

# Analyse de fiabilité du système d'alimentation APC InfraStruXure®

## Livre Blanc 111

Révision 2

Par Stephen Fairfax, M Technology, Inc.  
Neal Downing, M Technology, Inc.  
Dan Healey, M Technology, Inc.

### Résumé Général

La gamme de produits APC InfraStruXure® offre une architecture alternative à l'ASI centrale. MTechnology, Inc. a employé les techniques d'évaluation probabiliste du risque (PRA) pour estimer la fiabilité de l'alimentation assurée par une ASI InfraStruXure de 40 kW et une unité de distribution de l'énergie (PDU) à bypass statique. Les calculs ont tenu compte de la performance du système InfraStruXure dans des conditions idéales et réelles. L'étude compare également la performance de l'architecture InfraStruXure à celle d'une ASI centrale desservant une charge critique hypothétique de 500 kW dans un datacenter. Les résultats ont montré que l'architecture InfraStruXure était considérablement moins exposée à une panne de toutes les charges du datacenter et légèrement moins exposée à une panne dans l'un des équipements informatiques individuels. Cet article récapitule les résultats essentiels de l'évaluation quantitative du risque effectuée par MTechnology et étudie leurs implications pour les gestionnaires et les concepteurs de sites. Les résultats sont présentés en premier lieu, suivis d'une description des méthodes utilisées pour analyser le produit et d'une étude plus détaillée des résultats.

## Résultats

1. La fiabilité calculée du produit APC est comparable aux données publiées par les fournisseurs d'ASI centrales de grande capacité.
2. La comparaison d'un datacenter hypothétique desservi par une seule ASI de 500 kW ou par 14 ASI InfraStruXure® a démontré que l'approche APC est considérablement moins exposée à une panne complète du système. Les pannes des équipements communes aux deux approches, comme l'ATS, représentaient la plus importante cause de panne du système.
3. La redondance assurée par l'InfraStruXure améliore sans aucun doute la fiabilité du produit.
4. MTech a analysé les causes et les effets des pannes de module d'alimentation et déterminé que, bien qu'elles soient observées plus fréquemment, cette augmentation est plus que compensée par les avantages apportés par la redondance.
5. L'étude détaillée des mécanismes de panne de cause commune et des modes de panne potentiellement catastrophiques susceptibles de provoquer la panne de l'ASI n'a pas produit de réductions significatives de la fiabilité calculée du produit.
6. Les résultats sont très insensibles au taux de panne supposé du secteur. En d'autres termes, l'InfraStruXure fonctionne comme prévu et isole les équipements du client des effets transitoires et des coupures du secteur.
7. Bien que nous n'ayons pas crédité les produits ou les composants APC de taux de panne réduits, la conception modulaire d'APC et l'important volume produit associé permettent l'utilisation de cellules de fabrication dédiées qui produisent à plus bas coût et avec moins de défauts. APC produit cinq modules d'alimentation lorsqu'un concept non modulaire de la même capacité en produit un. Ceci autorise une croissance plus rapide de la fiabilité de la gamme de produits.
8. L'utilisation d'un câblage de distribution fabriqué en usine au sein de l'architecture InfraStruXure lui confère un avantage considérable par rapport aux systèmes de distribution câblés sur site pour les produits d'ASI centralisés. Le câblage de distribution crée de multiples occasions d'introduire des défauts de câblage, potentiellement susceptibles de provoquer la perte d'alimentation des charges critiques. Notre processus d'analyse du câblage sur site par rapport au câblage en usine a établi que la probabilité de défauts dans les systèmes produits sur site est 1 500 fois plus élevée que pour un système équivalent préparé en usine. Dans cette analyse, nous n'avons pas crédité APC d'un taux de panne réduit, ni pénalisé l'ASI centrale avec des taux de panne plus élevés.

## Présentation générale

American Power Conversion Corp. (Schneider Electric) a choisi MTechnology, Inc. (MTech) pour réaliser une analyse de fiabilité de l'ASI InfraStruXure 40 kW et de la PDU à bypass statique (InfraStruXure). APC souhaitait étudier l'utilité des techniques d'évaluation probabiliste du risque (PRA) pour appréhender la fiabilité du produit, identifier les sources de panne éventuelles et évaluer le potentiel d'amélioration du produit en termes de fiabilité et de disponibilité. L'InfraStruXure utilise la redondance de nombreux composants et une technologie échangeable pour atteindre une fiabilité et une disponibilité élevées. APC commercialise la gamme de produits InfraStruXure sous forme de solution évolutive « payez à mesure de votre développement », dimensionnée pour desservir une ou plusieurs rangées de racks d'équipements. Cette stratégie offre une alternative à l'emploi d'une seule ASI centrale de grande capacité desservant un datacenter complet.

