



Fiabilité des diodes électroluminescentes

INTRODUCTION

La technologie des afficheurs à diodes électroluminescentes présente de nombreuses caractéristiques intéressantes, parmi lesquelles la possibilité d'afficher des informations en rouge, en jaune, en vert ou en combinant ces couleurs, la réalisation de dispositifs hautes performances lisibles en lumière solaire directe, et le réglage de l'intensité variable en continu. Toutefois, l'une des raisons les plus courantes d'application d'un afficheur à DEL est le haut niveau de fiabilité de cet afficheur. Hewlett-Packard a acquis une place de choix dans l'établissement de normes de fiabilité pour les afficheurs à DEL, et la publication de documents relatifs aux performances de fiabilité.

Les données de fiabilité sont indispensables au choix d'un boîtier et à l'optimisation des performances de ce dispo-

sitif. La présente note d'applications explique comment utiliser les fiches de fiabilité publiées pour les afficheurs et indicateurs à DEL Hewlett-Packard.

La note commence par la description des boîtiers afficheurs et indicateurs à DEL. Elle définit et explique les pannes de ces dispositifs et présente les paramètres affectant la durée de vie utile, le taux de panne, et les performances obtenues par des tests mécaniques. On calculera, à titre d'exemple la fiabilité d'un système d'afficheurs à DEL.

Afficheurs et indicateurs HP

Hewlett-Packard offre un large éventail de composants pour indicateurs et afficheurs. Parmi les indicateurs, on trouve des DEL, des barrettes lumineuses et des échelles analogiques lumineuses. Les afficheurs comprennent des dispositifs numériques et alphanumériques.

La construction et le boîtier de la plupart des dispositifs à DEL sont similaires. Les DEL T-1 3/4, T-1, rectangulaires et subminiatures sont encapsulées sous boîtier époxy. La figure 1 représente les caractéristiques de construction de la DEL T-1 3/4. Les DEL hermétiques sont des dispositifs à entrefer, montés dans un boîtier TO-46.

Les grands afficheurs numériques sept segments, barrettes lumineuses et échelles analogiques lumineuses s'appellent des boîtiers à segments dilatés. Ces dispositifs sont fabri-

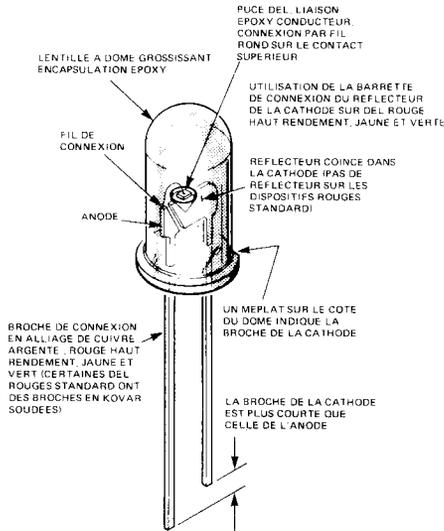


FIGURE 1 — Caractéristiques de construction de la DEL T-1 3/4 en plastique

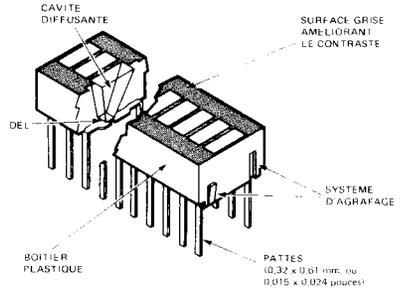


FIGURE 2 — Echelle lumineuse de dix éléments (vue en coupe)

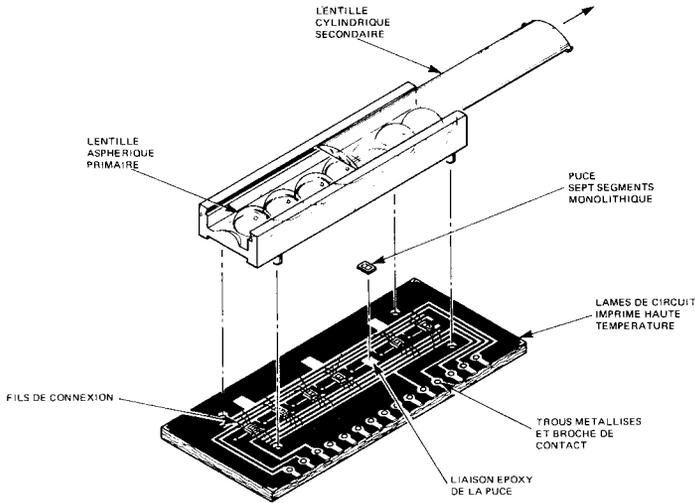


FIGURE 3 — Construction mécanique d'un afficheur monolithique monté sur une carte de circuit imprimé avec une lentille non immersive.

