,16	0,84	0,97	0,86	0,51	0,52
16	12 R	0,67	1,63	0,64	0,75	0,64	0,80	0,76	2,21	0,57
17	12 Ph24	1,23	2,30	1,12	1,76	1,09	1,85	1,29	1,99	0,27
18	13 Q	0,89	1,92	0,86	2,15	0,90	2,25	1,16	1,02	0,81
19	13 R	1,01	2,45	0,95	1,79		1,92	1,01	1,60	0,94
20	14 R	1,23	0,67	1,38	1,31	1,23	1,13	3,46	3,61	3,56
21	14 io24		1,04	3,38	3,42		3,69	3,84	3,85	3,72
22	15 V		1,54	0,99	1,34		1,34	1,27	0,80	0,50
23	16 V	0,73	1,68	0,76	2,17		1,95	3,49	3,53	3,36
24	17 U	1,25	2,02						1,22	0,78
25	18 U	0,93	1,63	1,00	1,72		1,66	1,07	1,06	1,08
26	19 V	1,22	1,15	1,75	1,98		2,20	1,67	1,70	0,93
27	20 G	2,35	1,36	2,60	1,67		1,70	2,67	2,94	2,37
28	21 sy32	1,47	1,33	1,20	1,46	1,30	1,33	1,16	2,23	1,00
29	21 Q	1,24	1,37	1,21	1,34	1,23	1,34	1,18	1,41	1,07
30	22 Q	0,75	1,72	0,70	1,81	0,70	0,87	0,77	0,85	0,73
31	23 Q	0,52	1,65	0,49	1,24		1,63	0,73	0,98	0,21
32	23 R	1,47	1,67	1,72	0,98		1,90	1,73	2,02	0,77
33	23 S	0,71	1,78	1,07	1,20	1,00	1,51	1,22	2,29	0,24
34	24 Q	0,92	1,07	2,84	2,90		2,88	3,07	2,98	2,88
35	24 R	1,71	1,27	2,81	3,04		3,04	3,06	3,09	2,98
36	24 S	0,98	1,24	2,86	2,93	2,79	2,94	3,06	3,28	2,89
37	25 D		1,10	3,53	3,55		3,55	3,51	3,52	3,46
38	26 D		1,30	3,06	3,00		3,00	3,02	3,25	3,01
39	26 hp8		1,29	3,34	3,30	3,33	3,33	3,31	3,45	3,22
40	27 hp8		1,38	0,18	1,08	0,19	1,33	0,70	0,37	0,54
41	28 hp8		0,99	1,04	1,38	1,05	1,35	2,25	2,38	2,09
42	29 hp8		0,91	1,08	1,86	0,95	1,71	1,10	1,75	1,74
43	30 gPC		0,53	0,23	1,19		0,92	0,57	0,27	0,16
44	31 R		0,49	1,27	0,50		0,51	1,35	1,07	0,53
45	32 Q		1,91	1,78			1,96	1,73	1,80	1,77
46	33 gPC		1,17	0,93	1,22		1,50	1,03	1,21	0,71
47	34 gPC		0,16	0,18	0,33		0,38	0,66	0,51	0,18
48	35 D		0,91	0,68	1,26	0,62	1,57	0,79	0,65	-0,01
49	35 hp8		-0,34	-0,37	0,33		0,39	-0,24	0,26	-0,08
50	36 D		0,73	0,87	1,25	0,92	1,30	1,15	1,66	1,07
51	36 hp8		1,13	1,34	1,32		1,49	1,00	1,39	1,04
52	37 hp8		0,89	0,83	0,89	0,84	0,90	0,86	0,92	0,71
53	38 hp8		1,82	1,18	1,64		1,71	1,19	1,17	1,08
54	39 hp8		1,42	0,87	0,96		0,81	0,94	0,71	0,44
55	40 hp8		1,65	1,04	1,23	1,07	1,40	0,96	1,20	1,17
56	41 G		0,86	0,67	1,01		0,96	0,66	0,80	0,66
57	42 I		0,95	0,15	0,36	0,17	0,36	0,39	0,37	0,01
58	43 G		0,50	0,50	0,56		0,64	0,79	0,54	0,23
59	44 I		0,93	0,57	1,05		0,74	0,64	0,71	0,51
60	45 K		1,26	2,10	1,25		1,13	1,13	1,36	1,06
61	50 R	0,52	1,60	0,49	0,69		0,86	1,04	1,81	0,80
62	51 R	1,20	1,97	1,12	1,68	0,91	2,52	1,52	1,88	1,03
63	52 AA	1,03	1,16	1,01	1,15	0,92	1,15	1,08	0,90	0,68
64	53 S	2,13	1,01	2,31	1,02		1,02	2,08	2,53	0,84
65	56 V	1,33	0,92	0,47	0,75	0,51	1,54	1,53	2,13	1,64
66	58 V	0,77	1,44	0,66	1,21	0,67	1,50	0,65	0,84	0,32
67	59 V	0,89	0,97	0,83	1,05		1,32	0,89	0,88	0,93
68	60 hp8		1,56	0,38	1,79	0,38	2,16	0,97	0,44	0,41
69	25 hp8		0,75		3,66	3,71	3,66			