MTechnology, Inc. (MTech) applique des techniques d'analyse de fiabilité formelles et quantitatives au marché 7x24 depuis 1997. MTech a adapté les techniques PRA à l'étude de la réalisation d'une haute fiabilité et d'une haute disponibilité dans l'environnement 7x24 en tirant parti des décennies d'expérience et des millions de dollars investis dans le développement de la fiabilité de l'industrie de l'énergie nucléaire américaine. MTech compte parmi ses

clients des fournisseurs d'électricité, des fabricants, des bureaux d'études ainsi que des propriétaires et des exploitants de sites stratégiques.

MTech a réalisé une analyse détaillée de l'ASI InfraStruXure 40 kW et de la PDU à bypass statique. La technique d'analyse principale reposait sur l'arbre de pannes, complétée par l'analyse de l'arbre des événements et une actualisation bayésienne pour déterminer le taux de panne des composants à partir de données peu abondantes.

L'étude incluait l'analyse du produit en isolation, l'analyse dans un environnement de datacenter type et une analyse de fiabilité comparative par rapport à une ASI centrale type au sein du même datacenter. L'analyse incluait une étude détaillée de la conception électrique et mécanique, de la vérification technologique et de l'essai de validation, des techniques de fabrication et de la performance des appareils en service effectif. MTech a interrogé l'équipe du bureau d'études, l'équipe d'assistance du produit, les bases de données commerciales et d'après-vente et les cadres de la direction d'APC. Plusieurs ingénieurs de la société se sont rendus au bureau d'études d'APC à Kolding, Danemark et ont étroitement collaboré avec les concepteurs du produit et les techniciens d'assistance pour vérifier et extrapoler le modèle mathématique construit pour évaluer la fiabilité et la disponibilité du produit.

## Introduction

La dépendance croissante aux systèmes d'information qui fonctionnent 24h/24 et 7j/7 a engendré une industrie à forte croissance et développement rapide, fournissant des produits et services à ce marché relativement nouveau. Autrefois dominées par les grandes institutions financières et les grandes bases de données professionnelles sur ordinateurs centraux, comme les systèmes de réservation des compagnies aériennes, la nécessité et l'utilité des services d'information à la demande touchent désormais pratiquement toutes les entreprises et bureaux, partout dans le monde.

La fiabilité de l'alimentation électrique constitue un fondement essentiel de ces services à la demande. Les réseaux électriques sont incapables de fournir une énergie de la qualité et de la fiabilité requises. Les systèmes de protection de tous les réseaux électriques sont conçus pour couper l'alimentation afin de protéger les personnes et les équipements des effets d'un contact accidentel avec des conducteurs sous tension ou des pannes d'équipement.

L'ASI représente le produit de prédilection pour améliorer la fiabilité de l'alimentation électrique. L'ASI conditionne l'alimentation du secteur de sorte à fournir aux équipements protégés, ou charge critique, une tension et un courant globalement parfaits. L'ASI intègre également des batteries (ou d'autres dispositifs de stockage de l'énergie) qui maintiennent le flux d'alimentation à la charge critique en cas de panne du secteur. Les ASI sont fabriquées depuis des décennies et APC en produit depuis 1984.