qués sur la base d'un concept d'étalement de la lumière en provenance d'une DEL, par diffusion et réflexion. Les puces de DEL sont supportées mécaniquement, et électriquement reliées par une barrette de connexion. Le boîtier en plastique appelé « scrambler » (alvéole) contient des cavités réfléchissantes jouant le rôle de conduits lumineux. Ces cavités sont remplies d'époxyde chargé de diffusant, afin d'assurer une illumination uniforme au niveau de la surface d'émission. La figure 2 illustre la construction d'une échelle analogique lumineuse.

Les afficheurs monolithiques comprennent des échelles analogiques et lumineuses, des dispositifs numériques et

alphanumériques. Les segments électroluminescents individuels sont constitués par la diffusion de jonctions DEL séparées en une seule puce. Dans la plupart des cas, l'afficheur monolithique est grossi par une lentille externe. Les afficheurs monolithiques peuvent être classés en deux catégories de base, selon que la lentille est de type immersif ou non. Les lentilles à immersion sont constituées par le moulage d'une lentille époxy directement au-dessus de la puce DEL. Les lentilles non immersives comportent une couche d'air entre la puce de la DEL et la lentille d'époxy moulée séparément. Les caractéristiques de construction d'un afficheur monolithique avec une lentille non immersive vous sont présentées à la figure 3.

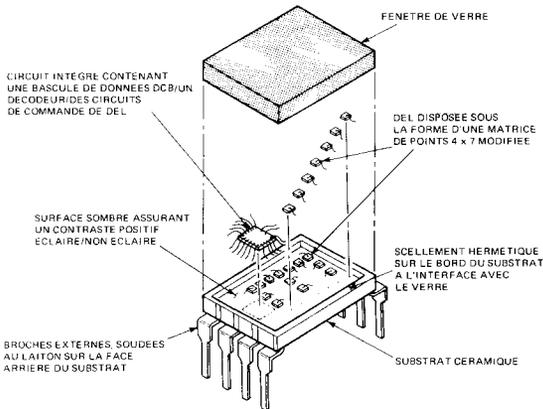


FIGURE 4 — Caractéristiques de construction d'un afficheur à DEL hermétique OBIC (à circuit intégré sur la carte)

Les afficheurs numériques à matrices de points Hewlett-Packard comportent une matrice de points modifiée de 4 x 7. Celle-ci permet d'obtenir à la fois des dispositifs numériques décimaux et hexadécimaux. Ces dispositifs comprennent un circuit intégré sur la carte (OBIC) qui fonctionne à la manière d'un ensemble/bascule/décodeur/circuits de

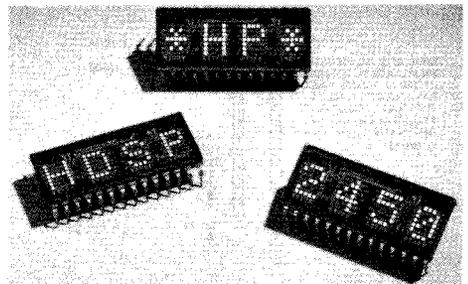


FIGURE 5 — Série HDSP-2450 d'afficheurs alphanumériques 5 x 7 hermétiques, à gamme de température étendue

commande. La figure 4 représente les caractéristiques de construction d'un dispositif numérique hermétique à matrice de points. Outre le boîtier hermétique, des boîtiers encapsulés sous époxy et scellés epoxy sont disponibles pour les afficheurs numériques à matrices de points.

L'afficheur alphanumérique à matrices de points a été conçu par Hewlett-Packard pour permettre d'obtenir un sous-système d'affichage d'informations haute résolution. Chacun des caractères du boîtier constitué de quatre caractères, se compose d'un ensemble 5 x 7 de DEL qui peut afficher une gamme complète de caractères alphanumériques et autres symboles (voir figure 5). Les afficheurs alphanumériques à matrices de points Hewlett-Packard assurent le stockage sur la carte des données décodées, plus des circuits de commande à courant constant, pour chacune des 28 lignes de l'affichage à quatre caractères. Ces boîtiers hermétiques et scellés époxy ont des caractéristiques de construction similaires à celles des dispositifs numériques à matrices de points.

