

# Remarques sur le fonctionnement des DEL et des AFFICHEURS

## Introduction

Le but à atteindre lorsque l'on utilise des DEL ou des afficheurs est d'obtenir un compromis valable entre la luminosité, la dissipation en puissance, la fiabilité et la durée de vie. Les caractéristiques des performances et les possibilités de chaque dispositif équipé de diodes électroluminescentes doivent être connues et bien comprises pour réaliser le montage le plus opérationnel, la source d'informations principale demeurant la fiche technique.

Cette fiche technique fournit les caractéristiques optiques et électriques du produit ainsi que les valeurs limites. Différentes courbes de caractéristiques et des données supplémentaires en décrivent les possibilités.

La présente note d'applications a pour objet la discussion de la théorie et l'utilisation des informations fournies par ces fiches qui sont reprises dans deux exemples numériques : l'un concernant un fonctionnement en courant continu, l'autre en impulsions (multiplexage). Les résultats des calculs sont soulignés dans chacun d'eux par des traits et des flèches. Des informations, sur le fonctionnement sans réduction de courant et sur la soudure des DEL terminent la note.

## Informations typiques fournies par la fiche technique

Une fiche technique comporte essentiellement les valeurs limites absolues, les caractéristiques optiques et électriques ainsi que les courbes typiques de fonctionnement. Des valeurs limites sont fixées pour des paramètres comme le courant direct maximal, la dissipation en puissance et la température ambiante. Les caractéristiques électriques et optiques fournissent des données telles que l'intensité lumineuse ( $I_V$ ), la tension directe ( $V_F$ ), la longueur d'onde crête ( $\lambda_{PEAK}$ ), la longueur d'onde dominante ( $\lambda_d$ ) et la résistance thermique jonction DEL-broche sur la base d'une DEL ( $R\theta_{J-BROCHE}$ ).

Les cinq graphiques habituels sont les suivants :

Figure 1 : Courbe de fonctionnement en impulsions

Figure 2 : Dérive en courant en fonction de la température

Figure 3 : Intensité lumineuse relative

Figure 4 : Caractéristiques de la tension directe

Figure 5 : Luminosité en fonction du courant de commande

La fiche technique fournit en outre l'équation permettant le calcul de la tension directe maximale sous un débit donné.

## Aspects de la conception

L'objectif de la présente note d'applications est de déterminer un montage qui permette de faire fonctionner un dispositif au maximum de luminosité sous une température ambiante élevée. Les deux paramètres qui limitent alors le fonctionnement sont le courant de commande maximal et la température de jonction maximale de la DEL. Le courant maximal débité est calculé pour une durée de vie prolongée et la température maximale de la jonction dépend du boîtier. La fiche technique fournit les valeurs maximales autorisées des courants de commande par un dispositif donné. La température de jonction maximale admissible de la DEL ( $T_{JMAX}$ ) dépend des différents types de boîtiers utilisés ; cette température est de 100 °C pour les afficheurs en plastique et de 110 °C pour la plupart des DEL ; pour les afficheurs alphanumériques monolithiques sur cartes de circuits imprimés, elle est de 110 °C (la température ne dépasse pas 80 °C pour certains afficheurs monolithiques).

## Résistance thermique

La température de jonction de la DEL est égale à la somme entre la température ambiante ( $T_A$ ) et l'augmentation de température au-dessus de celle-ci ( $\Delta T_J$ ) qui correspond au produit de la dissipation de la jonction ( $P_D$ ) par la résistance thermique jonction-ambiance ( $R\theta_{JA}$ ) de la DEL.

$$T_J (^{\circ}C) = T_A + \Delta T_J \quad (1)$$

$$T_J (^{\circ}C) = T_A + P_D R\theta_{JA}$$

La principale voie de dissipation de la chaleur à l'extérieur est la broche correspondant à la cathode de la DEL. La fiche technique donne la résistance thermique jonction-broche ( $R\theta_{J-BROCHE}$ ) de la DEL du dispositif. Cette résis-