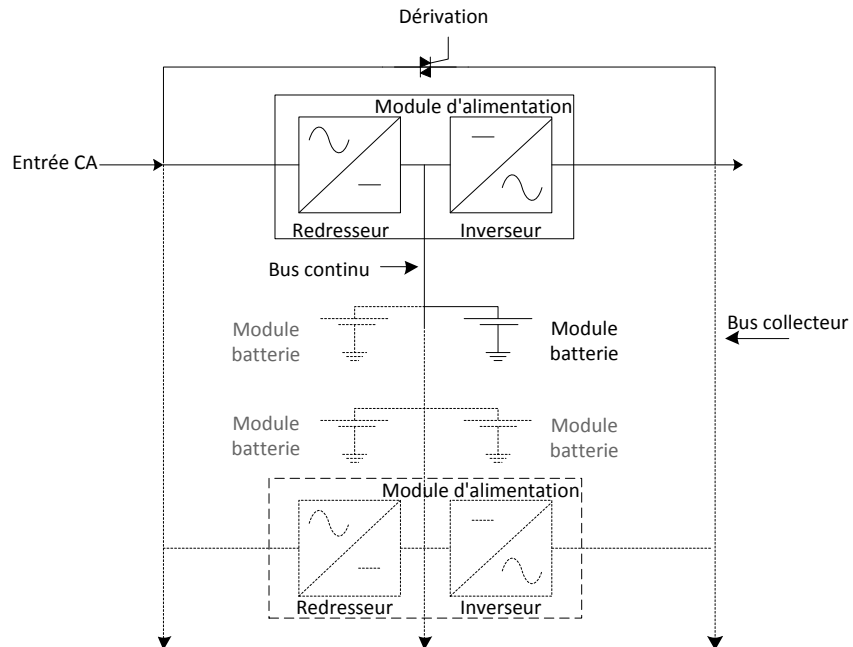
Bien qu'il existe de nombreux concepts d'ASI anciens et actuels, l'InfraStruXure et la plupart des produits ciblant le marché du datacenter utilisent une architecture à double conversion, comme illustré à la Figure 1. L'alimentation CA du secteur est redressée en CC. Le bus CC connecte le redresseur à une batterie (généralement composée de plusieurs blocs d'accumulateurs série et parallèles) et à l'onduleur. L'onduleur synthétise une tension CA exempte des effets de pointes, creux, harmoniques et microcoupures du secteur.

La sortie de l'onduleur est connectée en parallèle à la sortie d'un commutateur de bypass statique. Le bypass est fermé en cas de panne du redresseur ou de l'onduleur, ou lorsqu'un défaut électrique dans la charge critique exige davantage de courant que l'ASI ne peut en fournir.

Le bus collecteur connecte le bypass et une ou plusieurs sorties de l'onduleur. Certaines ASI emploient plusieurs onduleurs pour produire des capacités de puissance supérieures ou pour assurer la redondance. Les systèmes à plusieurs onduleurs comptent généralement

plusieurs redresseurs ; l'assemblage d'un redresseur et d'un inverseur constitue un module d'alimentation.

Les éléments de la Figure 1 tracés en pointillés sont facultatifs ; par exemple, certaines installations d'ASI, mais pas toutes, utilisent des chaînes batterie parallèles ou plusieurs modules d'alimentation.



**Figure 1**

*This is the figure description which is centered vertically on the figure*

L'architecture d'ASI à double conversion est pénalisée en termes d'efficacité car les deux conversions produisent certaines déperditions. Le concept a été largement adopté car il n'exige aucune commutation active ni autres actions positives en cas de panne de l'alimentation du secteur. La batterie commence à se décharger dès que la tension du bus CC chute et l'onduleur fonctionne comme si l'alimentation était disponible.

L'ASI fonctionne très bien et les approches conceptuelles standard dominant ce secteur sont relativement peu nombreuses. L'un des problèmes liés au lancement d'un nouveau produit sur un marché consiste à démontrer au client que le nouveau produit fonctionne aussi bien, si ce n'est mieux, que les anciennes solutions. Ce problème est aigu sur le marché des ASI, car pratiquement toutes les installations sont conçues sur mesure, avec des équipements externes, des conditions et des pratiques d'exploitation qui rendent très difficile toute comparaison de performance entre les différentes installations. La réussite d'une solution d'ASI présente un obstacle supplémentaire : les pannes sont relativement rares et les sources de données fiables sur les pannes des différents modèles sont peu nombreuses, voire inexistantes. Les revendications de fiabilité de la plupart des principaux fournisseurs d'ASI sont équivalentes à moins d'une panne par siècle d'utilisation. Toutefois peu de datacenters ou d'ASI sont exploités plus de 20 ou 30 ans.

Il est possible de lancer un nouveau produit et d'observer ensuite le nombre de pannes afin d'en déterminer la fiabilité. Cette approche présente de nombreux inconvénients. En premier lieu, le client devient un sujet d'expérimentation. Ensuite, un appareil de conception ou fabrication médiocre étant susceptible de ne pas tomber en panne souvent, des mois ou plus probablement des années d'observation peuvent s'écouler avant que des différences de valeur statistique puissent être démontrées. Enfin, la fiabilité des systèmes critiques (avions, anti-blocage des freins et commutateurs téléphoniques, par exemple) nécessite l'observation de vastes parcs de composants pratiquement identiques sur de longues périodes. Le

marché actuel de l'ASI a évolué et inclut un nombre important de datacenters spécialement conçus. Le concept de chaque datacenter est unique et les ASI qu'il contient sont exposées à des environnements d'exploitation et des pratiques de gestion uniques. Les fournisseurs d'ASI ont naturellement réagi avec une gamme toujours grandissante de solutions sur mesure et personnalisables, capables de répondre à toutes les caractéristiques conceptuelles possibles du dernier datacenter construit sur mesure.

