

Comparaison de la disponibilité de diverses configurations de redondance d'alimentation en rack

Livre blanc 48

Révision 1

by Victor Avelar

> Résumé de l'étude

L'utilisation de commutateurs de transfert et la double distribution d'énergie pour l'alimentation des équipements critiques permet d'améliorer la disponibilité des systèmes informatiques. Les techniques d'analyse statistique de la disponibilité font ressortir des différences appréciables entre les diverses méthodes couramment appliquées. Le présent document étudie les mérites de différentes architectures électriques redondantes appliquées aux environnements critiques actuels. Chacun des divers scénarios a fait l'objet d'une analyse de disponibilité dont les résultats sont présentés. L'étude permet de faire ressortir la meilleure solution du point de vue des performances globales et la manière dont les autres options se comparent sur le plan des performances et du rapport coût/efficacité.

Table des matières

cliquez sur une section pour y accéder directement

Introduction	2
Solutions pour la distribution d'énergie dans les racks	2
Méthode d'analyse de la disponibilité	8
Résultats	10
Conclusion	12
Ressources	13
Annexe	14

Introduction

Lorsqu'un équipement est muni de deux alimentations redondantes, dont chacune est alimentée par un circuit séparé, on parle souvent de charge à double cordon. L'utilisation d'équipements à double alimentation est une « pratique exemplaire » permettant de maximiser la disponibilité électrique des installations informatiques par une redondance complète qui immunise les équipements contre les effets de toute panne unique affectant le système de distribution d'énergie. Cette redondance complète facilite également les opérations d'entretien et de réparation sur le système d'alimentation. Il est malheureusement notoire que la majorité des environnements d'applications critiques ne tirent pas le meilleur parti des pratiques exemplaires. Ce document étudie les mérites de différents scénarios d'architecture électrique pour un centre informatique à haute disponibilité. Chacun de ces scénarios fera l'objet d'une analyse de disponibilité dont les résultats sont présentés.

Solutions pour la distribution d'énergie dans les racks

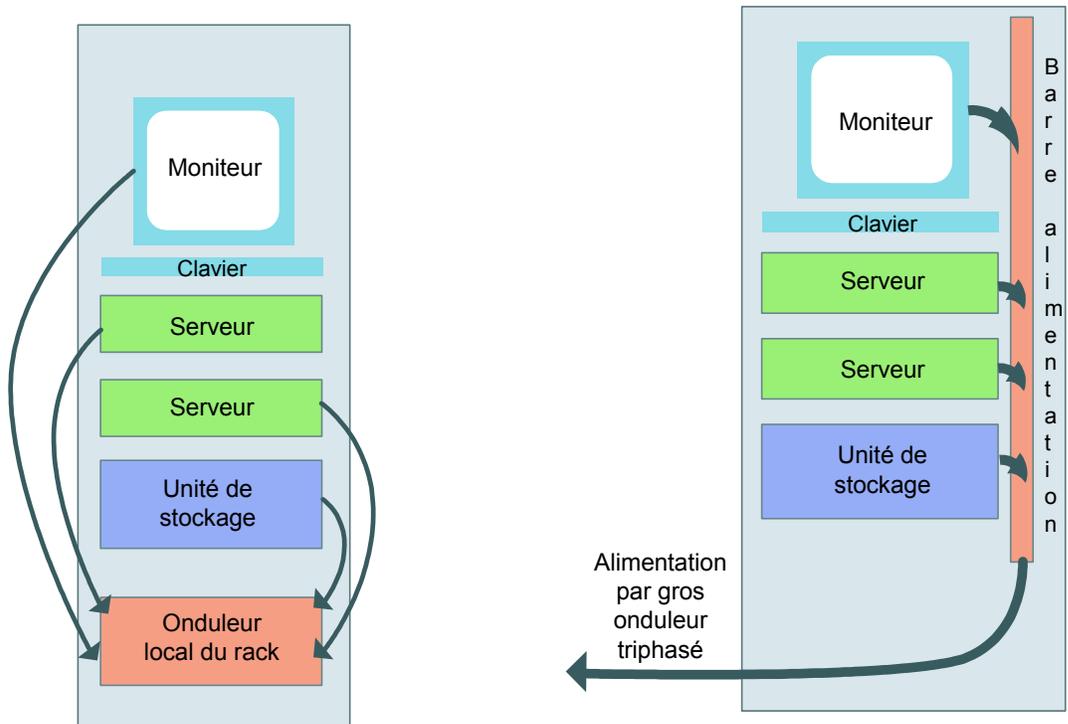
Les schémas ci-après illustrent diverses solutions permettant d'améliorer la disponibilité des équipements montés dans des racks, mais qui sont également applicables à des équipements autonomes. Ces différentes approches sont généralement choisies en fonction du niveau de disponibilité désiré, l'hypothèse étant que les coûts augmentent avec le niveau de disponibilité. Les schémas 1 et 2 illustrent deux modes typiques de distribution d'énergie dans un rack d'équipement informatique moderne.

Figure 1 (left)

Distribution type avec alimentation dans le rack

Figure 2 (right)

Distribution centralisée



Le schéma de la **figure 1** représente une configuration de distribution d'alimentation dans un rack du type utilisé dans les centres informatiques petits ou moyens, et dans les armoires de répartition. Cette configuration a l'avantage de rendre les racks plus mobiles avec leurs onduleurs à batterie interne et la protection contre les surtensions. Dans les centres de données comptant des dizaines ou des centaines de racks, la configuration centralisée de la figure 2 est plus courante. Il n'y a toutefois pas de redondance de l'alimentation au niveau du rack, dans un cas comme dans l'autre.

D'autres architectures électriques utilisent des composants de commutation entre une source d'alimentation primaire et une source d'alimentation secondaire. Ces composants comprennent les commutateurs de transfert statiques (STS) et les commutateurs de transfert automatiques (ATS). Les deux sont offerts pour des puissances d'environ 1 kW à plus de 1 MW. Ces équipements sont décrits en détail dans le Livre blanc APC 62, intitulé « Powering Single Corded Equipment in a Dual Path Environment » (Alimentation des équipements à un seul cordon dans un environnement à double circuit). Les photos ci-dessous montrent des exemples de ces commutateurs.



Commutateur automatique triphasé de 6 kVA à monter en rack



Commutateur statique triphasé de 300 kVA

Les schémas des **figures 3** et **4** illustrent deux modes de distribution de l'alimentation dans une grande installation composée d'équipements critiques. Dans les deux cas, il y a un double circuit d'entrée du commutateur statique, mais la source qui alimente l'onduleur peut être simple ou redondante, selon diverses considérations, telles que les coûts ou la possibilité de se raccorder à des sous-stations électriques différentes. La seule différence entre les deux configurations est que, dans la première (**figure 3**), il n'y a qu'un transformateur, placé en aval du commutateur statique, alors que la seconde (**figure 4**) utilise des transformateurs redondants en amont du STS. Cependant, dans les deux cas, le commutateur STS, le sous-panneau et les câblages associés constituent des points faibles à la merci d'une défaillance unique. Ces méthodes assurent donc une certaine redondance, mais les autres éléments non redondants représentent des risques de défaillance et des difficultés d'entretien potentielles.