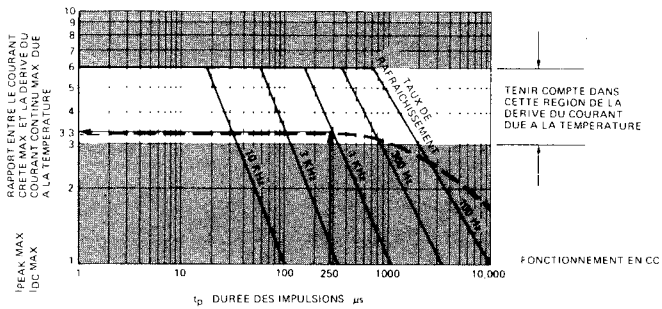


FIGURE 1 - Courant crête admissible en fonction de la durée des impulsions

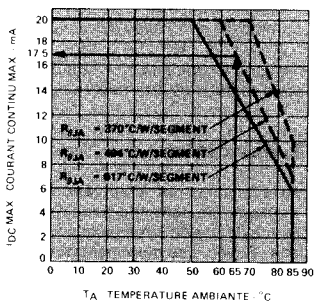


FIGURE 2 - Courant continu max. admissible par segment en fonction de la température ambiante. Réductions basées sur les résistances thermiques maximales autorisées, jonction DEL - ambiante pour un segment.  $T_{jMAX} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$

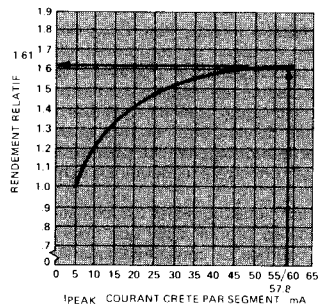


FIGURE 3 - Rendement lumineux relatif (par unité de courant) en fonction du courant crête par segment

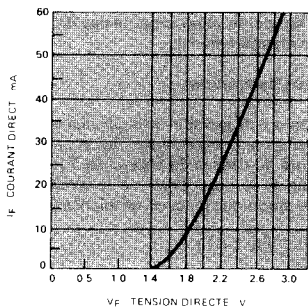


FIGURE 4 - Caractéristiques courant direct/tension directe

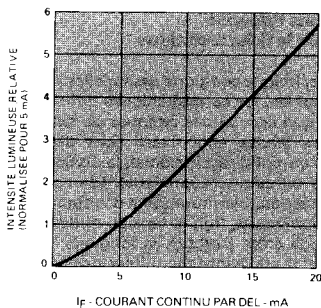


FIGURE 5 - Intensité lumineuse relative en fonction du courant continu direct

tance thermique jonction-broche est ajoutée à la résistance thermique-ambiance du montage sur carte de circuits imprimés ( $R_{\theta PC-A}$ ) pour obtenir la valeur totale  $R_{\theta JA}$  jonction-ambiance, pour chaque DEL (noter que pour les afficheurs monolithiques, la résistance thermique est calculée sur la base d'un caractère).

$$R_{\theta JA} = R_{\theta J-BROCHE} + R_{\theta PC-A} = \text{°C/W/DEL} \quad (2)$$

Pour que le fonctionnement soit sûr, la valeur calculée de ( $R_{\theta PC-A}$ ) doit être suffisamment basse pour que la température de jonction de la DEL n'excède pas la valeur maximale admissible.

### Réduction du courant en fonction de la température

La réduction du courant en fonction de la température dépend de l'élévation de la température de la jonction de la DEL au-dessus de  $T_A$ , en fonction de la dissipation maximale admissible ( $P_D \text{ MAX}$ ), qui doit atteindre une valeur réelle quand  $T_A = T_J \text{ MAX}$ . Les valeurs de  $R_{\theta JA}$  de la figure 2 sont obtenues en divisant  $\Delta T_J$  par  $P_D \text{ MAX}$  à une température de fonctionnement donnée.

$$R_{\theta JA} (\text{°C/W/DEL}) = \quad (3)$$

$$\frac{\Delta T_J (\text{°C})}{P_D \text{ MAX (W)}} = \frac{T_J \text{ MAX} - T_A \text{ fonctionnement}}{P_D \text{ MAX}}$$

La valeur de  $P_D \text{ MAX}$  correspond à la dissipation obtenue pour la tension directe maximale sous le débit maximal indiqué dans la fiche technique.  $R_{\theta JA}$  est donc calculée pour le cas le plus défavorable de dissipation.