Il serait certainement plus efficace et moins coûteux de mettre en œuvre des moyens pour connaître la fiabilité d'un nouveau produit avant d'exposer des milliers de clients à des erreurs potentielles compromettant la fiabilité. Il serait en outre extrêmement utile de savoir lesquelles parmi plusieurs offres concurrentes présentent la meilleure fiabilité au moindre coût. Les concepteurs du produit seraient très désireux de savoir quels composants et sous-systèmes jouent le rôle le plus important dans la fiabilité globale du produit. Les techniciens d'assistance des produits, chargés d'en suivre la performance en utilisation réelle ainsi que d'identifier et de mettre en œuvre rapidement les modifications nécessaires pour corriger les défauts et déficiences, bénéficieraient d'une feuille de route identifiant les composants les plus susceptibles de tomber en panne. Les écarts par rapport aux prévisions de la feuille de route permettraient d'identifier de nouvelles zones d'investigation plus intensive et d'éventuelles mesures correctives.

L'évaluation probabiliste du risque (PRA) a été mise au point en premier lieu pour répondre à l'exaspération des concepteurs des premières fusées, frustrés par la litanie apparemment sans fin des causes de panne de leurs chers véhicules. L'analyse mathématique a rapidement montré qu'au sein d'un système hautement connecté comme une fusée ou un datacenter, le vieil adage voulant qu'une chaîne ne soit aussi solide que son maillon le plus faible n'avait plus cours. La chaîne prend l'aspect d'un filet comportant de nombreux maillons faibles et passages inconnus reliant les zones entre elles. Les pannes d'une partie du filet placent des contraintes nouvelles et différentes sur d'autres pièces et les affaiblissent. Il en résulte un environnement où même les moindres petites perturbations déclenchent une cascade de pannes qui aboutissent à la panne totale du système.

La méthode PRA a été appliquée à grande échelle dans l'industrie de l'énergie nucléaire américaine, au premier chef pour rassurer le public quant à la sécurité. Après que les événements de Three Mile Island (TMI) ont menacé la viabilité de l'ensemble de cette industrie, qui représente des milliards de dollars, les techniques de PRA ont été adoptées et étendues pour inclure non seulement les choix conceptuels mais également les décisions d'exploitation et de maintenance et les effets des pratiques de gestion. Les résultats ont été gratifiants. Non seulement les incidents de type TMI ne se sont pas reproduits, mais le parc de 103 centrales électriques produit désormais annuellement 20 % d'électricité en plus qu'avant TMI. Il est désormais courant pour les centrales de fonctionner pendant 18 ou 24 mois sans une seule coupure forcée, ne s'arrêtant que pour les opérations de ravitaillement. La PRA a également informé des pratiques de maintenance et démontré que de nombreuses « meilleures pratiques » ne faisaient en réalité qu'augmenter inutilement les risques de panne des composants et d'accidents.

Appliquée avec soin, la PRA constitue un outil puissant. Le processus d'élaboration du modèle logique se traduit par un examen complet des décisions, des caractéristiques et des hypothèses qui ont formé le produit. La nature mathématique du calcul limite l'appel à l'expérience et autres logiques fallacieuses qui tendent à dominer l'évaluation qualitative de la fiabilité. Trop souvent, les revendications de « vingt ans d'expérience » sont équivalentes à environ une année d'apprentissage suivie de 19 ans de répétition de la même routine.

Les calculs de PRA effectués par MTech sont systématiquement remis en question, en particulier lorsque notre client pense que la fiabilité du système en question est beaucoup plus haute que notre valeur calculée. L'examen de la logique du modèle mathématique révèle les éventuels défauts ou malentendus de part et d'autre, en termes de comportement fonctionnel du système. Modifier les taux de panne du composant selon les valeurs préfé-

rées du client ne se solde pratiquement jamais par des changements considérables du résultat final. Presque toutes les ASI contiennent des passages redondants comme le commutateur de bypass. La fiabilité du système ne doit pas être très sensible aux taux de panne au sein des concepts redondants.