	Bler max supérieur à 220
	Mesure non effectuée

Log (Somme E22)

N°	CD-R Id LNE	Analyse initiale (T0)		Septembre 2003		Avril 2004		Avril 2009		
		CATS	CDA2000	CATS	CDA2000	CATS	CDA2000	CATS	DaTARIUS	Clover
1	1 F		0,43		0,82	0,30	0,99	0,30	1,79	
2	2 G			2,36	-0,18		1,07			
3	3 F		2,71	1,60	2,86		2,80	1,54	3,08	0,70
4	4 D		2,46	2,00		2,16	2,61	1,64	0,00	1,20
5	5 Hp8						0,73			
6	6 F					3,26				
7	7 F									
8	8 E									
9	8 G				2,29		3,59	0,60	4,22	3,82
10	9 G		0,52		-0,48					
11	9 I				2,62		1,92			
12	10 D		1,31				0,52			
13	10 Hp8		1,86	1,40	1,63	1,48	1,66	1,08		1,86
14	11 R		2,27	3,30	2,29	1,89	2,26	3,92	4,84	4,80
15	12 Q									
16	12 R		2,04	1,36	1,76	1,36	1,78	1,36	4,01	
17	12 Ph24		2,03	2,68	1,16	1,45	1,36	2,01	3,37	
18	13 Q		0,73	0,70	0,70		3,82	0,85		
19	13 R		2,26		0,00		0,12		0,85	
20	14 R		2,04	2,22	1,95	2,35	1,88	2,97	4,12	3,99
21	14 io24			2,78	2,48		2,57	3,04	4,03	3,78
22	15 V			2,44						
23	16 V		0,88	1,11	1,73		3,50	3,10	4,10	3,92
24	17 U		1,19						0,48	1,36
25	18 U		1,70	1,23	2,15		1,98	1,30	1,43	1,88
26	19 V			1,64			-0,48	0,85	1,20	0,90
27	20 G			1,38				1,34	2,83	1,48
28	21 sy32			2,50	0,12	2,76		1,59		
29	21 Q									
30	22 Q				0,82					
31	23 Q									
32	23 R		0,97				0,30			
33	23 S		0,75				-0,48		0,60	
34	24 Q		1,48		1,45		1,42		1,46	1,08
35	24 R		2,68	2,79	2,65		2,68	2,67	3,02	2,48
36	24 S		1,07	1,04	1,48	0,90	1,53	0,30	3,98	1,85
37	25 D			3,85	3,44		3,44	3,82	4,85	4,76
38	26 D		2,70	3,85	2,98		2,86	3,91	3,81	3,07
39	26 hp8		0,64	2,85	2,77	2,76	2,86	2,69	4,53	4,17
40	27 hp8						0,87			
41	28 hp8		1,15		1,34		1,32		1,57	1,36
42	29 hp8		1,19		0,75		1,84		3,50	3,00
43	30 gPC							1,63		
44	31 R		2,06	1,70	2,02		2,16	1,70	1,38	
45	32 Q									0,70
46	33 gPC		0,22	1,32	0,99		0,56	1,81		
47	34 gPC			1,64			0,37	1,63		
48	35 D		1,18		1,57		2,27	0,70		
49	35 hp8									
50	36 D				0,43		0,48			
51	36 hp8		1,08	3,28	3,26		4,28	2,21	3,76	3,10
52	37 hp8						0,12			
53	38 hp8				0,64					
54	39 hp8									
55	40 hp8		1,25	1,45	0,48	0,78	0,99		2,14	2,51
56	41 G				1,50		1,33			
57	42 I									
58	43 G									
59	44 I				2,11					
60	45 K		0,37		0,43		0,43	0,30		
61	50 R						0,99	1,75	1,56	
62	51 R		2,97	2,28	0,82	1,61	2,86	1,54	0,90	
63	52 AA		1,15	2,14	1,96	1,56	2,01		1,34	1,97
64	53 S			3,74				3,33	1,04	1,18
65	56 V									
66	58 V				0,43		0,12			
67	59 V									
68	60 hp8						-0,18	3,00		
69	25 hp8		1,16		3,47	3,86	3,23			

