

# Prévention des pannes de condensateur CA dans les systèmes d'ASI de grande capacité

## Livre Blanc 60

Révision 2

Par Victor Avelar

### Résumé Général

La plupart des pannes de condensateur d'alimentation CA rencontrées dans les systèmes d'ASI de grande capacité sont évitables. Les pannes de condensateur peuvent entraîner la panne de l'ASI et, dans certains cas, la perte de la charge sur les systèmes autonomes et en parallèle. Les pannes de condensateur CA sont traditionnellement imputées à une panne aléatoire inévitable ou à un défaut de fabrication. Toutefois, de récentes avancées dans l'analyse de la fiabilité des condensateurs montrent que les pannes de ces composants peuvent être contrôlées par la conception du système. Ce document explique les mécanismes de panne des condensateurs CA et démontre comment les concepteurs et prescripteurs d'ASI peuvent éviter les pannes de condensateur CA les plus courantes et les conséquences associées.

## Introduction

Les pannes de condensateur CA sont historiquement la cause première des pannes d'ASI sur site. Même aujourd'hui, malgré les processus de fabrication et la qualité améliorés des condensateurs, ils demeurent responsables de pannes d'ASI dans certaines conceptions. Les pannes de condensateur CA sont en outre connues pour créer des modes de panne qui provoquent des pertes imprévues et indésirables de redondance ou de charge critique, même dans des installations d'ASI à tolérance de panne ou en parallèle. Il est par conséquent impératif que le concepteur de l'ASI réduise le nombre total des pannes de condensateur prévues pendant la durée de vie du système, et qu'il développe également une stratégie robuste de gestion du système de protection de l'alimentation en cas de panne interne.

La durée de vie d'un condensateur est statistiquement prévisible et dépend de la tension, du courant et les contraintes de température auxquelles il est soumis. Par conséquent, la conception de l'ASI peut et doit exercer un impact considérable sur la fréquence des pannes du condensateur. Les concepts d'ASI varient considérablement dans la façon dont les condensateurs sont utilisés et contraints. À travers la compréhension des mécanismes de panne des condensateurs, les concepteurs et les prescripteurs d'ASI peuvent prévoir leur durée de vie avec des modèles statistiques et même spécifier des facteurs qui prolongent considérablement leur durée de vie, en diminuant le taux de panne du condensateur.

Ce document examine les applications de condensateurs d'alimentation dans les ASI et les mécanismes de panne du condensateur sont décrits. Enfin, des recommandations sont présentées en rapport avec la spécification appropriée de l'ASI pour éviter les pannes de condensateur.

## Applications de condensateurs d'alimentation CA dans les ASI

Deux applications principales de condensateurs d'alimentation CA sont employées dans la plupart des ASI actuelles. Les condensateurs CA dotés d'une construction enveloppée de film métallisé servent pour les filtres d'entrée et de sortie ainsi que comme facteur de régulation de l'alimentation. Une ASI est susceptible de contenir des centaines de condensateurs CA et CC dans différentes applications internes comme les condensateurs d'amortissement et les condensateurs électrolytiques CC. Dans le cadre de ce document, la discussion est limitée aux applications de condensateur CA de haute capacité, qui exercent le plus fort impact sur la disponibilité du système et entraînent les conséquences les plus sérieuses lors d'une panne. Ces applications sont récapitulées au Table 1 :

**Table 1**

*Breakdown of embedded CO<sub>2</sub> in building materials*

Application de condensateur d'alimentation	Objectif
Condensateurs d'entrée d'alimentation CA	Filtrage des harmoniques d'entrée et contrôle de facteur de puissance
Condensateurs de sortie d'alimentation CA	Filtrage de sortie de la fréquence de commutation de l'onduleur et distorsion harmonique Fournir une alimentation réactive aux charges non linéaires

## Mécanismes de panne des condensateurs d'alimentation

Il y a eu par le passé des périodes où le taux de panne des condensateurs d'alimentation, comme ceux utilisés dans les filtres d'entrée et de sortie des ASI, était élevé. Ce taux de panne était alors généralement attribué à la mauvaise qualité des matériaux du diélectrique ou de l'électrode, au manque d'élimination de tous les contaminants lors de la fabrication ou

à une déficience due à une omission conceptuelle. Les matériaux et la fabrication des condensateurs se sont toutefois systématiquement améliorés au fil des ans et les usines de production ont affiné leurs processus internes. Des informations de performance des applications bien documentées et affinées permettent désormais au concepteur d'optimiser les ASI pour donner aux condensateurs une durée de vie prolongée et des taux de panne réduits. La technologie des condensateurs s'est développée à tel point que la plupart des pannes sont évitables avec une conception d'ASI appropriée.