La courbe de réduction, pour les valeurs les plus fortes de  $R_{\theta JA}$  sur la figure 2, qui débute habituellement à 50 °C est obligatoire pour les applications typiques (circuit imprimé à piste de 0,5 mm de large) sans adjonction de système dissipatif. Les courbes en pointillé, correspondant à des températures ambiantes plus fortes, donnent l'accroissement du courant de commande avec une carte plus élaborée, pour obtenir une plus faible valeur de  $R_{\theta JA}$  permettant une plus forte dissipation. Les courbes de la figure 2 sont valables par des fonctionnements en courant continu et en impulsions.

### Calcul du cas le plus défavorable

La dissipation dans le cas le plus défavorable correspond à celle obtenue sur la jonction avec la tension directe maximale. Le calcul de cette dissipation permet de connaître la température  $T_J$  dans le plus mauvais cas en fonction d'un courant de commande et d'une résistance thermique spécifiés (voir l'équation 1). La tension directe maximale ( $V_F \text{ MAX}$ ) pour un courant de commande déterminé est obtenue à partir d'une équation (voir fiche technique) telle que :

$$V_F \text{ MAX} = V_{ON} + (I_{PEAK}) (\text{résistance} \text{ dynamique de la DEL}) \quad (4)$$

Le cas le plus défavorable en impulsion est représenté par le produit du courant moyenné en temps (en continu par le courant continu) multiplié par  $V_F \text{ MAX}$ .

Plus mauvais cas = ( $I_{DC}$ ) ( $V_F \text{ MAX}$ ) en continu (5)

Plus mauvais cas = ( $I_{PEAK}$ ) (rapport cyclique) ( $V_F \text{ MAX}$ ) en impulsions

### Limitation de courant

Une DEL est un dispositif fonctionnant sous tension ; un limiteur de courant doit donc être incorporé à son système de commande, en général constitué par une résistance connectée en série avec les DEL. Les caractéristiques typiques de la tension directe, indiquées figure 4, permettent de calculer la valeur de cette résistance.

$$R_{\text{limit}} = \frac{V_{CC}(\text{alim.}) - V_{SAT} (\text{transistors de commande}) - V_F (\text{Fig. 4})}{I_{PEAK} \text{ par DEL}} \quad (6)$$

### Lumière émise

L'intensité lumineuse ( $I_V$  à  $T_A = 25 \text{ °C}$ ), moyennée en temps suivant une condition de commande donnée, se calcule à partir des caractéristiques d'intensité lumineuse relative de la figure 5 en continu ou à partir des caractéristiques de rendement relatif ( $\eta I_{PEAK}$ ) de la figure 3 en impulsions. En continu,  $I_V (T_A = 25 \text{ °C})$  est égal au produit de l'intensité lumineuse spécifiée sur la fiche techn. par un coefficient dépendant du courant continu spécifique relevé figure 5.

$$I_V \text{ DC} = (I_V \text{ spécifications}) (\text{coefficient extrait de la figure 5}), \quad (7)$$

à  $T_A = 25 \text{ °C}$

En impulsions, l'intensité lumineuse moyennée en temps à  $T_A = 25 \text{ °C}$  est calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$I_V \text{ moyennée en temps} = \quad (8)$$

$$\left[ \frac{I_{AVG}}{I_{AVG} \text{ spécifications}} \right] \eta I_{PEAK} \quad I_V \text{ spécifications}$$

avec  $I_{AVG}$  = courant direct moyenné par DEL

$$I_{AVG} \text{ spécifications} = \text{courant moyen auquel } I_V \text{ est mesuré dans les spécifications}$$

L'intensité lumineuse voulue à la température ambiante de fonctionnement est calculée à partir de sa valeur à  $T_A = 25 \text{ °C}$ , à l'aide de l'équation exponentielle suivante :

$$I_V (T_A \text{ fonctionnement}) = I_V (25 \text{ °C}) e^{k (T_A - 25 \text{ °C})} \quad (9)$$

DEL	k
Rouge standard	- 0,0188/°C
Rouge haut rendement	- 0,0131/°C
Jaune	- 0,0112/°C
Vert	- 0,0114/°C

### Fonctionnement en impulsions par rapport au fonctionnement en continu

La température de jonction d'une DEL en continu est une fonction linéaire de la dissipation multipliée par  $R_{\theta JA}$ . La

lumière émise est proportionnelle au courant de commande suivant l'équation (7).