La valeur de la PRA réside à la fois dans les résultats quantitatifs et dans sa capacité à identifier la contribution relative de chaque composant à la panne. Sans calculs quantifiables et reproductibles du rôle de chacun des composants dans la réussite ou la défaillance du système, il est tout simplement impossible d'affecter les ressources de façon rationnelle et encore moins optimale. La dépendance conventionnelle à la redondance pour caractériser la fiabilité d'un système illustre ce point. Un grand nombre de créations de datacenter sont caractérisées selon des concepts « N+1 » ou « N+2 » ou même « 2N » ou « 2N +1 ». Cela implique que si N composants sont nécessaires à la réussite, une, deux, deux fois plus ou même deux fois plus une unité sont disponibles. Évidemment, toute redondance ne contribue pas de façon égale à la fiabilité. Les alternateurs de secours redondants, avec 1 % de défaillance au démarrage par demande, contribuent beaucoup plus à la fiabilité que les transformateurs de type sec, dont le taux de panne est si faible que les sommes dépensées pour les unités redondantes peuvent presque invariablement être mieux employées ailleurs. Faute de pouvoir déterminer la contribution quantitative de chaque composant, redondant ou non, les concepteurs et les acheteurs ne sont tout simplement pas en mesure de prendre des décisions éclairées quant à la meilleure utilisation de ressources toujours limitées, financières et autres. La PRA constitue un outil puissant pour répondre à ces questions.

Il existe des questions fondamentales quant aux concepts redondants. Bien que la redondance puisse en principe améliorer la fiabilité en permettant la panne de composants ou sous-ensembles individuels sans entraîner celle du système, elle implique des coûts importants et présente des inconvénients potentiellement graves. Un système redondant comporte davantage de composants. En règle générale, plus le nombre de composants est important, plus les pannes sont nombreuses. (Les avions bimoteurs connaissent globalement deux fois plus de pannes de moteur par heure de fonctionnement que les avions comparables monomoteur.) Des mécanismes très fiables doivent être en place pour identifier le composant en panne et l'isoler du système, faute de quoi les avantages de la redondance sont perdus, parallèlement à l'augmentation des pannes de composant.

Certain modes de panne peuvent affecter plusieurs composants simultanément. De telles pannes de cause commune imposent une limite considérable aux avantages de la redondance. Les défauts de conception, de fabrication, introduits lors de l'installation, de la maintenance ou de la réparation, peuvent tous produire des modes de panne dans lesquels des unités supposées indépendantes tombent en panne, malgré le concept redondant. Les pannes catastrophiques de certains composants peuvent endommager les équipements connectés ou environnants et provoquer la panne du système mal gré le concept redondant.

MTech a utilisé des techniques et logiciels PRA adaptés de l'industrie de l'énergie nucléaire pour analyser la gamme de produits InfraStruXure et comparer sa performance à celle d'un système conventionnel. Les modèles mathématiques ainsi obtenus ont été utilisés pour répondre à un certain nombre de questions essentielles. L'InfraStruXure utilise la redondance dans presque tous les composants pour assurer une haute fiabilité. L'analyse de MTech a montré que la redondance apporte à la fois des coûts et des avantages et que certains sous-systèmes en bénéficient moins que d'autres.

## Fiabilité et disponibilité

Cette étude était principalement axée sur la fiabilité des produits. De nombreux fournisseurs préfèrent parler de disponibilité. La distinction est subtile mais importante. La fiabilité correspond à la probabilité qu'un système fonctionne comme prévu pendant une durée déterminée. La durée, également appelée mission, doit être spécifiée. Un 747 est extrêmement fiable après le décollage ; la probabilité d'atterrissage sans dommage corporel ou

matériel est bien supérieure à 99,99 % pour les vols de durée égale ou inférieure à 14 heures. Pour les vols de 36 heures, la fiabilité du 747 est égale à zéro, car il aura toujours épuisé son carburant avant de terminer la mission.

La disponibilité correspond à la fraction de temps pendant laquelle un système est opérationnel. La disponibilité peut être associée à une mission dans le temps ou exprimée sur le long terme, ce qui correspond à l'asymptote de la disponibilité car le temps progresse vers l'infinité. La disponibilité exige de connaître le temps nécessaire pour réparer le système après une panne. À taux de panne égaux, les systèmes réparés rapidement sont plus longtemps en état opérationnel que ceux dont la réparation est longue et présentent par conséquent une plus haute disponibilité.

Il existe des raisons valables pour calculer et comprendre chaque indice, mais MTech pense que la fiabilité ou plus spécifiquement le manque de fiabilité – la probabilité d'une panne au cours d'une mission donnée – constitue l'indice le plus précieux pour les propriétaires et exploitants de datacenter. Un système présentant une très haute fiabilité mais une longue durée de réparation peut démontrer une disponibilité égale ou inférieure à celle d'un système fréquemment en panne mais rapidement remis en service. Les dommages financiers et autres associés à une panne d'alimentation d'un datacenter sont très importants, quelle que soit la rapidité de rétablissement de l'alimentation ; la plupart des propriétaires préfèrent un système plus fiable lorsqu'ils disposent des informations nécessaires pour faire un choix éclairé.