CARACTERISTIQUES DU TAUX DE PANNE DES DEL

On définit la panne comme l'incapacité pour un dispositif d'assurer les fonctions pour lesquelles il est prévu. Il est essentiel de comprendre la manière dont les afficheurs à DEL tombent en panne, pour améliorer la fiabilité de ces afficheurs ainsi que celle des systèmes dans lesquels on les utilise.

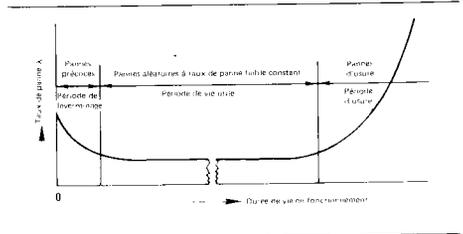


FIGURE 6 — Courbe du taux de panne typique

Les dispositifs à DEL présentent des pannes de deux types : paramétriques ou catastrophiques. Une panne paramétrique se produit lorsque le dispositif n'est pas conforme aux spécifications optiques ou électriques prévues par la fiche technique. Une panne paramétrique n'entraînera généralement pas de panne de l'afficheur, avec des circuits de commande typiques. Un exemple de panne paramétrique est la dégradation de l'intensité, présentée dans la suite de cette note d'applications.

Les pannes catastrophiques se définissent comme des paramètres dépassant les limites de la fiche de données, à un degré susceptible de causer la défaillance de l'afficheur. Dans le cas des DEL, des afficheurs à segments et des afficheurs monolithiques, les pannes catastrophiques ont pour résultat des DEL faiblement ou pas du tout éclairées. Dans

Dispositif	Description	Conditions de mesure (1)	Unités testées	Total d'heures	Pannes	Taux de panne ponctuel % par 1000 h (2)	Taux de panne, sûr à 90 % % par 1000 h (2)
HLMP-3750	DEL	$T_A = 55^\circ\text{C}$ $I_F = \text{Max.}$	16 270	17 275 630	1	0,006	0,023
HDSP-4830	Echelle analogique lumineuse de 10 éléments	$T_A = 55^\circ\text{C}$ $I_F = \text{Max.}$ Tous les segments allumés	410	2 080 856	0	0,048	0,111
HDSP-6508	Afficheur alphanumérique monolithique de 8 caractères	$T_A = 55^\circ\text{C}$ $I_F = \text{Max.}$ $P_{\text{moy.}} = \frac{123 \text{ mW}}{\text{Car.}}$	223	884 000	0	0,113	0,260
4N51	Afficheur numérique à matrices de points	$T_A = 100^\circ\text{C}$ cycle numérique $V_{CC} = 5 \text{ V}$	576	806 000	0	0,124	0,285
HDSP-2000	Afficheur alphanumérique à matrices de points de 4 caractères	$T_A = 70^\circ\text{C}$ $V_{CC} = V_B = 5,25 \text{ V}$ $V_{\text{col}} = 3,5 \text{ V}$ $P_{\text{moy.}} = \frac{210 \text{ mW}}{\text{Car.}}$	360	870 000	3	0,345	0,768

NOTES :

- T_A est la température ambiante au cours des tests, I_F est le courant direct moyen par DEL, V_{CC} est la tension d'alimentation, 5,25 V est la tension d'entrée maximale recommandée à l'effacement, V_B , 3,5 V est la tension maximale recommandée par colonne, V_{col} .
- Taux de panne par dispositif.

FIGURE 7 — Taux de panne pendant la vie utile de la DEL

le cas d'une DEL faiblement ou non éclairée, la cause de la panne peut être un fil de connexion défectueux, une puce DEL mal fixée, ou une DEL fendue ou ébréchée. Dans le cas d'un afficheur à matrices de points, le mécanisme de panne comprend également la panne du circuit intégré, résultant d'une matrice incorrecte ou de lignes d'entrée/sortie ne répondant pas aux spécifications électriques.

On peut définir le taux de panne comme le pourcentage de pannes d'un dispositif par le temps unitaire de fonctionnement. Le temps moyen entre pannes, ou MTBF est simplement la réciproque du taux de panne exprimée en heures. La durée de vie d'un afficheur à DEL en fonctionnement peut être divisée en trois périodes, dont chacune a un taux de panne caractéristique. la figure 6 montre la période de déverminage, de vie utile, et d'usure du dispositif. Durant la période de déverminage ou période de mortalité infantile, le taux de panne diminue car les composants « faibles » sont éliminés.