Il n'est pas recommandé d'attaquer des DEL avec un courant alternatif de 50 ou 60 Hz redressé double ou simple alternance, la puissance efficace d'une onde sinusoïdale redressée étant supérieure à celle d'une onde rectangulaire de même valeur crête. Les conditions de commande en impulsions sont basées sur l'hypothèse selon laquelle les impulsions du courant de commande sont rectangulaires. La valeur du courant crête, en courant sinusoïdal redressé, ne doit en aucun cas dépasser la valeur maximale en courant continu.

Les performances du dispositif à DEL en impulsions quant à la dissipation moyennée en temps permise et la lumière émise dépendent essentiellement de la température de jonction crête et non moyenne. Plus faible est  $T_{JPEAK}$  par rapport à  $T_{JAVG}$ , plus forte est la lumière émise. Aux faibles fréquences de rafraîchissement (nombre d'impulsions reçues par le dispositif en une seconde) aux abords de 100 Hz,  $T_{JPEAK}$  est plus grand que  $T_{JAVG}$ . Vers 1000 Hz,  $T_{JPEAK}$  approche  $T_{JAVG}$ .

Par conséquent, il est recommandé de travailler à des taux de rafraîchissement proches ou supérieurs à 1000 Hz, puisque  $T_{JPEAK}$  est supposé égal à  $T_{JAVG}$  et que la lumière émise est une fonction de  $T_{JAVG}$ .

### Réalisation et calcul du montage

Afin de déterminer des conditions de réduction à partir des données fournies par la fiche technique pour une température ambiante élevée, la valeur de  $R\theta_{JA}$  doit être préalablement définie; la réduction de courant peut être obtenue directement à partir de la figure 2. La réduction de courant en continu est utilisée comme dans l'exemple du courant pulsé, pour déterminer la réduction du courant pulsé.

Les quatre étapes à suivre sont les suivantes :

1. Définir le courant de commande réduit.
2. Calculer la valeur de  $R\theta_{PC-A}$  du circuit imprimé utilisé.
3. Calculer la valeur de la résistance de limitation. Utiliser la valeur normalisée immédiatement supérieure à celle trouvée.
4. Calculer la lumière émise.

### Exemple de réalisation en continu

Un afficheur, à sept segments rouges haut rendement, doit fonctionner à 65 °C. Les données correspondant à ce composant sont les suivantes :

- courant continu max. par segment ( $T_A = 50\text{ °C}$ ) = 20 mA
- dissipation moyenne max. ( $T_A = 50\text{ °C}$ ) = 81 mW
- $I_V$  typique = 300  $\mu\text{cd/segment}$  à  $I_{CC} = 5\text{ mA}$
- $R\theta_{J-BROCHE} = 282\text{ °C/W/segment}$
- $V_F \text{ MAX} = 1,6\text{ V} + I_{CC} (45\ \Omega)$   
pour  $5\text{ mA} \leq I_{CC} \leq 20\text{ mA}$
- $T_J \text{ MAX} = 100\text{ °C}$

Les courbes de la page 2 correspondent à celles de la fiche technique de l'afficheur concerné en supposant en outre qu'une  $R\theta_{JA}$  égale ou inférieure à 494 °C/W/segment doit être ajoutée au montage du système.

### Phase 1

Réduire le courant continu de commande en fonction de la figure 2.

$$A \quad T_A = 65\text{ °C} \text{ et pour } R\theta_{JA} \leq 494\text{ °C/W/segment}, \\ I_{CC} \text{ MAX} = \underline{17,5\text{ mA}} \longleftarrow I_{CC} \text{ MAX}$$

### Phase 2

Calculer la résistance thermique maximale admissible de la carte à partir de l'équation (2).

$$R\theta_{PC-A} \leq (494 - 282) = \underline{212\text{ °C/W/segment}} \longleftarrow R\theta_{PC-A}$$

### Phase 3

La tension de saturation du transistor de commande de la DEL est supposée égale à  $V_{SAT} = 0,4\text{ V}$ . La figure 4 permet de calculer  $V_F$  à 17,5 mA.

$$V_F \text{ Typ} \text{ à } 17,5\text{ mA} = 2\text{ V}$$

En supposant  $V_{CC} = 5\text{ V}$ , à l'aide de l'équation (6), on calcule la résistance de limitation.

$$R_{\text{limit.}} = \frac{5\text{ V} - 0,4\text{ V} - 2\text{ V}}{0,0175\text{ A}} = \underline{149\ \Omega} \longleftarrow R_{\text{limit.}}$$

Soit la valeur normalisée 150  $\Omega$ .