La principale raison à l'emploi de la probabilité de panne (manque de fiabilité) réside dans le fait que nos clients finaux pensent qu'il s'agit de l'indice le plus utile. Rares sont les entreprises possédant une expérience considérable des techniques mathématiques de l'évaluation probabiliste du risque. En revanche, les dirigeants et gestionnaires jonglent systématiquement avec des propositions concurrentes dont le degré de risque varie. Le risque est fonction de la probabilité et des conséquences. De nombreuses entreprises achètent des produits comme des assurances ou des programmes de reprise sur sinistre sur la base de leur évaluation du risque, soit la probabilité de subir une perte, multipliée par la quantité anticipée de dommage entraîné par une telle perte. La plupart des entreprises qui exploitent des datacenters subissent des pertes importantes en cas de panne unique et doivent connaître la probabilité d'un tel événement pour prendre des décisions éclairées en termes d'investissement supplémentaire ou d'autres moyens d'atténuer le risque.

La deuxième raison à l'emploi de la probabilité de panne réside dans le fait que l'indice est constant à travers toute l'entreprise. APC a développé une hiérarchie à quatre niveaux qui décrit l'interaction des différents systèmes d'une entreprise type. Le premier niveau englobe les personnes, le suivant les processus, le troisième la technologie de l'information et la dernière couche l'infrastructure, notamment l'alimentation électrique. L'expérience d'une panne unique produit des résultats de disponibilité de chaque couche extrêmement différents.

Prenons le cas d'une entreprise hypothétique qui subit une panne du système d'ASI sur 10 ans d'exploitation :

- La couche de l'infrastructure rétablit l'alimentation en 10 minutes. La disponibilité peut ensuite être calculée :  $A = 87\,599,8 / 87\,600 = 99,9998\%$ . La couche de l'infrastructure peut alors revendiquer une disponibilité à « cinq neuf »
- Si l'informatique avait rétabli les applications en 12 heures, le calcul de disponibilité serait le suivant
- $A = 87\,588 / 87\,600 = 99,99\%$ , et elle pourrait revendiquer « quatre neuf »
- Si les gestionnaires de processus ou d'application avaient réparé les dégâts de la base de données, rétabli le flux de tâches normal en deux jours, ils calculeraient  $A = 87\,552 / 87\,600 = 99,95\%$  et revendiqueraient une disponibilité à « trois neuf ».

Les dirigeants qui consacrent deux mois à calmer les clients, remplir des rapports SEC, licencier des subordonnés, embaucher et former leurs remplaçants ne calculeront sûrement pas leur disponibilité mais, s'ils le faisaient, ils pourraient obtenir  $A = 86\ 160/87\ 600 = 98,4\ \%$  et seraient probablement indignés d'apprendre que leur disponibilité n'est qu'à « deux neuf ». Les chiffres utilisés ci-dessus correspondent à des délais de réparation normaux en différents points d'un site et illustrent comment le niveau de disponibilité perçu dépend du point de vue de l'observateur. La probabilité de panne pour l'ensemble de l'entreprise est d'une fois tous les 10 ans à tous les niveaux. Lorsque le système est relativement fiable, la probabilité de pannes multiples est faible et seule la probabilité de la première panne doit être considérée.

## Réalisation de l'étude

L'étude a commencé par la présentation de la gamme de produits InfraStruXure et un examen détaillé des ASI et PDU dans les locaux d'APC du Massachusetts et de Rhode Island. APC a fourni la documentation technique et l'accès au personnel de service sur site afin que MTech puisse étudier l'historique sur site du parc.

MTech a développé un modèle d'arbre de pannes du système. La description complète de la technique de modélisation d'arbre de pannes dépasse le champ de cet article, mais de nombreux textes et articles sont disponibles sur ce sujet. Le premier modèle concernait les produits APC en isolement. L'entrée du secteur a été considérée comme parfaite, ainsi que la charge du client. Le modèle étudiait à quel niveau de fréquence les pannes internes de l'ASI et de la PDU entraîneraient la perte de la charge critique.