Figure 3

Redondance jusqu'à la charge avec commutateur STS

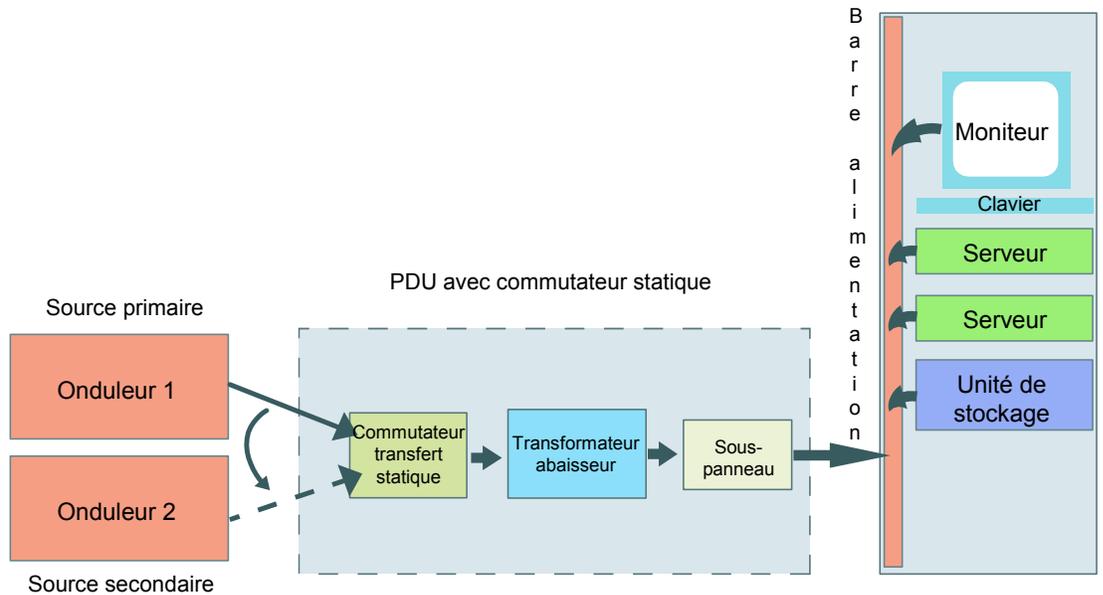
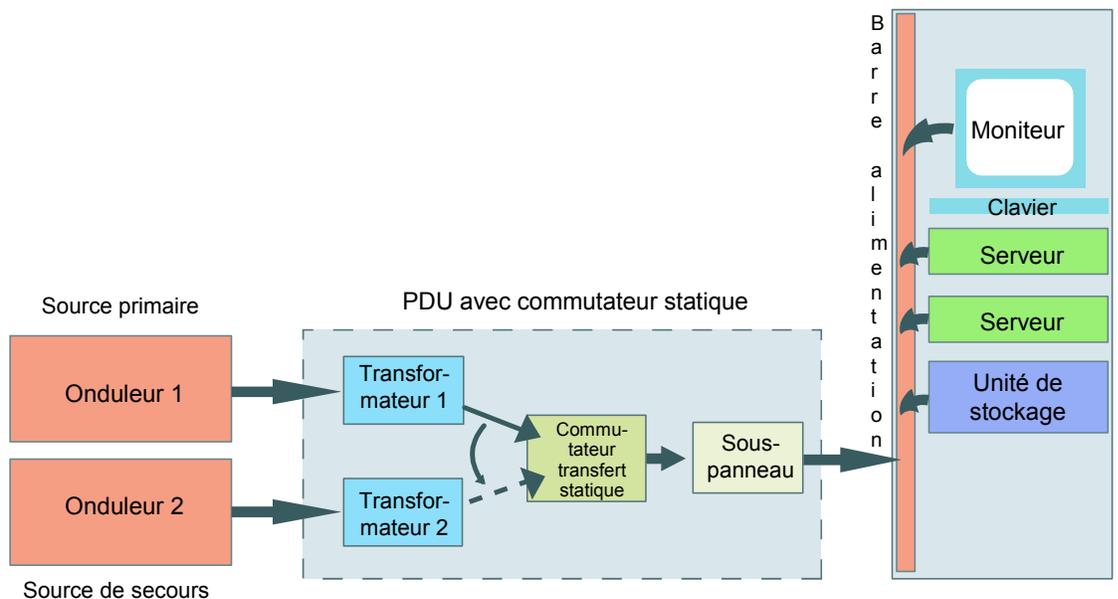


Figure 4

Redondance jusqu'à la charge avec commutateur STS (transformateurs redondants)

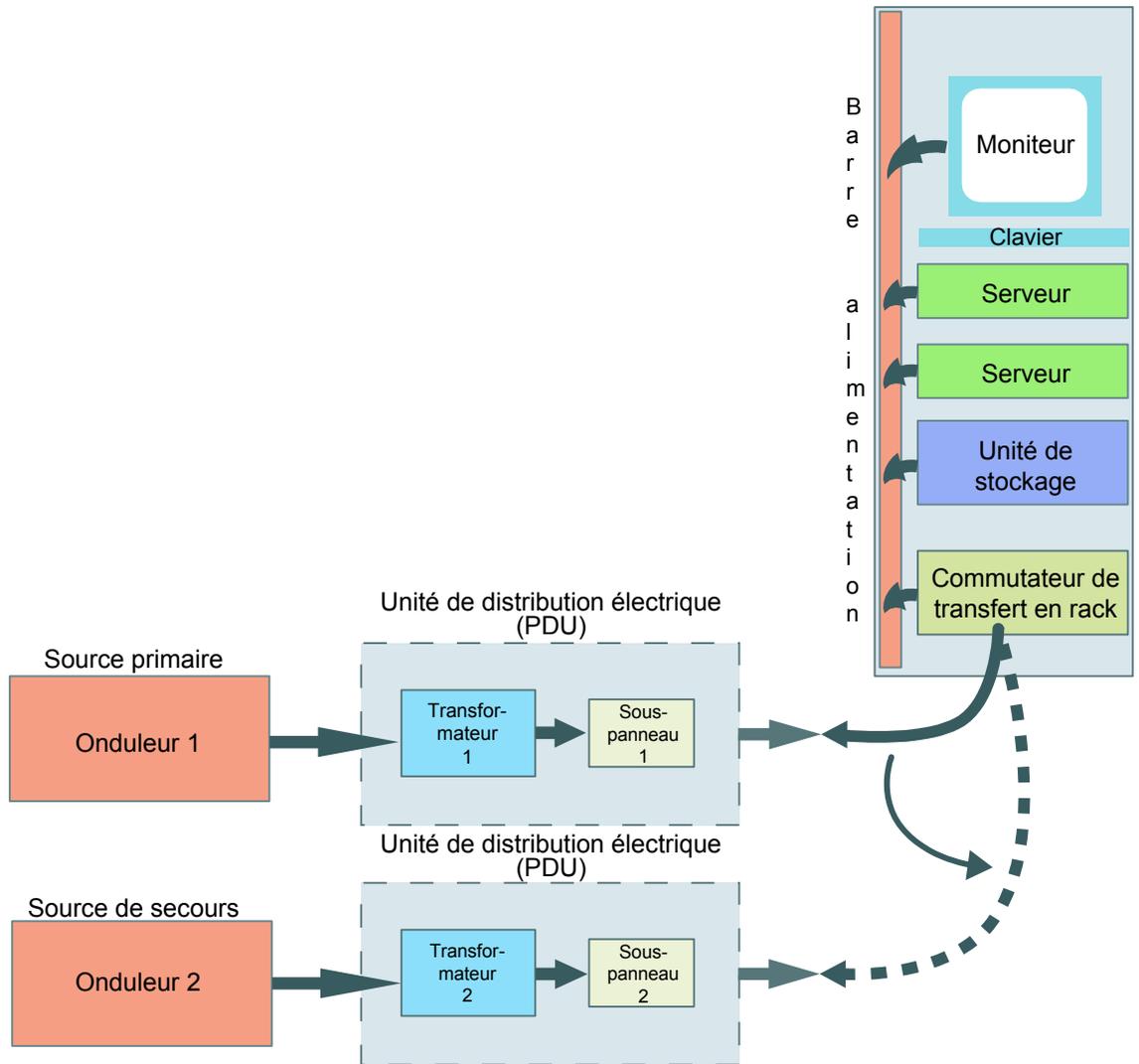


Les schémas des **figures 3 et 4** sont une amélioration par rapport aux configurations des figures 1 et 2, mais n'offrent tout de même pas une redondance complète jusqu'au niveau du rack. Malgré la présence d'onduleurs et de transformateurs redondants, le commutateur statique, le sous-panneau et les câblages associés sont exposés à des défaillances uniques.

La **figure 5** élimine les points faibles des configurations des **figures 3 et 4** en poussant la redondance jusqu'à la charge. Cette solution supprime le commutateur statique et utilise un second sous-panneau pour prolonger la redondance jusqu'à proximité de la charge qui est alimentée à travers un commutateur de transfert automatique (ATS) de rack. L'entretien de tout composant situé en amont du commutateur de rack peut se faire sans mettre la charge hors tension. Ce scénario comporte moins de composants non redondants que ceux des **figures 3 et 4**, mais le commutateur de rack reste un point faible, de même que l'alimentation unique des équipements dans le rack.