Durant la période de vie utile qui suit, les pannes se produisent à un taux faible constant. Les pannes qui interviennent sont réellement aléatoires, et ne peuvent être évitées par des tests ou un déverminage supplémentaire des composants. La figure 7 montre le taux de panne représentatif durant la vie utile des DEL, afficheurs à segments, monolithiques, numériques à matrices de points et alphanumériques à matrices de points. Le format de la figure 7 est identique à celui du paragraphe « Tests de durée de vie » qui apparaît dans les fiches de données de fiabilité Hewlett-Packard. Les conditions de test représentent l'effort maximal tolérable pour obtenir le taux de panne dans le cas le plus défavorable. Le total des heures de tests est le produit des unités testées multiplié par les heures de test par unité. Le taux de panne ponctuel est simplement le taux de panne divisé par le total d'heures des dispositifs. Les unités du taux de panne sont le pourcentage de panne par 1000 heures de fonctionnement. Si aucune panne ne se produit pendant les tests, le taux de panne ponctuel sera calculé sur l'hypothèse d'une seule panne.

Les fiches de données de fiabilité spécifient un taux de panne sûr à 90 %, outre le taux de panne ponctuel. Les afficheurs à DEL, à l'instar d'autres dispositifs à semi-conducteurs, présentent des taux de panne extrêmement bas au cours de leur vie utile. En résultat, on n'a constaté que peu de pannes de dispositifs au cours des tests de fiabilité. Les statistiques nous indiquent que plus on peut générer de pannes de dispositifs au cours des tests de fiabilité, plus le taux de panne expérimental est proche du taux de panne moyen réel des dispositifs. Par exemple, si l'on ne produit aucune panne au cours des tests de fiabilité, il se peut que le taux de panne réel soit très différent du taux de panne ponctuel. Le taux de panne sûr à 90 % indique qu'il existe une probabilité de 90 % que le taux de panne réel d'un dispositif soit meilleur que celui indiqué.

Par conséquent, le taux de panne sûr à 90 % permet d'accorder plus de confiance aux calculs de fiabilité qu'au taux de panne ponctuel. Le taux de panne sûr à 90 % est fondé sur les statistiques de la distribution des pannes. La distribution supposée des pannes est une exponentielle en fonction du temps. Cette distribution est couramment utilisée lorsque l'on décrit les pannes se produisant durant la vie utile de dispositifs à DEL, et autres composants à semi-conducteurs.

La figure 7 illustre la relation entre le taux de panne, la conception du boîtier et sa complexité. Parmi les dispositifs encapsulés sous époxy, les échelles analogiques lumineuses de dix éléments présentent un taux de panne ponctuel dont l'ordre de grandeur est supérieur à celui des DEL. Toutefois, l'échelle analogique lumineuse de dix éléments HDSP-4830 comporte dix fois plus de puces de DEL que le dispositif HLMP-3750. Le boîtier HDSP-6508 de huit caractères a un taux de panne comparable à celui du boîtier HDSP-4830 encapsulé sous époxy, quoique le HDSP-6508 possède 144 fils de connexion, tandis que le HDSP-4830 n'en possède que 10. La construction des afficheurs 4N51 et HDSP-2000 permet d'obtenir un taux de panne impressionnant pendant la vie utile, avec un nombre relativement important de puces de DEL par caractère. Noter que le 4N51 est un dispositif à un seul caractère, alors que le HDSP-2000 est un boîtier à 4 caractères.

PREDICTION DU TAUX DE PANNE

Pour obtenir un taux de panne durant la vie utile en relativement peu de temps, on applique une contrainte supérieure à la normale à une quantité échantillon de dispositifs, connue pour représenter l'ensemble des dispositifs. C'est ce qu'on appelle un test de vie accéléré. Le facteur de contrainte le plus courant utilisé est la température. La prédiction du taux de panne est l'estimation du taux de panne en température de fonctionnement normale, sur la base du taux de panne en température de fonctionnement maximale.