Les fournisseurs ou acheteurs d'ASI reconnaissent rarement le fait que tous les ASI intègrent un nouveau composant et, par conséquent, au moins un nouveau mode de panne dans le circuit desservant une charge critique. Toutes les actions présentent à la fois des effets bénéfiques et négatifs sur la fiabilité ; l'objectif consiste à optimiser les premiers tout en réduisant les seconds. Le modèle d'arbre de pannes initial a servi à souligner les composants et les sous-ensembles dont la performance exerçait un impact considérable sur la fiabilité du système. MTech a ensuite entamé une enquête plus intensive au sein de ces composants.

Les auteurs se sont déplacés dans les locaux d'études d'APC à Kolding, au Danemark et ont consacré une semaine à des entretiens et discussions intenses avec les concepteurs du produit. Nous avons examiné le processus de développement du produit, les règles conceptuelles, de vérification et d'essai de validation, les activités d'examen et de contrôle de qualité, ainsi que les registres de service sur site. Une documentation étendue sur ce produit et d'autres produits similaires antérieurs a été étudiée. Nous avons présenté notre analyse d'arbre de pannes initiale pour examen et commentaires et l'avons révisée pour refléter les malentendus de notre part et inclure des informations plus détaillées sur les causes de panne, en particulier les pannes de cause commune.

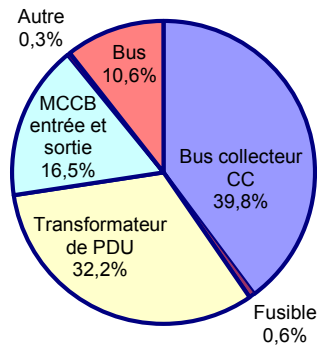
Certains composants présentent plusieurs modes de panne. Le bus collecteur, les batteries, les commandes et les modules d'alimentation ont été modélisés selon deux modes de panne : normal et catastrophique. Les pannes catastrophiques de ces composants produisent la panne de l'ASI, contrairement aux pannes normales, les composants étant redondants. Un composant en panne mais qui n'est pas identifié comme tel constitue une forme de panne catastrophique. Le composant en panne peut entraîner le dysfonctionnement d'autres composants ou continuer à se détériorer jusqu'à ce qu'une panne plus importante se produise. Physiquement, il existe des modes de panne catastrophiques qui se traduisent par des fuites de plasma à l'intérieur de l'ASI, entraînant de multiples courts-circuits d'alimentation et une perte de charge. La fraction de pannes catastrophiques d'un composant représente un paramètre essentiel. Nous avons commencé l'étude avec le jugement éclairé que 1 % environ de toutes les pannes de composant sont catastrophiques. Une fois la modélisation initiale terminée et le modèle examiné avec les ingénieurs d'APC, nous avons



ajusté la fraction de pannes catastrophiques pour refléter les données réelles du terrain. Le rapport de 1 % de pannes catastrophiques par rapport aux pannes normales était raisonnablement précis. La **Figure 2** récapitule les résultats de cette phase de l'étude.

**Figure 2**

*Contribution du composant à la panne : Infra-StruXure seulement, sans panne du secteur*



Les pannes du transformateur de PDU et la panne catastrophique du bus collecteur (le point de connexion parallèle entre les modules d'alimentation et le commutateur de bypass) comptent pour 72 % de toutes les pannes prévisibles. Les disjoncteurs d'entrée et de sortie à boîtier moulé comptent pour presque 17 %, malgré des taux de panne de composant de  $1,2 \times 10^{-7}$  par heure, ce qui équivaut à un MTTF de 8,3 millions d'heures.

Après vérification de nos modèles et résultats préliminaires avec les ingénieurs d'APC, nous avons révisé le modèle d'arbre de pannes et l'avons étendu pour tenir compte de l'environnement de service réel du produit. Nous avons inclus les pannes de secteur, d'alternateur et du commutateur de transfert qui permet de basculer entre secteur et alternateur. Nous avons examiné les effets des défauts électriques dans les équipements du client.

Cette analyse « réaliste » du produit a suscité quelques questions nouvelles. La panne d'un disjoncteur de dérivation doit-elle être considérée comme une panne du produit ? Bien que les disjoncteurs à boîtier moulé soient très fiables, avec un MTTF pour faux déclenchements dépassant 8 millions d'heures, ils sont si nombreux, même dans un datacenter de dimensions modestes, que les pannes de disjoncteur occupent une large portion des pannes prévisibles.