Figure 5

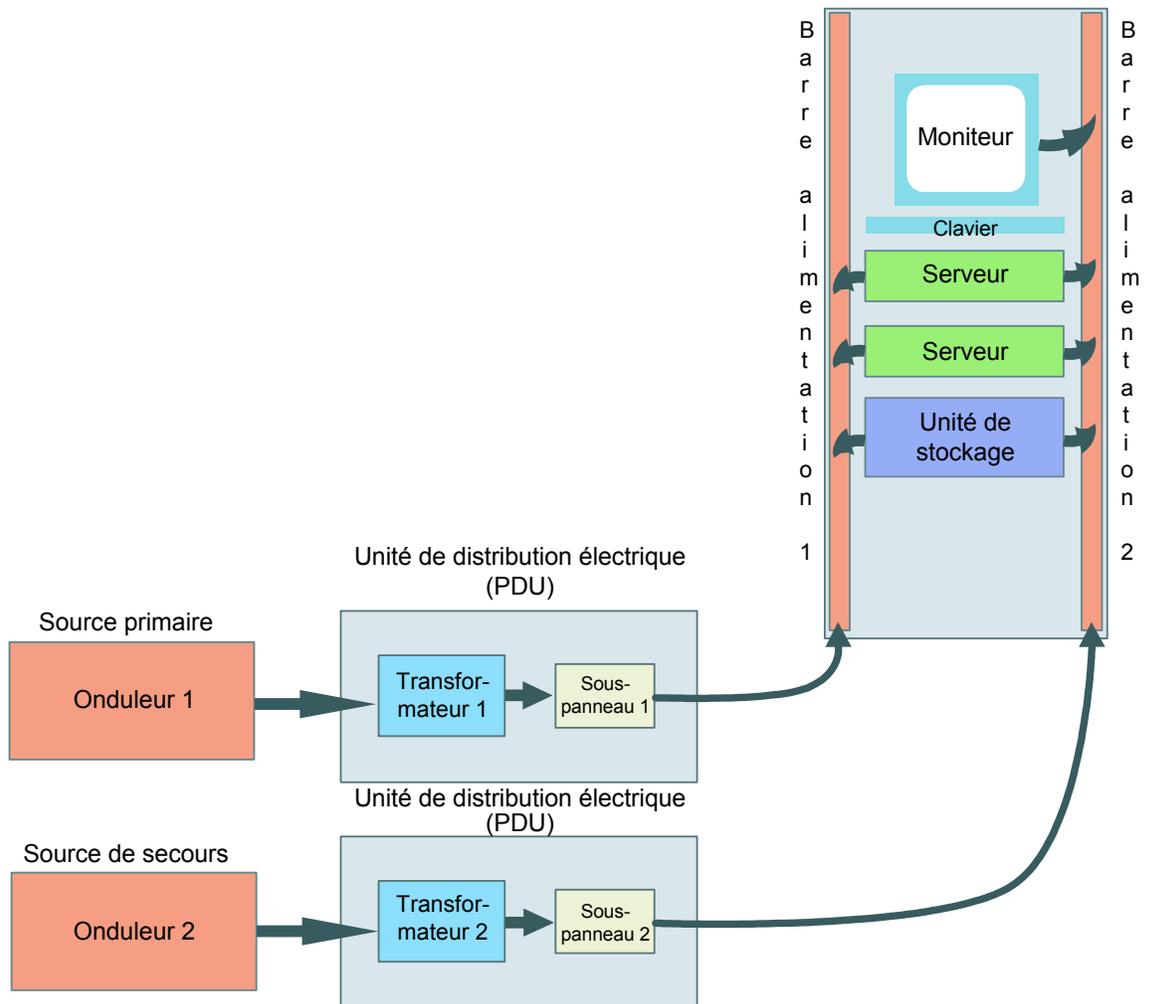
Redondance jusqu'à la charge avec commutateur de transfert automatique de rack



La **figure 6** montre comment une redondance complète peut être réalisée au moyen d'équipements à deux cordons et d'alimentations redondantes. Ce scénario introduit deux changements importants par rapport à la **figure 5** : il n'y a plus de commutateur automatique et tous les équipements du rack sont à double alimentation. La charge dispose maintenant de deux chaînes d'alimentation indépendantes. À noter que le rack comporte une seconde unité de distribution pour maintenir la redondance intégrale. Cette solution offre une meilleure disponibilité que toutes les autres décrites jusqu'ici, mais elle est aussi la plus coûteuse et elle exige des équipements à double cordon spécifiquement conçus pour cet usage.

Figure 6

Redondance jusqu'à la charge avec équipements à double cordon

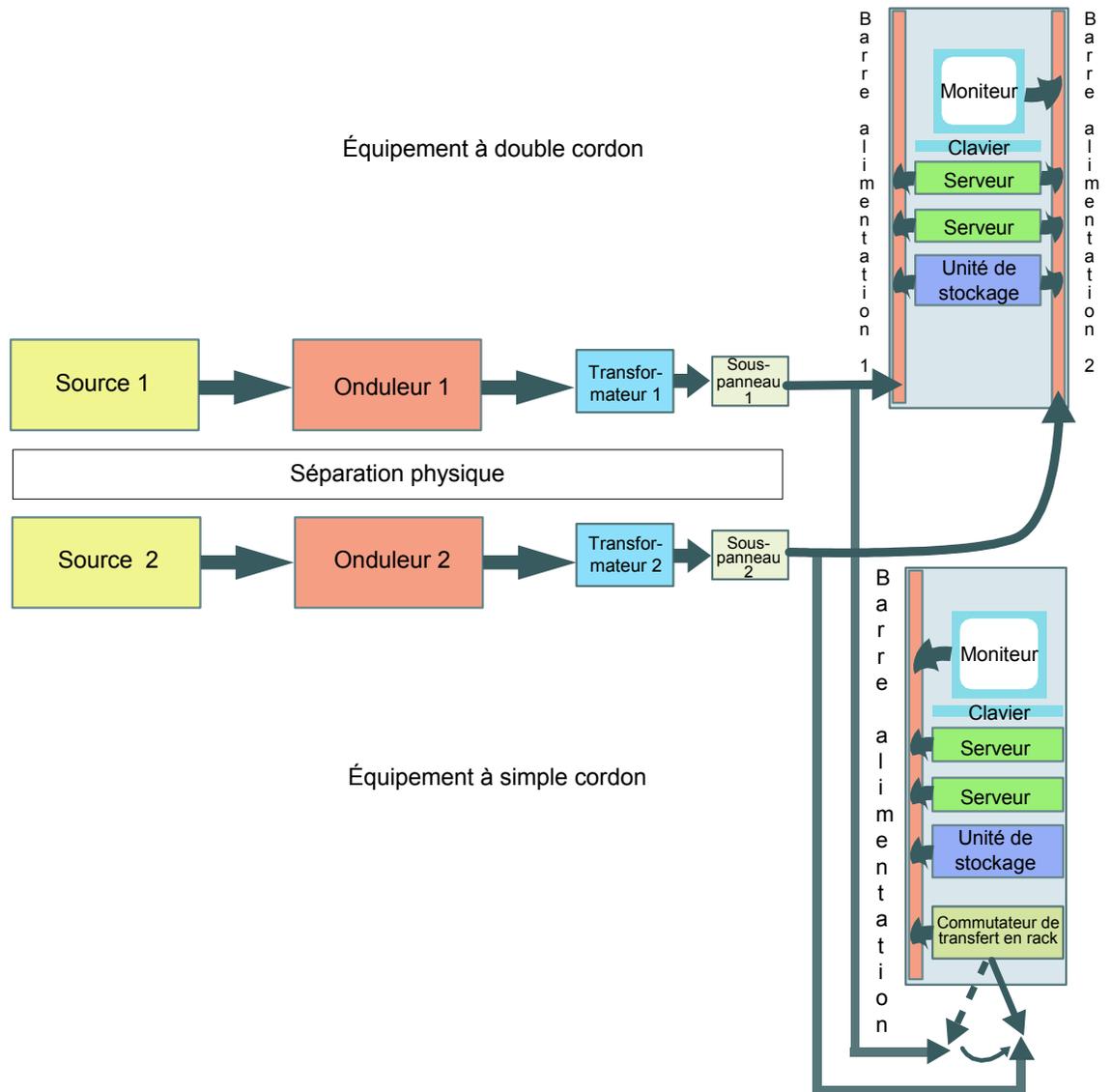


L'architecture de la **figure 7** combine celles des **figures 5** et **6**, et propose une solution permettant d'utiliser à la fois des charges à simple et à double cordon. Cette solution emploie une combinaison hybride des concepts précédemment décrits. La redondance complète de l'alimentation est assurée pour les équipements informatiques à double cordon. Pour les équipements à simple cordon, la redondance est poussée jusqu'au commutateur automatique du rack, mais le commutateur lui-même et les alimentations des équipements restent exposés à des pannes uniques.