La définition d'une panne de condensateur est simple : c'est la non réalisation des performances spécifiées. Toutefois, dans le cas de condensateurs d'alimentation, le non-respect des spécifications donne souvent lieu à des conséquences graves. Le Tableau 2 présente les principales pannes associées aux condensateurs d'alimentation et leurs conséquences.

**Table 2***Panne de condensateur d'alimentation*

Panne	Application	Cause	Résultat	Prévention
Claquage du film diélectrique	Filtres d'entrée ou de sortie CA	Haute tension de fonctionnement Surtension et/ou température excessive	Claquage interne du condensateur, produisant une explosion avec risque d'incendie ; court-circuit franc ou coupure	Réduire la contrainte de tension Réduire la température ambiante
Défaillance d'extrémité du film	Filtres d'entrée ou de sortie CA	Courant de crête élevé	Augmentation de la résistance série créant un point chaud localisé produisant un arc électrique localisé. Cette situation peut conduire au claquage du film diélectrique comme décrit plus haut.	Modifier la conception pour limiter les courants de crête Application de condensateur appropriée

Le récapitulatif du Table 2 indique que les contraintes de tension, de température et de courant sont les facteurs des pannes de condensateur. La conception et le processus de fabrication des condensateurs sont désormais suffisamment affinés pour que les fournisseurs soient capables de créer des modèles mathématiques fiables, capables de prévoir les taux de panne statistiques sous différentes contraintes de tension, de température et de courant. Ces modèles peuvent démontrer qu'il existe une corrélation entre les taux de panne élevés et faibles sur le terrain. Quatre éléments de base ressortent des modèles, comme indiqué au Table 3.

**Table 3**

Panne de condensateur d'alimentation

Facteur	Conséquence	Exemple de conséquence (ASI type)
Température	La durée de vie du condensateur d'alimentation est divisée par deux pour chaque augmentation de 10° C (18° F) de la température du boîtier. La température du boîtier est la température externe du boîtier du condensateur. L'élévation de la température résulte du chauffage dû au courant CA. Cette relation devient inexacte lorsque la température descend au-dessous de 50° C (122° F).	La durée de vie du condensateur est multipliée par deux en réduisant la température du boîtier de 70 à 60° C.
Tension	La durée de vie du condensateur d'alimentation varie avec la n <sup>ème</sup> puissance de tension lorsqu'il fonctionne à proximité de sa valeur nominale. Selon le fournisseur, cette puissance peut s'étendre de 7 à 9,4. Cette relation est perdue lorsque la tension de fonctionnement descend en dessous de la moitié de la valeur nominale.	Dans le cas d'un condensateur de 440 V avec un film de 6,8 µm, la durée de vie est multipliée par 17,3 pour une réduction de 30 % de la tension de fonctionnement.
Courant d'impulsion	Tant que les courants de crête nominaux ne sont pas dépassés, aucune défaillance d'extrémité n'a lieu. À mesure que le condensateur est soumis aux courants d'impulsion, une dégradation des interfaces de connexion du courant se produit et finit par causer une coupure du circuit ou une panne catastrophique.	Un condensateur est en panne en position ouverte après avoir été frappé environ 1 000 fois par un courant d'impulsion, 200 fois le courant nominal de la plaque signalétique.
Tension de crête	Contrairement à la tension efficace (RMS), les tensions de crêtes qui traversent un condensateur se présentent généralement comme des pics de haute fréquence résultants d'événements du secteur ou de changements d'état au sein d'une ASI. Ces pics endommagent le film du condensateur et conduisent éventuellement à une défaillance précoce du condensateur.	Une tension de crête CA supérieure à 1,8 à 2,1 fois la tension CA nominale correspond à l'équivalent de tension CC qui peut conduire à la défaillance par court-circuit d'un condensateur.