### Phase 4

En se reportant à la figure 5, la lumière émise sous 17,5 mA est égale à 4,4 fois celle émise sous 5 mA.

Equation 7 :

$$I_V (25\text{ °C}) = (300\ \mu\text{cd}) (4,4) = 1320\ \mu\text{cd/segment} \text{ à } 65\text{ °C} \\ \text{par rapport à } 25\text{ °C}.$$

Le réglage de la lumière émise à 65 °C est fournie par l'équation (9).

$$I_V (65\text{ °C}) = (1320\ \mu\text{cd}) e^{-0,131/^\circ\text{C} (65 - 25)\text{ °C}} \\ I_V (65\text{ °C}) = (1320) (0,592) = \underline{782\ \mu\text{cd/segment}} \longleftarrow I_V$$

### Exemple de réalisation en impulsions

Un affichage à quatre chiffres est constitué de quatre afficheurs sept segments identiques à celui de l'exemple précédent. Il doit fonctionner en impulsions à  $T_A = 65\text{ °C}$ . Les données complémentaires concernant ce dispositif sont :

- le courant crête max. par segment = 60 mA, pour  $T_A = 50\text{ °C}$  et une largeur d'impulsion de 2 ms
- $V_F \text{ MAX} = 1,75\text{ V} + I_{PEAK} (38\ \Omega)$   
pour  $I_{PEAK} \geq 20\text{ mA}$

Comme précédemment, il faudra ajouter une valeur  $R\theta_{JA}$  égale à 494 °C/W/segment au calcul.

La figure 1 permet de déterminer les conditions de rafraîchissement en mode pulsé. Elles correspondent à la température de jonction en fonction de la réduction du cou-

rant continu de la figure 2. La figure 1 donne le rapport entre le courant crête max. et le courant continu max. réduit en fonction de la température ( $I_{PEAK\ MAX}/I_{DC\ MAX}$ ) et la durée de l'impulsion ( $t_p$ ) en fonction du taux de rafraîchissement ( $f$ ). La puissance moyenne dissipée décroît en-dessous de 1 kHz puisque la différence entre  $T_{JPEAK}$  et  $T_{JAVG}$  augmente en raison inverse du taux de rafraîchissement, ce qui correspond à la courbe en traits interrompus de la figure 1 (le rapport  $I_{PEAK\ MAX}/I_{DC\ MAX}$  décroît en fonction du taux de rafraîchissement, le rapport cyclique restant de 1/4).

### Phase 1

Pour obtenir les meilleures performances, le taux de rafraîchissement est choisi à 1 kHz.

$$f = 1\text{ kHz} \longleftarrow f$$

Avec un afficheur à quatre chiffres, le rapport cyclique (D.F.) est de 1/4.

$$\frac{D.F.}{t_p} = \frac{1}{4} \longleftarrow \text{D.F.}$$

$$t_p = (1/f) (\text{D.F.}) = 1/1000\text{ Hz} (1/4) = 250\ \mu\text{s} \longleftarrow t_p$$

A partir de la figure 1 :

$$I_{PEAK}/I_{DC\ MAX} = 3,3, \text{ pour } t_p = 250\ \mu\text{s} \text{ et } f = 1\text{ kHz}$$

A partir de la figure 2 :

$I_{DC\ MAX}$ , à  $T_A = 65^\circ\text{C}$  et pour  $R\theta_{JA} = 494^\circ\text{C/W/segment}$  est de 17,5 mA

$$I_{PEAK} = (I_{PEAK\ MAX}/I_{DC\ MAX}) (I_{DC\ MAX} \text{ de la fig. 2})$$

$$I_{PEAK} = (3,3) (17,5\text{ mA}) = 57,8\text{ mA/segment} \longleftarrow I_{PEAK}$$

$$I_{AVG} = (I_{PEAK}) (\text{D.F.})$$

$$= (57,8\text{ mA}) (1/4) = 14,5\text{ mA} \longleftarrow I_{AVG}$$

Ces deux valeurs correspondent aux courants max. admissibles en mode pulsé à  $T_A = 65^\circ\text{C}$  et pour  $R\theta_{JA} \leq 494^\circ\text{C/W/segment}$ .