Le schéma de la **figure 7** montre également que la séparation physique est accrue. Ce concept de « cloisonnement » consiste à éloigner physiquement les divers sous-ensembles des chaînes de distribution d'énergie principale et de secours. Bien appliqué, le principe de la séparation physique assure qu'un événement catastrophique – chute d'objets, effondrement, etc. – ne coupera pas le circuit de secours en même temps que le circuit primaire (une cause de panne assez courante).

Figure 7

Architecture de redondance pour charges à simple et double cordon



Les architectures illustrées sur les figures 3, 4, 5 et 7 utilisent des commutateurs de transfert. Avec un gros commutateur de transfert, une panne unique pourrait mettre hors service une grande partie de l'équipement, alors qu'une défaillance d'un petit commutateur n'affectera, par exemple, qu'un seul rack. Pour certains utilisateurs, la perte d'un seul rack a des conséquences économiques aussi graves que celle de 50 racks, alors que dans d'autres cas, il peut être avantageux de confiner la panne à un seul rack. Dans ce genre d'installation, la présence d'un commutateur automatique au niveau du rack offre l'avantage supplémentaire de faciliter le dé-pannage.

Un autre facteur à prendre en considération est le délai de réparation de ces commutateurs. Un petit commutateur de transfert n'est pas réparé, mais simplement remplacé lorsqu'il tombe en panne; il peut être stocké comme pièce de rechange pour une substitution rapide. On peut aussi le contourner rapidement par un « by-pass ». Un gros commutateur doit être réparé sur place et, selon le lieu, l'intervention d'un technicien peut représenter une attente de quelques heures. À ce délai, il faut ajouter le temps de diagnostic et de réparation de la panne, qui s'accroît considérablement si le technicien n'a pas la pièce avec lui. En résumé, l'évaluation des concepts les plus évolués exige d'analyser divers facteurs pour arriver à une

décision optimale. Ces temps de réparation sont pris en compte dans le modèle de disponibilité statistique décrit dans la prochaine section.

En général, les équipements à un seul cordon sont relativement pénalisants lorsqu'on recherche une haute disponibilité dans un environnement d'application critique. Cette règle est vraie non seulement pour les matériels en rack, mais aussi pour tous les équipements critiques. Même avec la meilleure construction possible, tout élément non redondant finira par connaître une défaillance qui causera une indisponibilité. Pour réaliser un véritable environnement à haute disponibilité, les points de défaillance unique du système de distribution d'énergie doivent être réduits au minimum possible, sinon éliminés complètement.

Méthode d'analyse de la disponibilité

L'analyse de disponibilité ci-après permettra de quantifier l'impact des équipements à simple cordon comparés aux équipements à double cordon. Nous allons procéder à cinq analyses de disponibilité :

- Cas n° 1 – Charge à simple cordon de la figure 2
- Cas n° 2 – Charge à simple cordon avec commutateur de transfert statique de la figure 3 (transfo unique en aval)
- Cas n° 3 – Charge à simple cordon avec commutateur de transfert statique de la figure 4 (transfos redondants en amont)
- Cas n° 4 – Charge à simple cordon avec commutateur de rack de la figure 5
- Cas n° 5 – Charge à double cordon de la figure 6

L'analyse combinatoire linéaire, également connue sous le nom de diagrammes de fiabilité, permet d'illustrer la disponibilité de l'alimentation de la charge pour chacune de ces cinq configurations. Cette méthode de modélisation est la plus directe et convient bien pour les systèmes qui ne comportent qu'un petit nombre de transitions d'états. L'analyse combinatoire linéaire opère avec les données de fiabilité définies sur un modèle de système établi pour représenter la configuration à analyser. Comme cette analyse porte essentiellement sur les différences entre les configurations, on présume que tout ce qui est en amont de l'onduleur est parfait, y compris le service électrique public. Les niveaux de disponibilité présentés ici seront donc plus élevés que dans une installation réelle.

Pour le détail de l'analyse, consulter l'**Annexe**.

Données utilisées pour l'analyse

La plupart des données utilisées pour modéliser les composants proviennent de sources indépendantes. Les données relatives au commutateur automatique de rack proviennent des données d'exploitation du Rack ATS d'APC, un produit commercialisé depuis environ 5 ans et dont le parc installé est important. Cette analyse comprend les composants clés suivants :

1. Raccordements
2. Disjoncteurs
3. Onduleurs
4. Unité de distribution électrique (PDU)
5. Commutateur de transfert statique
6. Commutateur Rack ATS

L'unité de distribution électrique est subdivisée en trois sous-composants de base : disjoncteurs, transformateur abaisseur de tension et raccordements. Le sous-panneau est évalué

pour un disjoncteur principal, un disjoncteur divisionnaire et des raccordements, le tout en série. Le composant Rack ATS n'est utilisé que dans le quatrième cas.

L'Annexe indique les valeurs et les origines des taux de défaillance $\left(\frac{1}{MTTF}\right)$ et des taux

de récupération $\left(\frac{1}{MTTR}\right)$ pour chaque sous-composant, le MTTF (Mean Time To Failure)

étant le Temps moyen observé jusqu'à défaillance et le MTTR (Mean Time To Recover) étant le Délai moyen de rétablissement.

Les taux de défaillance et les délais de réparation utilisés pour l'analyse sont donnés dans l'Annexe.

Hypothèses utilisées dans l'analyse

Comme dans toute analyse de disponibilité, des hypothèses doivent être formulées pour créer un modèle valide. Le **tableau 1** donne les hypothèses de base utilisées dans l'analyse.

Tableau 1

Hypothèses d'analyse

Hypothèse	Description
Taux de défaillance des composants	Tous les composants de l'analyse affichent un taux de défaillance constant. Il s'agit de la meilleure hypothèse, l'équipement étant uniquement utilisé pendant la durée de vie utile pour laquelle il a été conçu. Si les produits ont été utilisés au-delà de leur durée de vie utile, une non-linéarité devra être intégrée au taux de défaillance.
Équipes de réparateurs	Pour « n » composants en série, on suppose que « n » réparateurs sont disponibles.
Les composants système continuent de fonctionner	Tous les autres composants du système sont censés continuer de fonctionner normalement pendant la réparation des composants défaillants.
Indépendance des défaillances	Ces modèles utilisent la construction des architectures décrites conformément aux meilleures pratiques de l'industrie. Il en résulte une très faible probabilité de défaillances communes et de propagation en raison de leur séparation physique et électrique.
Taux de défaillance du câblage	Les câbles qui relient les composants à l'intérieur des architectures n'ont pas été pris en compte dans les calculs, car leur taux de défaillance est trop bas pour pouvoir établir des prévisions avec certitude et obtenir une pertinence statistique. De plus, d'autres expériences ont montré qu'un taux de défaillance très bas n'affecte que de façon minimale la disponibilité générale. En revanche, les principaux raccordements ont été pris en compte.
Erreur humaine	Les temps d'arrêt dus aux erreurs humaines n'ont pas été pris en compte dans cette analyse. Bien que les erreurs humaines représentent une cause importante d'arrêt des centres de données, l'objectif premier de ces modèles est de comparer les architectures des infrastructures électriques et d'identifier les faiblesses physiques à l'intérieur de ces architectures. De plus, il existe peu d'informations sur la façon dont les erreurs humaines affectent la disponibilité.
La disponibilité de l'alimentation représente le point de mesure principal	Cette analyse fournit des informations sur la disponibilité de l'alimentation. La disponibilité des processus d'entreprise est généralement inférieure, car le rétablissement de l'alimentation ne se traduit pas immédiatement par un retour de disponibilité des processus. Les systèmes informatiques ont généralement un délai de redémarrage qui représente une indisponibilité non prise en compte dans l'analyse.
Aucun avantage de la localisation des pannes	La défaillance d'un rack quelconque est considérée comme une panne équivalant à la défaillance simultanée de tous les racks. Pour certaines entreprises, la défaillance d'un seul rack aura des conséquences économiques moindres qu'une défaillance de l'ensemble des racks du centre. En pareil cas, l'analyse tendra à sous-estimer les avantages des Cas 4 et 5.

Résultats

Il est important de comprendre que le but de cette analyse est de comparer les disponibilités théoriques entre les différents cas envisagés. Comme tous les composants des cinq configurations ont les mêmes taux de défaillance, les seules différences portent sur la quantité, le MTTR et la disposition des composants. Cette méthode fournit une comparaison très parlante de l'efficacité respective des diverses architectures en matière de disponibilité.