Le **Table 3** indique que de petites modifications de la contrainte de tension exercent l'effet le plus important sur la durée de vie du condensateur par rapport à d'autres facteurs. À noter que la tension en régime permanent aux bornes des condensateurs CA est totalement indépendante de la charge de l'ASI. Par conséquent, réduire la charge de l'ASI ne réduit pas la contrainte de tension sur les condensateurs. Ce peut être ou non le cas des tensions transitoires traversant le condensateur, car cela dépend de la conception de l'ASI. Les différences de température et de contrainte de courant dans la conception des ASI sont en mesure d'affecter considérablement la durée de vie des condensateurs d'alimentation, mais leurs effets sont moindres lorsque la contrainte de tension varie. La **Figure 1** ci-dessous représente une batterie de condensateurs CA typique, également appelée rack de condensateurs.

**Figure 1**

Batterie de condensateurs de sortie CA d'une ASI

## Prévention des pannes de condensateur d'alimentation

Une conception robuste de l'ASI diminue les pertes de charge dues aux défaillances des condensateurs CA. En analysant pourquoi et comment un condensateur tombe en panne (analyse physique de la défaillance), il est possible de commencer à comprendre comment prolonger la durée des condensateurs.

### Quelles sont les défaillances des condensateurs ?

Le film d'un condensateur d'alimentation CA joue un rôle de séparateur entre les charges positive et négative, permettant ainsi au condensateur de stocker l'énergie. Lorsque la tension augmente à travers le film diélectrique, il en est de même de l'énergie stockée. La limite de capacité de stockage d'énergie d'un condensateur est atteinte lorsque le potentiel de tension atteint la tension de tenue du film diélectrique. Lorsque cette tension de tenue est dépassée (volts par micron d'épaisseur de film), le film n'est plus capable de résister à la tension appliquée. Les caractéristiques d'auto-réparation du condensateur finissent par devenir inefficaces et un court-circuit se produit en phase-phase ou phase-neutre, selon la connexion du condensateur dans la conception de l'ASI. En outre, si une tension supérieure est appliquée, cela dégrade le film, dont la tension de tenue diélectrique se réduit au fil du temps.

La température joue également un rôle dans la dégradation progressive du film, mais dans une moindre mesure que la tension, comme indiqué dans la section précédente.

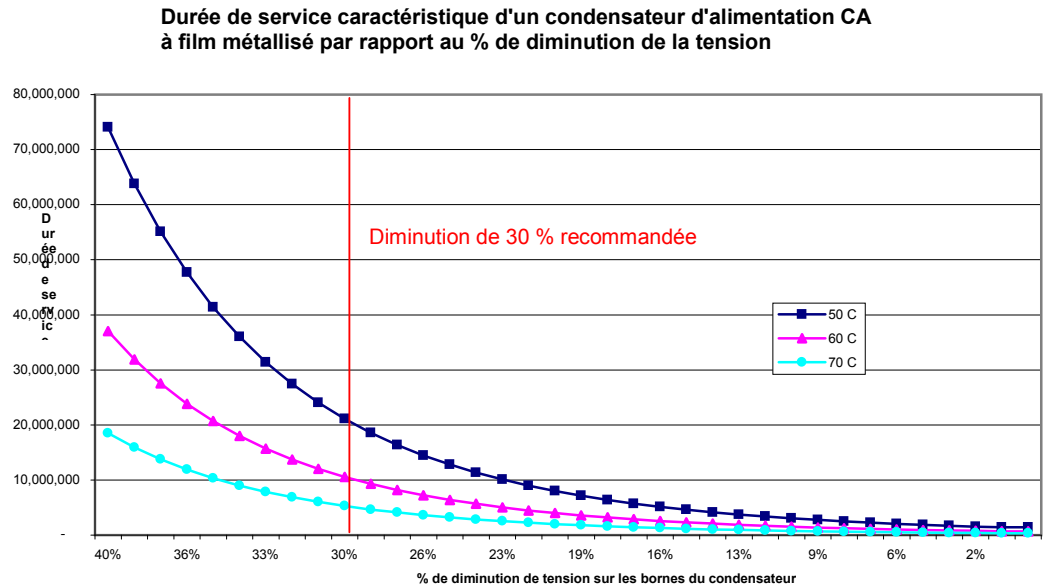
Deux modes de panne surviennent en raison du courant. L'un est une défaillance d'extrémité et l'autre, un claquage diélectrique. Lorsqu'un condensateur est placé correctement, les défaillances d'extrémité sont improbables. Néanmoins, le courant augmente la température, ce qui nous ramène à l'effet de la température sur le diélectrique.