### Phase 2

La résistance thermique max. que doit présenter la carte de circuits imprimés est calculée à partir de l'équation (2).

$$R\theta_{PC-A} \leq (494 - 282) = \frac{212^\circ\text{C/W/segment}}{\longleftarrow R\theta_{PC-A\ MAX}}$$

### Phase 3

On considère que la tension de saturation des transistors de commande des DEL est de  $V_{SAT} = 1,2\text{ V}$ . Il est possible de calculer à partir de la figure 4 :

$$V_F\ \text{TYP} (57,8\text{ mA}) = 2,85\text{ V}$$

A partir de l'équation (6) et si  $V_{CC} = 5\text{ V}$  :

$$\longleftarrow R\ \text{limit.} = \frac{5\text{ V} - 1,2\text{ V} - 2,85\text{ V}}{0,578\text{ A}} = 16\ \Omega \longleftarrow R\ \text{limit.}$$

Utiliser une résistance normalisée de 17  $\Omega$ .

### Phase 4

La figure 3 permet d'obtenir la valeur de  $\eta_{PEAK}$  (rendement relatif) à  $I_{PEAK} = 57,8\text{ mA}$ , soit  $\eta_{PEAK} = 1,61$ . En remplaçant  $\eta_{PEAK}$  par sa valeur dans l'équation (8) :

$$I_V (25^\circ\text{C}) = \left[ \frac{14,5\text{ mA}}{5\text{ mA}} \right] (1,61) (300\ \mu\text{cd}) = 140\ \mu\text{cd/segment}$$

Enfin l'équation (9) permet de régler l'émission de lumière pour  $T_A = 65^\circ\text{C}$  :

$$I_V (65^\circ\text{C}) = (140\ \mu\text{cd}) e^{[-0,0131/^\circ\text{C} (65 - 25)^\circ\text{C}]}$$

$$I_V (65^\circ\text{C}) = (140\ \mu\text{cd}) (0,592) = 82,9\ \mu\text{cd/segment} \longleftarrow I_V$$

## Fonctionnement sans réduction du courant

Les DEL et afficheurs peuvent fonctionner à haute température sans réduction du courant à la condition que la carte de circuits imprimés ait une résistance thermique faible : le facteur critique est constitué par la température de jonction de la DEL qui ne doit pas dépasser la vapeur  $T_{J\ MAX}$  du dispositif. Cette faible résistance thermique suppose l'utilisation d'une carte hautement métallisée et éventuellement un système d'évacuation de la chaleur. En aucun cas, les courants limites ne devront être dépassés.

Les calculs de la résistance thermique sont effectués pour le cas le plus défavorable. L'exemple numérique concernant le même afficheur que dans les 2 exemples précédents illustre les calculs à effectuer.

### Phase 1

Déterminer la valeur maximale admissible de  $R\theta_{JA}$ . La dissipation maximale admissible de cette DEL relevée sur la fiche technique est de 81 mW et la température ambiante de  $65^\circ\text{C}$ .

En utilisant l'équation (3) :

$$R\theta_{JA\ MAX} \leq \frac{T_{J\ MAX} - T_A \text{ de fonctionnement}}{P\ MAX \text{ des spécifications}}$$

d'où dans l'exemple :

$$R\theta_{JA\ MAX} \leq \frac{100^\circ\text{C} - 65^\circ\text{C}}{0,081\text{ W}} = 432^\circ\text{C/W/segment}$$

La résistance thermique maximale de la carte de circuits imprimés se calcule avec l'équation (2), d'où :

$$R\theta_{PC-A\ MAX} \leq R\theta_{JA\ MAX} - R\theta_{J-BROCHE}, \text{ et}$$

$$R\theta_{PC-A} \leq (432 - 282) = 150^\circ\text{C/W/segment} \longleftarrow R\theta_{PC-A\ MAX}$$

L'afficheur utilisé dans cet exemple peut donc fonctionner en dissipant le maximum de puissance à  $65^\circ\text{C}$  sans réduction du courant à condition que la résistance thermique du circuit imprimé  $R\theta_{PC-A}$  soit égale ou inférieure à  $150^\circ\text{C/W/segment}$ .