La disponibilité est mesurée relativement à la ou aux sorties qui alimentent la charge critique. Dans chaque cas, on utilise les mêmes données de fiabilité des composants. Dans le premier cas, toute défaillance d'un composant de la chaîne d'alimentation entraîne la perte de la charge. Ce cas servira de référence de base.

Dans les cas 2 et 3, il faudrait une panne simultanée de l'un quelconque des composants de chaque circuit redondant pour que la charge cesse d'être alimentée. Cependant, toute panne d'un composant situé en aval du commutateur statique, y compris ce dernier, provoque la perte de la charge. La caractéristique remarquable de cette configuration est le peu d'effet de l'installation du commutateur statique sur la disponibilité du système. C'est parce que le commutateur statique n'est pas sensiblement plus fiable que l'onduleur qui l'alimente en amont et parce qu'il constitue un point de défaillance unique. À noter également dans le cas n° 2 que le MTTR du transformateur joue à l'encontre de l'avantage procuré par le commutateur statique.

Dans le cas n° 4, il faudrait une panne simultanée d'un composant de chaque circuit redondant pour que la charge cesse d'être alimentée. Bien qu'il soit un point de défaillance unique, le commutateur Rack ATS a un MTTR minimale, car il peut être rapidement remplacé si une unité de rechange est disponible. Le point important est que le Rack ATS, bien qu'il ne soit pas nécessairement plus fiable qu'un commutateur statique, a un MTTR beaucoup plus court qui se traduit par un avantage considérable sur le plan de la disponibilité.

Dans le cas n° 5, il faudrait une panne simultanée d'un composant de chaque circuit redondant pour que la charge cesse d'être alimentée. Le **tableau 2** résume les résultats des cinq analyses de disponibilité.

Tableau 2

Résultats des analyses de disponibilité

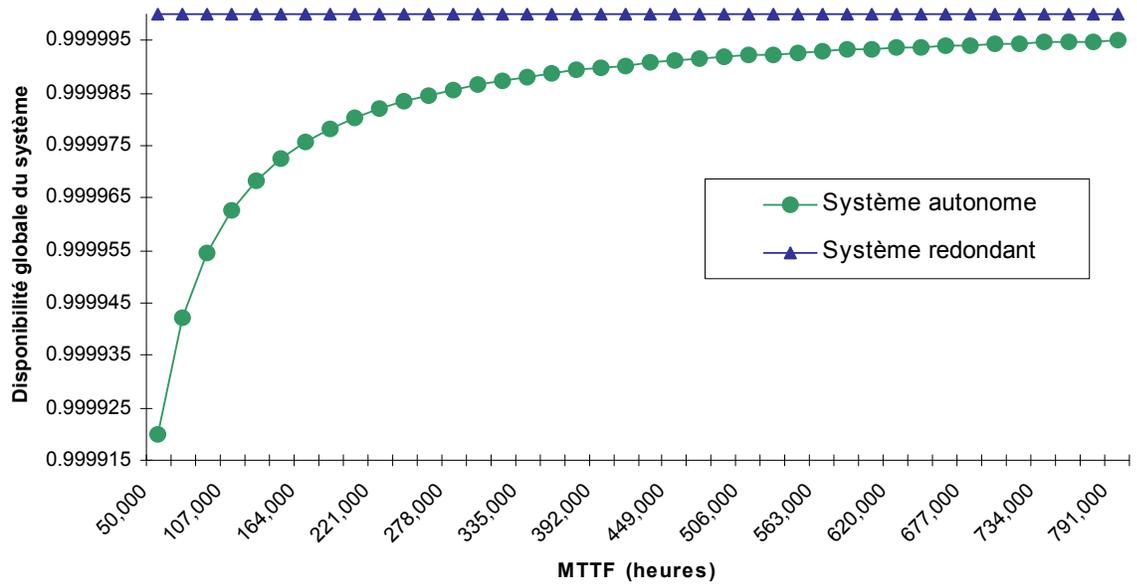
Cas	Configuration	Disponibilité	Nombre de « 9 »
Cas n° 1	Charge à simple cordon	99,985 %	3,8
Cas n° 2	Charge à simple cordon avec commutateur de transfert statique (transfo unique)	99,98596 %	3,85
Cas n° 3	Charge à simple cordon avec commutateur de transfert statique (transfos redondants)	99,99715 %	4,5
Cas n° 4	Charge à simple cordon avec commutateur Rack ATS	99,999931 %	6,2
Cas n° 5	Charge à double cordon	99,999977 %	7,6

Cette analyse met bien en évidence l'importance des équipements à double cordon lorsqu'on recherche une disponibilité maximale dans une architecture électrique à double circuit. Les avantages de ce concept élaboré ne peuvent pas être pleinement exploités avec des équipements à simple cordon, mais on peut s'en rapprocher en installant un commutateur Rack ATS.

Ces résultats montrent clairement que pour maximiser la disponibilité, la redondance doit être poussée aussi près que possible de la charge. Le graphique de la figure 8 démontre que même si la fiabilité (MTTF) d'un produit était multipliée par dix, la disponibilité obtenue ne serait pas aussi bonne qu'avec des produits moins fiables, mais redondants. Un système redondant offre une disponibilité proche de 100 %, avec un grand nombre de 9.

Figure 8

Disponibilité en fonction du MTTF



Conclusion

Dans la réalisation d'une architecture haute disponibilité, il est important d'étudier avec soin la distribution de l'alimentation aux racks. Les architectures de distribution d'alimentation décrites dans ce document assurent des disponibilités variant d'un facteur de 10 000.

L'analyse montre de manière très évidente l'importance d'utiliser des équipements à double cordon dans les centres informatiques critiques. Selon l'analyse présentée ici, une architecture électrique à redondance com-plète permet de réduire le temps d'indisponibilité d'un facteur pouvant aller jusqu'à 10 000 par rapport à une architecture d'alimentation à simple circuit.

La pratique courante d'installer des commutateurs de transfert pour améliorer la disponibilité de charges à simple cordon produit des résultats très variables selon la manière dont elle est appliquée. Dans certains cas, l'analyse montre que l'utilisation d'un gros commutateur statique ne procure que des gains insignifiants. Au contraire, le fait de placer le commutateur de transfert dans le rack permet de réduire d'un facteur de 250 l'indisponibilité liée au système d'alimentation.

De plus, la présence du commutateur de transfert au niveau du rack simplifie le dépannage et réduit les impacts, car la panne n'affecte qu'un seul rack. Enfin, la solution du commutateur de transfert dans le rack peut être appliquée sélectivement, là où c'est nécessaire, dans un environnement à double chaîne d'alimentation.

Ces constatations devraient conduire à reconsidérer la pratique courante d'installer de gros commutateurs de transfert statiques pour l'alimentation des charges à cordon unique, au profit des commutateurs au niveau du rack qui offrent des avantages importants pour des coûts du même ordre.

Plus généralement, l'analyse suggère que pour améliorer la disponibilité, il est souhaitable d'amener la redondance aussi près que possible des charges.

Quoi qu'il en soit, tout système à haute disponibilité requiert une analyse très soignée. C'est le montant que le client est prêt à investir pour sécuriser son infrastructure électrique qui dicte la solution à retenir. Pour pouvoir calculer les coûts de l'indisponibilité de son système, le client doit avoir une bonne compréhension de ses processus d'affaires. En fin de compte, c'est ce facteur qui permettra de justifier l'investissement en disponibilité électrique.



About the author

Victor Avelar is a Senior Research Analyst at APC by Schneider Electric. He is responsible for data center design and operations research, and consults with clients on risk assessment and design practices to optimize the availability and efficiency of their data center environments. Victor holds a Bachelor's degree in Mechanical Engineering from Rensselaer Polytechnic Institute and an MBA from Babson College. He is a member of AFCOM and the American Society for Quality.