Les effets des contraintes de tension et de température sur la durée de vie prévue d'un condensateur donné peuvent être calculés à l'aide d'un modèle mathématique, fourni par le fabricant du condensateur. La description et l'explication de ce modèle sont présentées dans l'**Annexe**.

Le taux de panne des condensateurs soumis à une contrainte de tension CA et de température continues n'est pas nul et aucune conception d'ASI ne peut totalement prévenir les pannes de condensateur d'alimentation. En revanche, la conception de l'ASI peut prolonger la durée de vie d'une batterie de condensateurs en réduisant simplement les contraintes de tension et de température appliquées aux condensateurs. La **Figure 2** illustre en traçant la durée de vie caractéristique par rapport à un pourcentage de réduction de la tension. La durée de vie caractéristique est définie comme le point dans le temps où 63,2 % de la population est en panne. En utilisant les condensateurs avec des contraintes de tension et de température plus faibles, la durée de vie typique d'une batterie de condensateurs peut être considérablement prolongée. L'utilisation de condensateurs dont la tension nominale est considérablement supérieure à la tension de fonctionnement nominale de l'ASI et l'augmentation du débit d'air effectif refroidissant la batterie de condensateurs constituent deux paramètres de conception de l'ASI permettant de prolonger spectaculairement la durée de vie des condensateurs. La tension doit toutefois représenter la principale préoccupation, sachant que la durée de vie du condensateur est plus sensible à la tension et que la tension en régime permanent traversant un condensateur est totalement indépendante de la charge de l'ASI. Parmi les ASI commercialisés à l'heure actuelle, la durée de vie nominale des condensateurs d'alimentation CA varie entre 3 et 15 ans. Une telle variation exerce un impact considérable sur la fiabilité globale du système d'alimentation, car la défaillance des condensateurs peut causer une perte de charge, même dans un système redondant.

**Figure 2**

*Durée de vie caractéristique d'un condensateur d'alimentation CA par rapport au pourcentage de diminution de la tension*



### Exemple de variations conceptuelles de l'ASI affectant la durée de vie d'un condensateur d'alimentation CA

L'exemple suivant compare deux modèles d'ASI triphasés existants de capacité similaire provenant de deux fabricants différents, pour démontrer comment la durée de vie prévue du condensateur varie. Dans le modèle d'ASI « A », les condensateurs de sortie sont utilisés en configuration phase-neutre, alors que dans le modèle « B », ils sont utilisés en configuration phase-phase. Les données des condensateurs des deux ASI ont été obtenues sur les étiquettes des condensateurs. Le fabricant des condensateurs CA est le même dans les deux modèles d'ASI. La tension traversant les condensateurs a été déterminée en mesurant les systèmes d'ASI à demi-charge. La température a été maintenue constante dans les deux cas afin de comparer uniquement les effets de la diminution de tension. Les effets sur la durée de vie sont calculés à l'aide d'équations standard obtenues auprès du fabricant des condensateurs, comme indiqué à l'Annexe A. Les données pertinentes concernant les modèles sont récapitulées dans le Table 4 :

**Table 4**

Comparaison des modèles de condensateur d'ASI

	Modèle d'ASI A	Modèle d'ASI B
Capacité nominale de l'ASI	320 kVA / 320 kW	400 kVA / 320 kW
Année de fabrication de l'ASI	2000	2000
Capacité	56 $\mu$ F	92 $\mu$ F
Tension nominale du condensateur	440 V	535 V
Température nominale du condensateur	70 $\pm$ C	70 $\pm$ C
Tension de l'ASI appliquée au condensateur (mesurée)	277 V (phase-neutre)	480 V (phase-phase)
Température du boîtier en fonctionnement en régime permanent	60 $\pm$ C (présumé)	60 $\pm$ C (présumé)
Facteur d'échelle de la tension	8	8
Facteur d'échelle de la température	2	2
$\beta$ (paramètre de forme)	1,6	1,6
Nombre de condensateurs dans la batterie de condensateurs	24	18
Facteur de réduction de tension du condensateur	37 %	10 %
Durée de vie caractéristique par condensateur aux conditions nominales	350 000 h	350 000 h
Durée de vie caractéristique par condensateur aux conditions appliquées	28 371 435 h	1 667 241 h
Temps moyen avant panne (MTTF) de la batterie de condensateurs à 20 ans	15 637 178 h	223 710 h
Probabilité d'une panne de la batterie de condensateurs après 20 ans de vie de l'ASI	0,70 %	38,71 %

Avant d'examiner les résultats de cette comparaison, il doit être clairement établi que les résultats de chaque batterie de condensateurs sont basés sur des méthodes statistiques et des calculs qui produisent dès un certain niveau d'incertitude. Toutefois, en comparant les différences relatives entre plusieurs batteries de condensateurs, il est possible de choisir le meilleur modèle avec beaucoup plus de confiance. Il est supposé que, pour que l'ASI fonctionne correctement, tous les condensateurs sont en bon état de marche.