Le modèle d'Arrhénius est une expression mathématique prouvée expérimentalement pour prédire le taux de panne. Ce modèle inclut l'effet de la température et de l'énergie d'activation d'un mécanisme de panne, ce qui permet de l'utiliser pour prédire le taux de panne à une température de fonctionnement normale sur la base des tests effectués à une température au-delà de la normale, à la jonction des dispositifs :

$$\lambda_1 = \lambda_2 e^{-\frac{E}{K} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)}$$

où λ_1 = taux de panne à la température T_1 de la jonction
 λ_2 = taux de panne à la température T_2 de la jonction
 T = température de la jonction en °K
 E = énergie d'activation thermique en électrons Volts (eV)

K = constante de Boltzman ($8,617 \times 10^{-5}$ eV/°K)

Nota : 1 °K = 1 °C + 273

L'application du modèle d'Arrhénius exige le calcul de la température à la jonction du dispositif, tant pour le test de fiabilité que pour les conditions de fonctionnement réelles sur le site. La température de jonction de la DEL est fonction de la température ambiante, de la puissance dissipée à la jonction et de la résistance thermique :

$$T = T_A + P_D (R\theta_{J-A})$$

où T = température de jonction de la DEL en °C

T_A = température ambiante en °C

P_D = puissance dissipée à la jonction de la DEL, en watts

$R\theta_{J-A}$ = résistance thermique jonction/température ambiante en °C par watt.

L'énergie d'activation est une constante qui définit la dépendance du taux de panne par rapport à la température de jonction, pour un mécanisme de panne. Il existe plusieurs mécanismes de panne pour les afficheurs et afficheurs à DEL. La prédiction du taux de panne sur les fiches de données de fiabilité Hewlett-Packard est prudemment basée sur un mécanisme de panne avec une petite énergie d'activation. L'utilisation de la plus petite énergie d'activation pour la prédiction du taux de panne permet d'obtenir les taux de panne les plus importants, quelle que soit la température de jonction, au dessous des conditions testées. Les mécanismes de panne d'interconnexion, tels que des fils de connexion défectueux, présentent la plus petite énergie

petite énergie d'activation des mécanismes de panne sur des DEL typiques. MIL-HBDK-217C spécifie une énergie d'activation de 0,43 eV pour les mécanismes de panne d'interconnexion en microélectronique hybride. On utilise une énergie de 0,43 eV pour la probabilité de panne dans les fiches de données de fiabilité Hewlett-Packard relatives aux indicateurs et aux afficheurs.

La figure 8 montre qu'on peut réaliser l'amélioration du taux de panne et du MTBF prévue en réduisant la température de jonction pour la série d'afficheurs 4N51. Le taux de panne et le MTBF sont améliorés d'un facteur 10, lorsqu'on réduit la température ambiante de 100 °C à 30 °C.

Température ambiante — °C	Température à la jonction — °C	Ponctuel	
		MTBF-Heures	Taux de panne/ Mille heures de fonctionnement
100	130	806 000	0,124 %
90	120	1 108 000	0,090 %
80	110	1 549 000	0,065 %
70	100	2 205 000	0,045 %
60	90	3 200 000	0,031 %
50	80	4 745 000	0,021 %
40	70	7 199 000	0,014 %
30	60	11 201 000	0 009 %

FIGURE 8 — Prédiction du taux de panne pour des afficheurs numériques à DEL et à matrices de points

La diminution du produit puissance dissipée par résistance thermique, peut affecter la fiabilité, tout comme la diminution de la température ambiante. L'effacement de l'afficheur, à chaque fois que c'est possible, peut réduire de manière significative la température de jonction. La résistance thermique jonction/température ambiante est la somme de la résistance thermique jonction/boîtier plus boîtier/température ambiante. La résistance thermique jonction/boîtier est définie par la conception du boîtier de l'afficheur, et spécifiée sur la fiche de données du dispositif. Toutefois, le concepteur du système d'afficheur peut contrôler la résistance thermique boîtier/température ambiante. Dans le cas de dispositifs tels que des DEL, des afficheurs à segments et des dispositifs monolithiques, le chemin thermique primaire à partir de la jonction de la DEL passe par les broches de la cathode du dispositif. On peut réduire la résistance thermique de ces dispositifs en élargissant au maximum la bande métallique rejoignant la branche de la cathode, sur la carte de circuit imprimé. Le refroidissement du substrat des dispositifs à matrices de points est une technique permettant d'améliorer leur fiabilité.