**ATTENTION :** Les calculs précédents ont été menés en ne considérant que  $T_{JAVG}$ ,  $T_{JPEAK}$  étant exclue : le fonctionnement en impulsions n'est recommandé que si la fréquence de rafraîchissement est égale ou supérieure à 1 kHz.

## Soudage des boîtiers en plastique

Les puces des DEL construites sur un support métallique sont solidaires du fil de sortie cathode, qui conduit la

chaleur et transmet ses contraintes thermiques et mécaniques à la puce. Il est par conséquent nécessaire de surveiller soigneusement la soudure à la vague et en particulier la température du bain, qui ne doit pas dépasser 245 °C, ainsi que le temps d'immersion devant être compris entre 1,5 et 2 s.

Le processus de nettoyage est très critique pour assurer la fiabilité du fonctionnement : les caractéristiques optiques ont été optimisées par l'utilisation de plastiques spéciaux dont la constitution élimine l'emploi de certains solvants. Seuls les mélanges alcool-fréon (F 113) sont tolérés pour le nettoyage à la vapeur qui ne doit pas dépasser 2 mn. Les solvants préconisés pour le nettoyage à la vapeur sont le fréon TE, le genesolv DI-15, ou DE-15, l'arklone A ou K. Le nettoyage à l'eau à 60 °C est possible, il doit être suivi d'un rinçage neutralisant (solution à 3 % d'ammoniaque ou équivalent), d'un rinçage détersif (solution à 1 % de détergent), d'un rinçage à l'eau chaude et d'un séchage à l'air sec. Le nettoyage à la température ambiante peut se faire au fréon T-35 ou T-P35, à l'éthanol, à l'isopropanol ou à l'eau additionnée d'un détergent doux.

Quelques dispositifs à DEL demandent des précautions particulières quand ils sont manipulés pendant leur soudage ou leur nettoyage, certains ne se prêtent pas au soudage à la vague. Les trois critères à prendre en considération sont les suivants :

1. **DEL en plastique** : Le boîtier plastique est le seul élément assurant le maintien des composants de la DEL, il est donc important d'éviter toute contrainte susceptible d'endommager les contacts sur la puce et la soudure des fils. Les bornes de sortie peuvent être pliées à l'angle désiré de la façon suivante : maintenir fermement les bornes à la base du boîtier entre les becs d'une pince plate et les plier. La surchauffe du boîtier

pendant la soudure provoque le ramollissement du plastique avec possibilité de déplacement des éléments de la DEL et destruction des liaisons internes. Le plus grand soin doit être pris pour éviter toute contrainte aux fils de liaison, ce qui pourrait entraîner à terme des pannes graves. Soudées avec toutes les précautions nécessaires, les DEL sont d'une très grande fiabilité.

2. **Afficheurs monolithiques sur carte de circuits imprimés** : Beaucoup de ces afficheurs ne se prêtent pas à la soudure à la vague. Les lentilles en plastique qui recouvrent les DEL et les connexions internes sont fixées à la carte sans qu'il y ait étanchéité. Les produits chimiques utilisés pendant la soudure à la vague se répandent dans les interstices que les différentes techniques de nettoyage sont incapables d'atteindre. Les produits ainsi accumulés risquent de provoquer des dommages ultérieurs. Le plastique entrant dans la constitution de certaines lentilles est sensible à la résine et aux nettoyants hydrocarbonés. Les deux méthodes préconisées consistent soit à souder à la main des fils souples aux broches de sortie, soit à utiliser des bornes de raccordement sans soudure. Le nettoyage est réalisé à la température ambiante avec du fréon TP-35 ou TE-35, à une température  $\leq 30$  °C et un temps d'immersion  $\leq 2$  mn.

3. **Support métallique argenté** : Certains dispositifs à DEL sont montés sur un support argenté : la soudabilité est excellente tant qu'il n'y a pas oxydation sous l'action d'agents sulfurisés. Le Bulletin d'Applications n° 3 fournit toutes les précisions nécessaires.

Les techniques de soudage particulières à chaque produit sont indiquées dans la fiche technique correspondante.