La comparaison montre que la durée de vie prévue de la batterie de condensateurs d'une ASI en vente dans le commerce peut varier par un facteur de 60. Ce facteur affecte considérablement la probabilité qu'un client subisse une panne de condensateur pendant la



durée de vie de l'ASI. À noter également que malgré la présence de six condensateurs de plus, l'ASI « A » affiche une fiabilité des condensateurs 55 fois supérieure à celle de l'ASI « B ». Ce fait découle du facteur de diminution de 37 % de la tension.

Pour mieux comprendre comment la température affecte la durée de vie d'un condensateur, le comparatif du **Table 5** maintient le pourcentage de diminution constant mais modifie la température. Les températures sont purement supposées aux fins de ce comparatif.

Avec un pourcentage de diminution maintenu constant à 37 %, cette deuxième comparaison montre que la durée de vie prévue d'une batterie de condensateurs varie d'un facteur de six seulement par rapport à un facteur de soixante en variant la diminution de tension. Cela ne signifie pas que le refroidissement des condensateurs ne compte pas pour évaluer une ASI par rapport à une autre. Toutefois, l'effet de la température est secondaire sur la durée de vie des condensateurs par rapport à la diminution de la tension, dont l'effet est de premier ordre.

**Table 5**

*Comparaison de la conception des condensateurs d'ASI avec variation de température*

	Modèle d'ASI A	Modèle d'ASI B
Capacité nominale de l'ASI	320 kVA / 320 kW	400 kVA / 320 kW
Année de fabrication de l'ASI	2000	2000
Capacité	56 $\mu$ F	92 $\mu$ F
Tension nominale du condensateur	440 V	535 V
Température nominale du condensateur	70 $\pm$ C	70 $\pm$ C
Tension de l'ASI appliquée au condensateur (mesurée)	277 V	337 V (présumé)
Température du boîtier en fonctionnement en régime permanent	50 $\pm$ C (présumé)	70 $\pm$ C (présumé)
Facteur d'échelle de la tension	8	8
Facteur d'échelle de la température	2	2
$\beta$ (paramètre de forme)	1,6	1,6
Nombre de condensateurs dans la batterie de condensateurs	24	18
Facteur de réduction de tension du condensateur	37 %	37 % (présumé)
Durée de vie caractéristique par condensateur aux conditions nominales	350 000 h	350 000 h
Durée de vie caractéristique par condensateur aux conditions appliquées	56 742 870 h	14 185 717 h
Temps moyen avant panne (MTTF) de la batterie de condensateurs à 20 ans	47 403 061 h	6 877 794 h
Probabilité d'une panne de la batterie de condensateurs après 20 ans de vie de l'ASI	0,23 %	1,58 %



## Recommandations pour les concepteurs et les prescripteurs

Les concepteurs d'ASI peuvent prolonger la durée de vie des condensateurs d'alimentation grâce à une approche de conception prudente. Les recommandations de conception ci-dessous sont quantifiables, permettant au concepteur tout comme au prescripteur de l'ASI de prendre facilement les décisions concernant la fiabilité de la batterie de condensateurs.

- Diminuer la tension appliquée au condensateur CA d'au moins 30 % pour multiplier la durée de vie caractéristique par 17,3. La contrainte de tension traversant le film du condensateur est une méthode similaire de diminution. Les condensateurs doivent être soumis à moins de 45 V par micromètre d'épaisseur de film. À noter que la tension en régime permanent aux bornes des condensateurs CA est totalement indépendante de la charge de l'ASI. Les facteurs de diminution supérieurs à 30 % augmentent rapidement l'empreinte et le coût de l'ASI. Un facteur de diminution de 30 % constitue par conséquent une valeur de recommandation satisfaisante.
- Placer la batterie de condensateurs dans un flux d'air direct – une diminution de la température du boîtier de 10°C multiplie la durée de vie par deux.
- Limiter toutes les tensions et courants transitoires selon la spécification du condensateur CA.