FIABILITE D'UN SYSTEME D'AFFICHAGE

La fiabilité est définie comme la probabilité pour un dispositif d'assurer les fonctions pour lequel il est prévu, pendant une période de temps spécifique, et dans des conditions données. Lorsque le taux de panne reste constant, comme dans le cas de la vie utile, on peut prévoir la fiabilité d'un système d'affichage au moyen de la distribution exponentielle :

$$R = e^{-t(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots)}$$

où R = fiabilité ou probabilité de survie
 t = temps de mission ou temps d'utilisation réel (1)
 λ_i = taux de panne durant la vie utile du composant (i)

On calcule par exemple la fiabilité du système d'affichage à DEL de la figure 9, durant sa vie utile. Cet afficheur numérique de 8 chiffres utilise la série Hewlett-Packard 4N51 d'afficheurs à matrices de points. Les circuits intégrés sur la carte de ces dispositifs minimisent le nombre de composants de l'afficheur. Les circuits intégrés sur la carte comportent une bascule, un décodeur DCB/matrices de points et les circuits de commande de DEL.

Supposons pour cet exemple que l'afficheur de la figure 9 fonctionne 8 heures par jour et 5 jours par semaine, pendant 5 ans. On peut alors calculer le temps de mission :

$$t = \left(\frac{8 \text{ heures}}{\text{jour}} \right) \left(\frac{5 \text{ jours}}{\text{semaine}} \right) \left(\frac{52 \text{ semaines}}{\text{an}} \right) (5 \text{ ans})$$

$$t = 10,40 \text{ K heures.}$$

Supposons aussi que l'afficheur soit utilisé dans une température ambiante de 55 °C. L'étape suivante consiste à calculer la somme des taux de panne des composants individuels. A partir de la figure 8, le taux de panne ponctuel pour chacun des afficheurs de la série 4N51 sera égal à 0,026 % pour mille heures de fonctionnement, à une température ambiante de 55 °C. Le taux de panne ponctuel pour chacun des composants LSTTL est égal à 0,007 % par mille heures de fonctionnement (2). Le taux de panne ponctuel du micro-ordinateur est égal à 0,043 % par mille

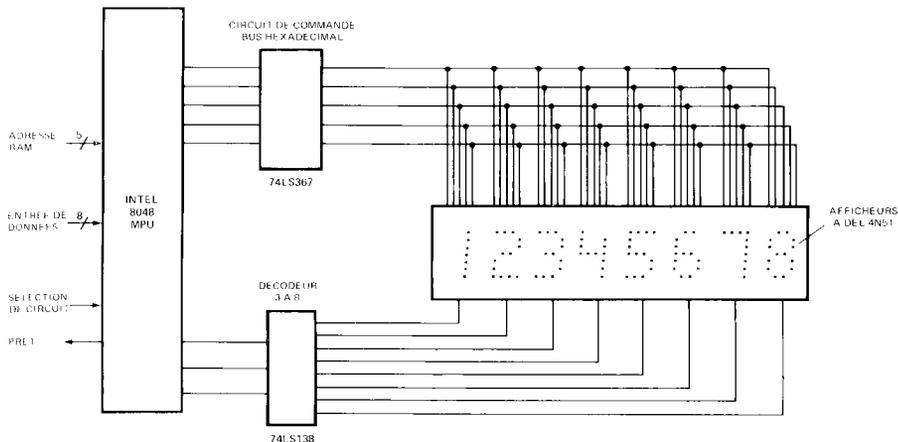


FIGURE 9 – Afficheur 4N51

heures de fonctionnement (3). La somme des taux de panne individuels des composants (λ_{total}) sera alors :

$$\lambda_{total} = (0,43\%/1000\text{ h}) + 2(,007\%/1000\text{ h}) + 8(,026\%/1000\text{ h})$$

$$\lambda_{total} = ,265\%/1000\text{ h}$$

La probabilité de vie de l'afficheur de 8 chiffres à DEL est alors :

$$R = e^{-t(\lambda_{total})} = 97\%$$

- (1) Le temps de mission ne peut dépasser la vie utile d'un composant quelconque lorsque l'on calcule la fiabilité du système.
- (2) Données cumulatives calculées en 1981 par Texas Instruments pour des composants LSTTL. L'énergie d'activation est supposée égale 0,43 eV.
- (3) Données recueillies à partir du rapport de fiabilité Inter RR-25, décembre 1979. L'énergie d'activation est supposée égale à 0,3 eV.