Powering Single Corded Equipment in a Dual Path Environment

APC Livre blanc 62



Consultez tous les livres blancs d'APC

whitepapers.apc.com



Consultez tous les outils TradeOff Tools d'APC

tools.apc.com



Contactez-nous

Pour des commentaires sur le contenu de ce livre blanc

Data Center Science Center, APC by Schneider Electric
DCSC@Schneider-Electric.com

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

Contactez votre représentant APC by Schneider Electric

Annexe

Tableau A1

Composants et caractéristiques

Composant	Taux de défaillance	Délai de rétablissement	Origine des données	Commentaires
UPS 675 kW / 750 kVA	4.0000E-06	0.125	Failure Rate is from Power Quality Magazine, Recovery Rate data is based on assumption of 4 hours for service person to arrive, and 4 hours to repair system	•Used to supply uninterrupted 480 VAC power to the PDU.
Static transfer switch (STS)	4.1600E-06	0.1667	Gordon Associates - Raleigh, NC	•Includes controls
Step-down transformer	7.0776E-07	0.00641	MTBF is from IEEE Gold Book Std 493-1997, Page 40, MTTR is average given by Marcus Transformer Data	•Used to step down the 480 VAC input to 208 VAC outputs, which is required for 120 VAC loads.
Circuit breaker	3.9954E-07	0.45455	IEEE Gold Book Std 493-1997, Page 40	•Used to isolate components from electrical power for maintenance or fault containment.
6 Terminations	8.6988E-008	0.26316	6 x IEEE value Computed from value by IEEE Gold Book Std 493-1997, Page 41	•Upstream of the transformer, one termination exists per conductor. Since there are 2 sets of terminations between components a total of six terminations are used.
8 Terminations	1.1598E-007	0.26316	8 x IEEE value Computed from value by IEEE Gold Book Std 493-1997, Page 41	•Downstream of the transformer, one termination exists per conductor plus the neutral. Since there are 2 sets of terminations between components a total of eight terminations are used.
UPS 675 kW / 750 kVA	4.0000E-06	0.125	Failure Rate is from Power Quality Magazine, Recovery Rate data is based on assumption of 4 hours for service person to arrive, and 4 hours to repair system	•Used to supply uninterrupted 480 VAC power to the PDU.

Disponibilité d'une charge à simple cordon [Cas n° 1]

La disponibilité d'une charge à simple cordon, comme sur la **figure 2**, se calcule à partir du diagramme de fiabilité suivant. La **figure 9** représente la couche supérieure du diagramme de fiabilité qui permet de calculer la disponibilité en régime stable de la chaîne de composants en série. Ce diagramme de fiabilité comprend certains blocs composés, comme « Ensemble transformateur » ou « Ensemble sous-panneau ». Un bloc composé peut être développé selon un diagramme de fiabilité de niveau inférieur définissant ses sous-composants. Cette hiérarchie des diagrammes de fiabilité facilite les calculs de disponibilité. Le sous-panneau électrique assure l'alimentation directe des équipements critiques. Les **figures 10** et **11** détaillent les diagrammes de fiabilité de ces blocs composés.

Figure 9

Charge à simple cordon

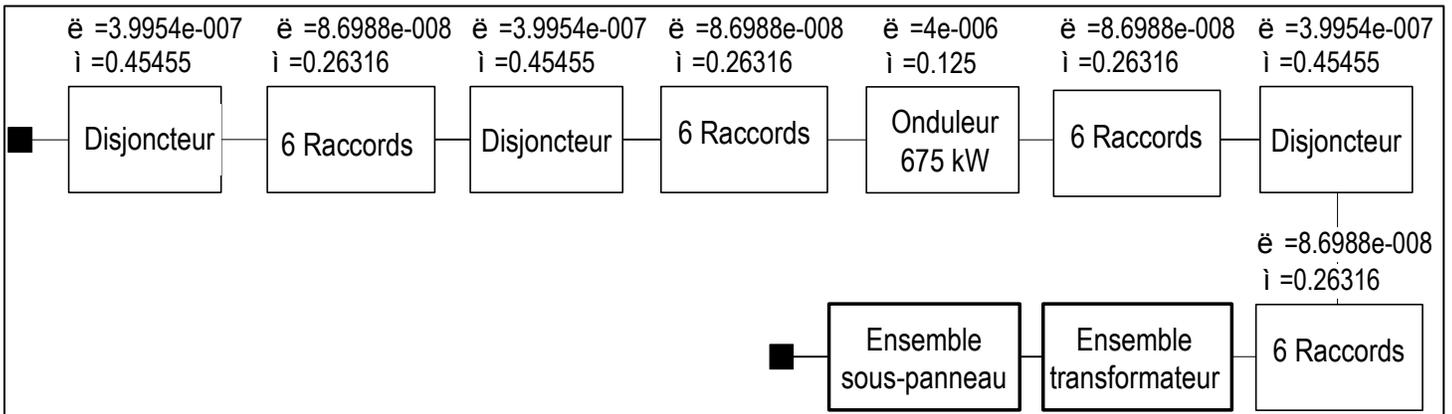


Figure 10

Ensemble transformateur

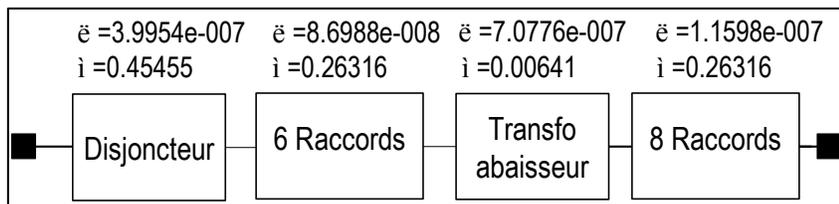
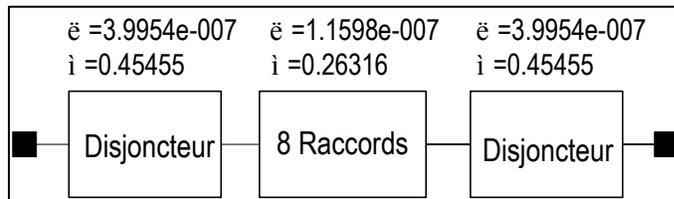


Figure 11

Ensemble sous-panneau



Les niveaux de disponibilité calculés à partir de ces diagrammes de fiabilité sont donnés ci-après.

Tableau A2

Disponibilité d'une charge à simple cordon [Cas n° 1]

Nom/modèle	Disponibilité	Taux d'indisponibilité	MTTR (heures)	MTTF (heures)	Indisponibilité/an (heures)
Charge à simple cordon	99,98498 %	1,5021E-04	19,3	128 665	1.3158
Onduleur	99,99640 %	3,5958E-05	6,5	180 291	0,31499
Ensemble transformateur	99,98879 %	1,1205E-04	85,5	763 201	0,98158
Ensemble sous-panneau	99,99978 %	2,1987E-06	2,4	1 092 825	0,01926

Comme l'analyse porte sur des données à cinq chiffres significatifs, le taux d'indisponibilité est une façon plus simple d'exprimer les résultats. Taux d'indisponibilité = 1 – Taux de disponibilité.

Disponibilité d'une charge à simple cordon avec un commutateur statique et un seul transformateur [Cas n° 2]

L'architecture de distribution de la **figure 3** utilise un commutateur statique et ajoute une redondance à tous les éléments de la chaîne situés en amont du commutateur, mais pas au transformateur qui se trouve en aval. La disponibilité de ce scénario a été calculée à partir de 7 diagrammes de fiabilité qui ont été décomposés pour plus de clarté. La **figure 12** représente la couche supérieure du diagramme de fiabilité. Le bloc « Système onduleur » est l'un des deux de la couche supérieure, ce qui signifie que tous les composants de ce bloc sont redondants. La **figure 13** détaille le contenu du bloc « système onduleur ».

Figure 12

Charge à simple cordon avec commutateur de transfert statique

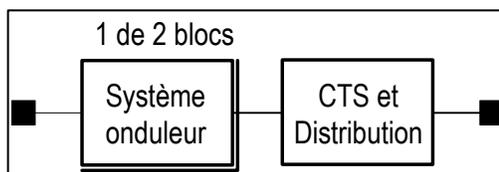
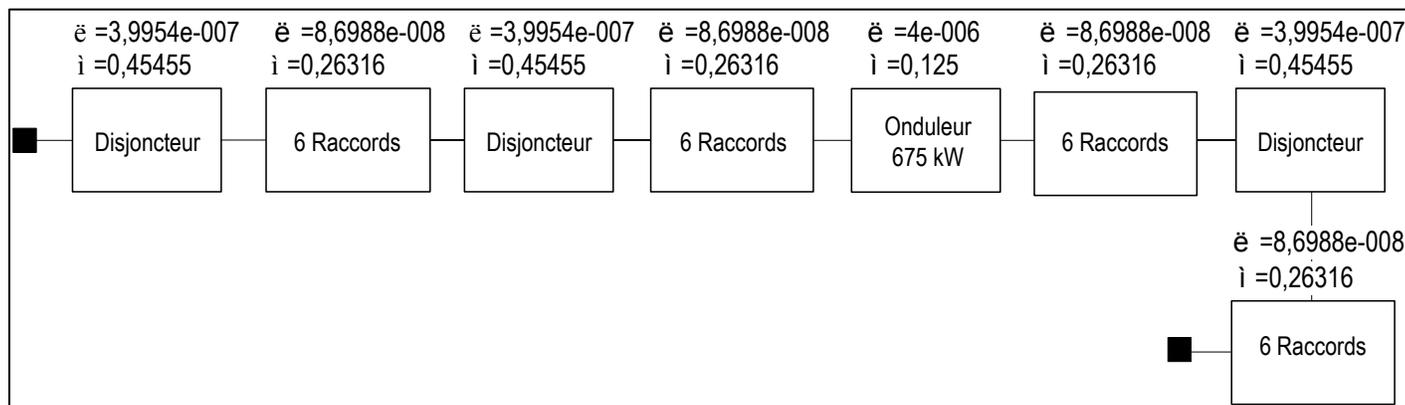