En respectant et en spécifiant des recommandations de conception, la fréquence de remplacement des condensateurs peut diminuer spectaculairement voire devenir nulle. Diminuer la fréquence de remplacement des condensateurs offre un avantage supplémentaire. Le processus de remplacement des condensateurs crée un risque lié au temps d'arrêt. Selon Uptime Institute, plus de 50 % de toutes les pannes d'infrastructure de datacenter sont dues à des erreurs humaines. Par conséquent, le facteur humain doit jouer un rôle important dans la conception d'une ASI, particulièrement en ce qui concerne l'entretien et la maintenance.

Une ASI doit être dotée de composants facilement accessibles, standardisés et modulaires, qui diminuent le risque d'erreur humaine lors des réparations. Les batteries de condensateurs doivent être conçues de sorte que le technicien de service dispose d'assez d'espace pour intervenir. Elles doivent également être facilement accessibles, de sorte à éviter tout contact avec d'autres composants de l'ASI. Idéalement, les condensateurs doivent être contenus dans des modules remplaçables enfichables, qui éliminent toutes les procédures de câblage et de fixation durant l'intervention.

## Conclusion

Preferred layout is to start the "Conclusion" section on a new page and "Author" box at the bottom of that page. The "Conclusion" section should have three "SE main body text" line spaces before it. Use your judgment to change this, if it ends up looking silly ... for example, if CONCLUSION and AUTHOR are short, they might fit on the last page of the paper, following the last text of the paper.

Use one of the following scenarios for the author box:

If a CO-AUTHOR leaves the company to work for a direct competitor (e.g. Eaton, Emerson, HP) OR the author now works for a company that isn't related to the topic of the paper, leave the person's name on the cover and place an acknowledgement in the "author" box below the co-author bio. - Use box #1

If the SINGLE author of a paper leaves the company to work for a direct competitor OR the author now works for a company that isn't related to the topic of the paper, leave the person's name on the cover and replace "about the author" with "acknowledgement" in the "author" box. - Use box #2

If the SINGLE author (or CO-AUTHOR) of a paper leaves the company to work for a non-competitor (e.g. CE firm, IT firm) that IS related to the topic of the paper, we will leave the person's name on the cover and update their bio in the "about the author" box. - Use box #3. If we are unable to contact the author for an updated bio, revert to an "acknowledgement". **Make sure to delete the "Box #" text boxes in the actual white paper.**



### À propos de l'auteur

**Victor Avelar** est un analyste de recherche senior chez Schneider Electric. Il est responsable de la recherche portant sur la conception et l'exploitation du datacenter. Il évalue en collaboration avec les clients le risque et les pratiques conceptuelles pour optimiser la disponibilité et l'efficacité de leurs environnements de datacenters. Victor est titulaire d'une licence d'ingénierie mécanique de l'institut polytechnique Rensselaer et d'un MBA du Babson



Consultez tous  
les livres blancs  
[whitepapers.apc.com](http://whitepapers.apc.com)



Consultez tous les  
outils TradeOff Tools™  
[tools.apc.com](http://tools.apc.com)

## Références

1. Moynihan, John D., *Selection and Application of Capacitors*, Second Edition. Huntsville : Components Technology Institute, 1993, pp. 69-81
2. Tortai, J. H., Denat, A., Bonifaci, N., *Self-healing of capacitors with metallized film technology: experimental observations and theoretical model*, Journal of Electrostatics, vol. 53, pp. 159-169, 2001.
3. Fuchang, L., Xin, D., Zonggan, Y., Nanyan, W., *On the Failure Mechanism of Metallized Pulse Capacitors*, 2000 Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Victoria, British Columbia, Canada, Oct 2000, pp. 592-595
4. Dodson, B., Nolan, D., *Reliability Engineering Handbook*, New York : Marcel Dekker, Inc., 1999, pp. 49-53, 141-142.
5. Dialogue between Dr. Martin Hudis at Aerovox, New Bedford, MA



### Contactez-nous

Pour des commentaires sur le contenu de ce livre blanc:

Data Center Science Center  
[dcsc@schneider-electric.com](mailto:dcsc@schneider-electric.com)

Si vous êtes client et que vous avez des questions relatives à votre projet de datacenter:

Contactez votre représentant Schneider Electric  
[www.apc.com/support/contact/index.cfm](http://www.apc.com/support/contact/index.cfm)