DEGRADATION DE L'INTENSITE

La dégradation d'intensité est un mécanisme d'usure à long terme qui se produit dans les afficheurs à DEL. Hewlett-Packard définit comme mode de panne paramétrique une réduction de 50 % de l'intensité. Une variation de 50 % de l'intensité peut être aisément perçue à l'œil nu. La figure 10 présente l'intensité lumineuse normalisée par rapport au temps de contrainte pour des afficheurs à DEL rouges. La figure 10 représente des moyennes, car le taux de dégradation de l'intensité n'est pas identique pour toutes les DEL. L'axe du temps de contrainte logarithmique implique que le taux de dégradation de l'intensité décroît au fur et à mesure que le temps s'accroît. Même la courbe D, qui représente un fonctionnement à 200 % des valeurs nominales maximales, n'entraînera pas de dégradation conséquente après un temps de contrainte de 10 000 h. Les courbes A et B indiquent qu'une densité de courant accrue pour résultat une dégradation plus rapide. Les courbes B et C indiquent que la température à la jonction n'a que peu d'effet sur le taux de dégradation. La courbe C représente la dégradation à un niveau de commande absolu maximal ;

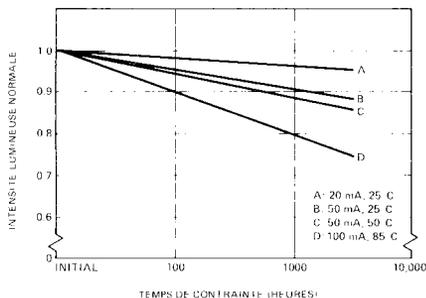


FIGURE 10 – Dégradation de l'intensité en fonction du temps de contrainte

les courbes A à D correspondent à la commande directe des DEL. Un fonctionnement avec impulsions permet d'obtenir des taux de dégradation sensiblement égaux, pour un courant moyen égal. Lorsque les afficheurs Hewlett-Packard sont pilotés au courant nominal maximal, le taux de dégradation du rouge haut rendement et du vert est sensiblement le même que celui du rouge. La dégradation du jaune est deux fois supérieure à celle du rouge.

TESTS MECANIKES ET D'ENVIRONNEMENT

Les fiches de données de fiabilité établies pour les produits standard Hewlett-Packard comprennent les données relatives aux tests de durée de vie, à la prédiction du taux de panne, et aux performances obtenues par des tests mécaniques et des tests d'environnement. Ces tests ont été réalisés conformément aux dernières révisions des normes

militaires MIL-STD-750 et MIL-STD-883. La figure 11 représente les données résultant des tests mécaniques et d'environnement pour un afficheur numérique Hewlett-Packard 5082-7350 à matrices de points. Le 5082-7350 comporte un boîtier à entrefer scellé époxy. On a effectué des tests mécaniques pour assurer l'intégrité du boîtier. La soudabilité détermine la capacité de souder le dispositif par des techniques classiques. Sans nettoyage préparatoire, les connexions du dispositif sont immergées pendant 5 à 10 secondes dans un flux, puis dans de la soudure fondue stabilisée à 260 °C. Après immersion dans un bain de soudure pendant la durée spécifiée, et refroidissement pendant 5 minutes, les dispositifs sont examinés avec un grossissement d'un facteur 10. Les trous d'épingle et les vides ne doivent pas être concentrés dans une seule zone, et ne doivent pas dépasser 10 % de la surface totale.

On effectue les tests de cycle de température pour définir la durée de vie thermomécanique. Différentes pièces du dispositif opto-électronique tels que le substrat, la puce de la DEL et les fils de connexion sont en contact. Si les coefficients de dilatation thermique ne sont pas bien assortis, les variations de température s'accompagneront d'une contrainte physique. L'importance de cette contrainte physique décroît lorsque l'importance de l'excursion de température s'accroît. La probabilité de panne s'accroît avec le nombre de cycles de température. Les afficheurs sept segments présentent moins d'un pour cent de panne après cinq cent cycles de -40 à +85 °C. Les boîtiers à entrefer, tels que celui du 5082-7350, offrent des performances améliorées dans le cas des cycles de température, par rapport aux afficheurs encapsulés sous époxy. Sans encapsulation sous époxy, les fils de connexion et les liaisons de la puce subissent moins de contrainte physique.

Le test de choc thermique expose les dispositifs à des extrêmes de température alternés. Les pièces sont transférées d'un liquide à 0 °C à un liquide à 100 °C. Les boîtiers

à entrefer peuvent supporter un nombre de chocs thermiques plus grand que les boîtiers sous encapsulation époxy.