	Nombre total de E22 supérieur à 1000
	Nombre total de E22 compris entre 100 et 1000
	Mesure non effectuée

Log (Somme E32)

N°	CD-R Id LNE	Analyse initiale (T0)		Septembre 2003		Avril 2004		Avril 2009		
		CATS	CDA2000	CATS	CDA2000	CATS	CDA2000	CATS	DaTARIUS	Clover
1	1 F								1,38	
2	2 G									
3	3 F								1,83	
4	4 D									
5	5 Hp8									
6	6 F									
7	7 F									
8	8 E									
9	8 G								2,58	
10	9 G									
11	9 I									
12	10 D									
13	10 Hp8		-0,48	2,10	-0,48	2,14	-0,48	1,63		0,30
14	11 R		0,95	2,28	1,10	2,41	1,39	5,50	4,65	5,66
15	12 Q									
16	12 R		0,64	1,94	-0,18	1,94		1,94	3,81	
17	12 Ph24		-0,18	1,83			-0,48	1,98	3,03	
18	13 Q						-0,48			
19	13 R		0,00		-0,18				0,48	
20	14 R		1,37	2,47	1,51	2,64	1,39	5,01	3,91	5,39
21	14 io24			4,13	-0,48		0,12	5,90	3,85	5,93
22	15 V			1,97						
23	16 V							5,26	3,91	5,15
24	17 U									
25	18 U				-0,18		-0,48			
26	19 V									
27	20 G								2,71	
28	21 sy32			2,57		2,96		2,49		
29	21 Q									
30	22 Q									
31	23 Q									
32	23 R		-0,48							
33	23 S								0,78	
34	24 Q								0,95	
35	24 R			1,93				1,93	2,67	
36	24 S								3,78	0,85
37	25 D			5,77	0,67		0,60	5,67	4,66	5,70
38	26 D			0,60				0,48	3,62	
39	26 hp8			2,31	-0,48	2,20	0,12	2,08	4,36	2,11
40	27 hp8									
41	28 hp8								1,58	
42	29 hp8						0,78		3,24	3,88
43	30 gPC							2,26		
44	31 R		1,32	2,24	-0,48		0,82	2,24		
45	32 Q									
46	33 gPC			1,95				2,43		
47	34 gPC			2,26				2,26		
48	35 D						0,00			
49	35 hp8									
50	36 D									
51	36 hp8						1,17		1,41	
52	37 hp8									
53	38 hp8									
54	39 hp8									
55	40 hp8			1,00					0,90	
56	41 G									
57	42 I									
58	43 G									
59	44 I									
60	45 K			3,89						
61	50 R							0,78	1,45	
62	51 R		1,31				1,07	1,54		
63	52 AA			2,02	0,60		0,80			
64	53 S			4,28				3,61	0,60	
65	56 V									
66	58 V									
67	59 V									
68	60 hp8									
69	25 hp8				0,85	5,88	0,75			

	Nombre total de E32 supérieur à 100
	Nombre total de E32 compris entre 10 et 100
	Mesure non effectuée