Figure 13

Système onduleur



Tous les éléments situés en amont du commutateur de transfert statique sont redondants, mais chaque composant du bloc « CTS et distribution » de la **figure 12**, constitue un point de défaillance unique. Le bloc « CTS et distribution » représente le système commutateur de transfert statique, les éléments du transformateur et les éléments du sous-panneau, comme illustré sur la **figure 14**. C'est le système du commutateur de transfert statique qui permet d'utiliser la redondance des composants situés en amont. Ce système comprend des

disjoncteurs, des raccords et le commutateur de transfert statique lui-même. La **figure 15** illustre le diagramme de fiabilité du système CTS.

Figure 14
Système CTS et distribution

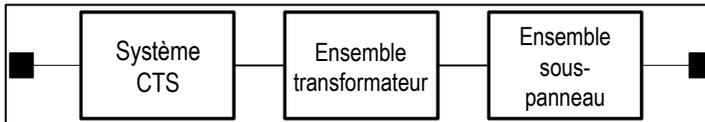
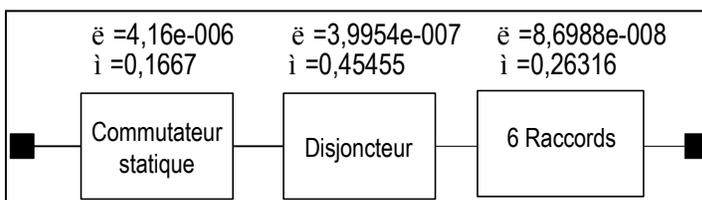


Figure 15
Système CTS



Les contenus des blocs « Ensemble transformateur » et « Ensemble sous-panneau » du diagramme de la **figure 14** sont décomposés aux **figures 16** et **17**.

Figure 16
Ensemble transformateur

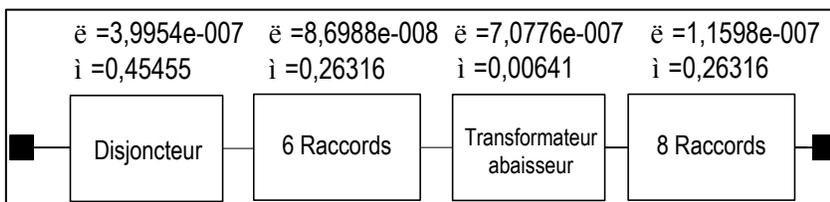
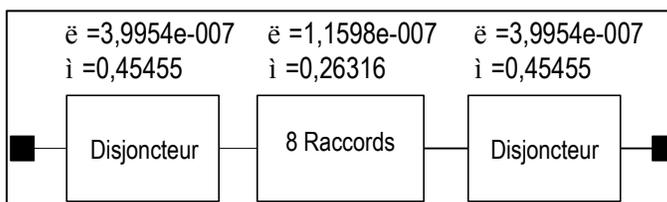


Figure 17
Ensemble sous-panneau



À partir de ces diagrammes de fiabilité, les niveaux de disponibilité suivants ont été calculés pour un système à simple cordon avec un commutateur statique et un seul transformateur.

Tableau A3

Disponibilité d'une charge à simple cordon avec commutateur statique et transformateur unique [Cas n° 2]

Nom/modèle	Disponibilité	Taux d'indisponibilité	MTTR (heures)	MTTF (heures)	Indisponibilité/an (heures)
Charge à simple cordon avec commutateur statique (1 Transformateur)	99,98596%	1,4041E-04	20,4	145 513	1,23002
Système onduleur	99,9999987%	1,2930E-09	6,5	5 025 125 628	0,00001
Onduleur unique	99,99640%	3,5958E-05	6,5	180 291	0,31499
CTS et distribution électrique	99,98596%	1,4041E-04	20,4	145 518	1,23001
Système CTS	99,99738%	2,6164E-05	5,6	215 214	0,22920
Ensemble transformateur	99,98879%	1,1205E-04	85,53	763 201	0,98158
Ensemble sous-panneau	99,99978%	2,1987E-06	2,4	1 092 825	0,01926

Disponibilité d'une charge à simple cordon avec un commutateur statique et des transformateurs redondants [Cas n° 3]

L'architecture de distribution de la **figure 4** utilise un commutateur statique et ajoute une redondance à tous les éléments de la chaîne situés en amont du commutateur, y compris le transformateur. La disponibilité de ce scénario a été calculée à partir de 7 diagrammes de fiabilité similaires à ceux du cas précédent. La **figure 18** représente la couche supérieure du diagramme de fiabilité. Le bloc « Système onduleur et transformateur » est l'un des deux de la couche supérieure, ce qui signifie que tous les composants du bloc sont redondants. La **figure 19** détaille le contenu du bloc « Système onduleur et transformateur ». Le bloc « Ensemble transformateur » est constitué des mêmes éléments que ceux de la **figure 16**.

Figure 18

Charge à simple cordon avec commutateur de transfert statique

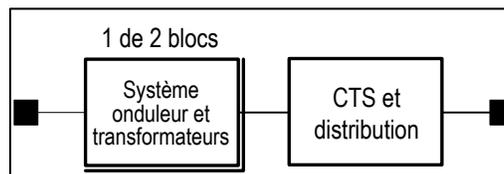
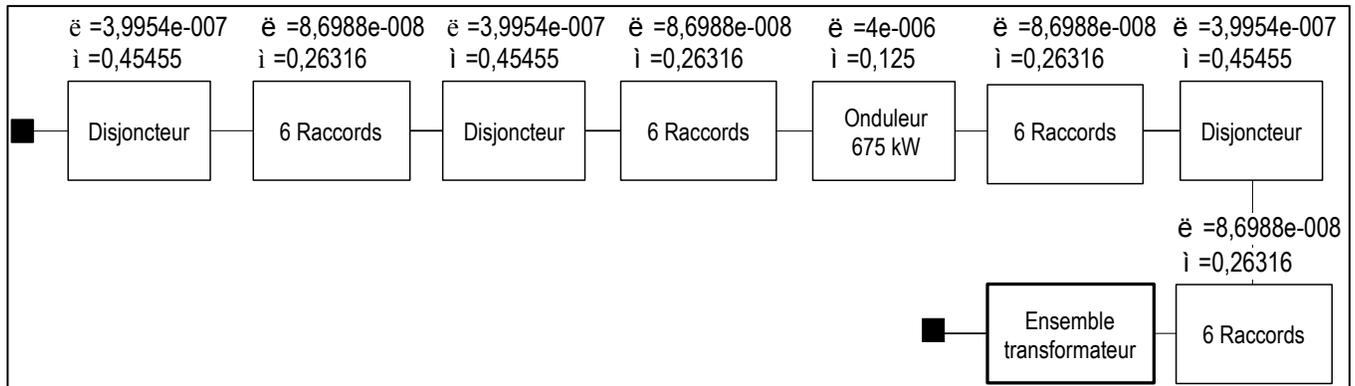


Figure 19

Système onduleur et transformateur



Dans ce cas, le bloc « CTS et distribution » de la **figure 20** ne comprend que le système CTS et l'ensemble sous-panneau, car le transformateur a été reporté en amont où il constitue un composant redondant. Le « Sys-tème CTS » de ce scénario est identique à celui de la **figure 16**, sauf qu'il comporte 8 raccordements au lieu de 6, comme illustré à la **figure 21**. Les composants du bloc « Ensemble sous-panneau » sont identiques à ceux de la **figure 17**.