Si le matériau constituant le boîtier du dispositif n'est pas imperméable à la diffusion de vapeur d'eau, une exposition prolongée à une humidité élevée risque de soumettre à terme les éléments actifs à une humidité élevée. L'humidité peut entraîner une panne due à la corrosion des éléments actifs, ou à un courant de fuite accru en surface. Le test de résistance à l'humidité soumet le dispositif à des cycles de température accélérant l'effet de l'humidité. Les cycles de température comportent des périodes de condensation et de séchage alternées, qui accélèrent le développement du processus de corrosion.

Les afficheurs à DEL hermétiques sont conditionnés dans un boîtier à scellement verre/métal ou verre/céramique. Ces produits sont imperméables à l'humidité, et conformes aux tests d'herméticité, au niveau prescrit. En outre, Hewlett-Packard fabrique des afficheurs scellés à l'époxy, tels que le 5082-7350 et les afficheurs alphanumériques à matrices de points. Ces afficheurs peuvent également passer avec succès des tests d'herméticité contrôlant petites et grosses fuites.

Le test de choc détermine la capacité pour des composants à DEL de résister à un choc de la même importance que celui produit par l'impact d'une collision, d'un coup de feu manqué de peu, ou d'une explosion sous-marine. Un choc de 1500 g correspond sensiblement au choc subi par un dispositif qui serait monté sur une enceinte rigide de 18 kg (40 livres) et qu'on laisserait tomber d'une hauteur de 1 m sur un sol en béton.

Les tests de vibration et d'accélération exposent les pièces aux gammes de fréquence prédominantes qu'ils sont susceptibles de rencontrer en service.

Outre les afficheurs à DEL standard, Hewlett-Packard propose une gamme de produits haute fiabilité. Les afficheurs

Test	Référence MIL-STD 883	Conditions du test	Unités testées	Total des défauts
Soudabilité	2003	Soudure Sn 60 Pb 40 à 260° pendant 5 secondes	25	0
Cycles de température	1010	500 cycles, - 55 à 100 °C Défauts électriques et fuites	45	0
Choc thermique	1011	50 cycles, 0° à 100 °C, transfert de 3 secondes	25	0
Résistance à l'humidité	1004	10 jours, humidité relative de 90 à 98 %, - 10 à 65 °C, hors fonct.	25	0
Choc	2002	5 coups selon les axes X1, X1, Z1 1500 g, 0,5 m/s	25	0
Vibrations, Fréquence variable	2007	3 cycles de 4 minutes selon les axes X, Y, Z à 20 g minimum 20 à 2000 Hz	25	0
Accélération constante	2001	20000 g, axe Y1, 1 minute	25	0
Force des bornes	2004	Condition B2, 3 courbures > 15 °C	25	0
Atmosphère saline	1009	Brouillard à 35 °C pendant 24 h	25	0
Décharge électrostatique	3015	5 décharges à chaque broche 1000 V, 500 Ω, 300 pF	25	0

FIGURE 11 — Tests mécaniques des afficheurs de la série 5082-7350

standard Hewlett-Packard ont subi des tests électriques et mécaniques spéciaux, afin de se conformer aux exigences de la liste de pièces qualifiées selon les normes militaires américaines, ainsi qu'aux spécifications définies par Hewlett-Packard ou par le client. On peut effectuer les tests spéciaux sur une base de qualification par lots, de visualisation à 100 %, ou en combinant la qualification par lots et la visualisation à 100 %. En se fondant sur les estimations de MIL-HBDK-217C, les tests de qualification par lots peuvent améliorer le taux de panne durant la vie utile d'un facteur 5. Le système de visualisation à 100 % est conçu pour éliminer les pannes précoces.

Les composants d'un afficheur peuvent avoir un impact significatif sur la fiabilité d'un système électronique. La

fiabilité du système est fonction de la somme des taux de panne individuels des composants. Pour obtenir des afficheurs fiables, on doit combiner une excellente conception, des pièces de qualité, et un processus de production étroitement contrôlé. Des composants dont la conception paraît identique peuvent présenter des caractéristiques de performances mécaniques et de fonctionnement très différentes. Hewlett-Packard met à votre disposition des fiches de données de fiabilité relatives à ces afficheurs et à ces indicateurs ; vous pourrez vous les procurer auprès du bureau commercial Hewlett-Packard le plus proche.