Figure 20

Système CTS et distribution

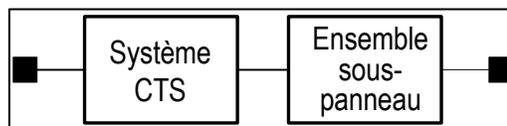
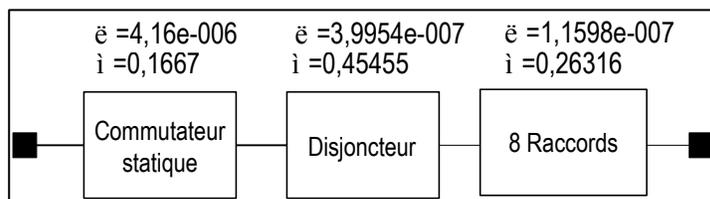


Figure 21

Système CTS



À partir de ces diagrammes de fiabilité, les niveaux de disponibilité suivants ont été calculés pour un système à simple cordon avec un commutateur statique et des transformateurs redondants.

Tableau A4

Disponibilité d'une charge à simple cordon avec commutateur statique et transformateurs redondants [Cas n° 3]

Nom/modèle	Disponibilité	Taux d'indisponibilité	MTTR (heures)	MTTF (heures)	Indisponibilité/an (heures)
Charge à simple cordon avec commutateur statique (2 transfos)	99,99715%	2,8495E-05	5,1	178 839	0,24961
Système onduleur et transformateurs	99,999978%	2,1906E-08	21,6	985 221 675	0,00019
Système onduleur	99,99640%	3,5958E-05	6,5	180 291	0,31499
Ensemble transformateur	99,98879%	1,1205E-04	85,5	763 201	0,98158
CTS et distribution	99,99715%	2,8473E-05	5,1	178 872	0,24942
Système CTS	99,99737%	2,6274E-05	5,6	213 880	0,23016
Ensemble sous-panneau	99,99978%	2,19867E-06	2,4	1 092 825	0,01926

Disponibilité d'une charge à simple cordon avec Rack ATS [Cas n° 4]

La disponibilité d'une charge à simple cordon associée à un commutateur automatique Rack ATS est calculée à partir du diagramme de fiabilité de la **figure 22**, qui représente seulement la couche supérieure. Ce modèle amène la redondance jusqu'au niveau du rack, mais le commutateur Rack ATS reste un point de défaillance unique. La **figure 23** détaille les composants du bloc « Système onduleur et distribution ». Les contenus des blocs « Ensemble transformateur » et « Ensemble sous-panneau » sont respectivement identiques à ceux des **figures 16** et **17**.

Figure 22

Charge à simple cordon avec commutateur Rack ATS

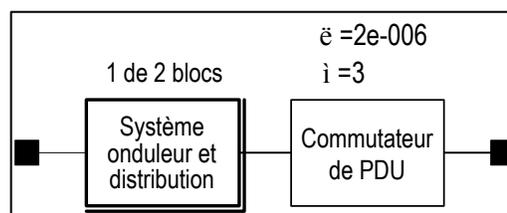
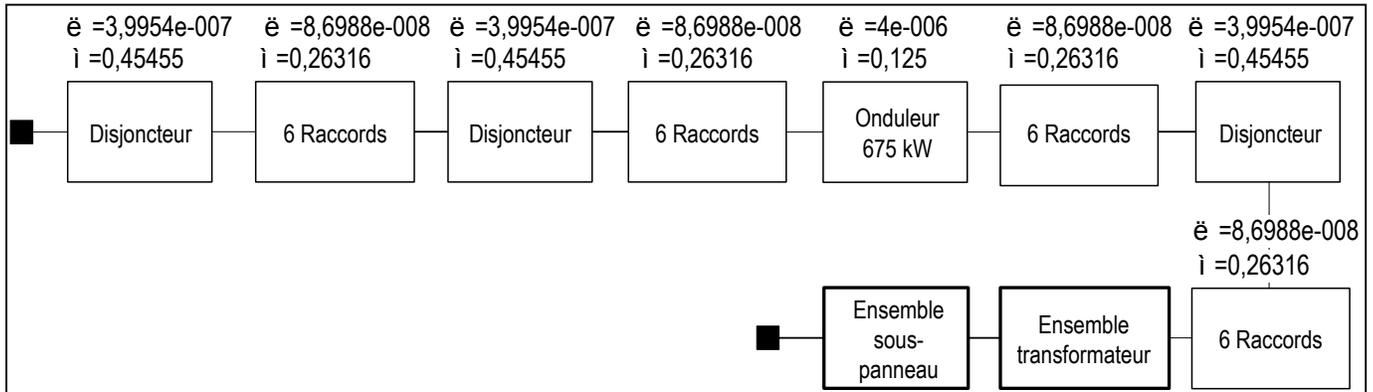


Figure 24

UPS system & distribution



Les niveaux de disponibilité du système à simple cordon et Rack ATS, calculés à partir de ces diagrammes de fiabilité, sont donnés ci-après.

Tableau A5

Disponibilité d'une charge à simple cordon avec commutateur Rack ATS [Cas n° 4]

Nom/modèle	Disponibilité	Taux d'indisponibilité	MTTR (heures)	MTTF (heures)	Indisponibilité/an (heures)
Charge à simple cordon avec commutateur Rack ATS	99,999931 %	3,558950E-07	0,4	499 705	0,00604
Système onduleur et distribution	99,999998 %	2,2562E-08	19,3	856 898 029	0,00018
Ensemble transformateur	99,98879 %	1,1205E-04	85,5	763 201	0,98158
Ensemble sous-panneau	99,99978 %	2,1987E-06	2,4	1 092 825	0,01926
Commutateur Rack ATS	99,999933%	3,3333E-07	0,3	500 000	0,00584

Dans ce cas, le simple fait d'ajouter une autre unité PDU améliore la disponibilité dans des proportions considérables. Toutefois, le commutateur automatique Rack ATS reste le maillon faible du système et limite la disponibilité globale à six 9. De ce fait, le Rack ATS devrait toujours être sélectionné en fonction de sa fiabilité, et il faut toujours avoir des pièces de rechange sur place pour minimiser les délais de réparation (MTTR).

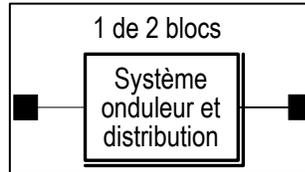
Disponibilité d'une charge à double cordon [Cas n° 5]

La disponibilité d'une charge à double cordon (**figure 6**) est calculée à partir du diagramme de fiabilité de la **figure 24**, qui représente seulement la couche supérieure. Comme pour le système à commutateur Rack ATS, ce diagramme de fiabilité permet de calculer la disponibilité en régime stable à partir des taux de défaillance et des délais de rétablissement de l'ensemble onduleur et des unités PDU ; il ne comporte cependant pas de Rack ATS car la

charge est à double cordon et est alimentée par des circuits entièrement redondants. Il suffit que l'un de ces deux circuits soit fonctionnel pour que les charges critiques fonctionnent normalement. Ce système ne comporte aucun point de défaillance unique. En fait, même les blocs d'alimentation des charges critiques sont redondants.

Figure 24

Charge à double cordon



Les diagrammes de fiabilité de niveau inférieur du bloc « Système onduleur et distribution » sont identiques à ceux des figures 9 à 11.

Les niveaux de disponibilité des charges à double cordon calculés à partir de ces diagrammes sont donnés ci-après.

Tableau A6

Disponibilité d'une charge à simple cordon [Cas n° 5]

Nom/modèle	Disponibilité	Taux d'indisponibilité	MTTR (heures)	MTTF (heures)	Indisponibilité/an (heures)
Charge à double cordon	99,9999977 %	2,2562E-08	19,3	856 898 029	0,0001976
Système onduleur et distribution	99,9999977 %	2,2562E-08	19,3	856 898 029	0,0001976
Ensemble transformateur	99,98879 %	1,1205E-04	85,5	763 201	0,98158
Ensemble sous-panneau	99,99978 %	2,1987E-06	2,4	1 092 825	0,01926

Dans ce dernier cas, la disponibilité de l'ensemble « Système onduleur et distribution » est la même que dans le cas précédent, mais la disponibilité globale est maintenant dans les sept 9. La différence essentielle est que les équipements à double cordon n'ont pas besoin d'un commutateur Rack ATS. Comme on l'a vu dans l'analyse du cas précédent, le commutateur automatique Rack ATS est un point de défaillance unique qui limite la disponibilité globale à six « 9 ».