Nous avons utilisé les travaux d'une étude précédente de datacenter pour élaborer un modèle d'arbre de pannes pour un système de distribution « type » de datacenter. « Type » n'est pas le terme idéal pour les concepts de datacenter ; ils sont peu standardisés et nous ne pouvons pas prétendre que l'exemple sélectionné est moyen, en dessous de la moyenne ou supérieur à la moyenne. Nous affirmons simplement que notre modèle était basé sur un datacenter réel, de construction récente. Le schéma unifilaire de ce modèle de datacenter est présenté à la Figure 3 dans le cas d'une ASI centrale de 500 kW. La Figure 4 présente le schéma unifilaire équivalent pour 14 ASI APC InfraStruXure desservant la même charge. À noter que les systèmes de source et de distribution sont équivalents dans les deux cas.

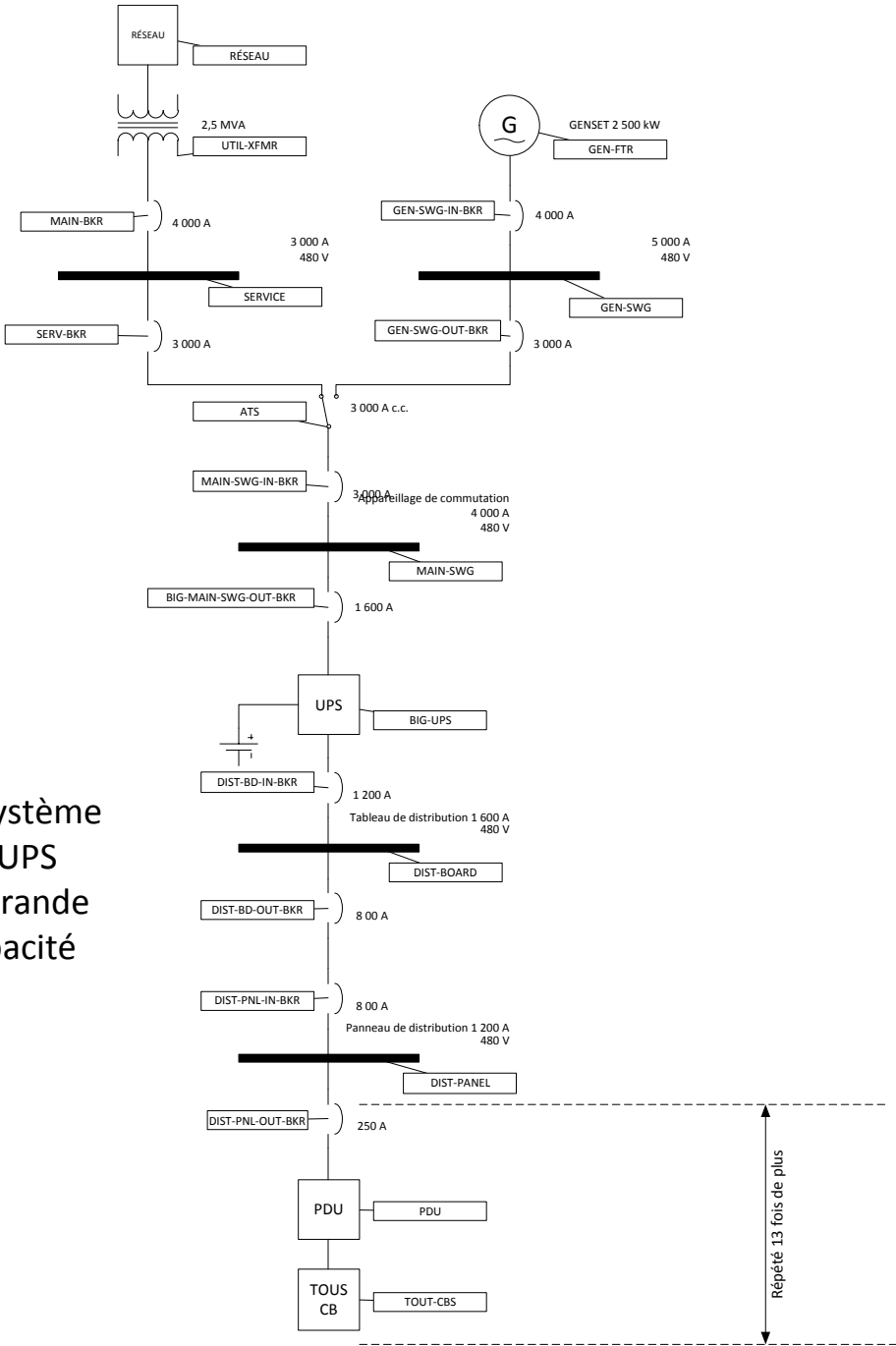
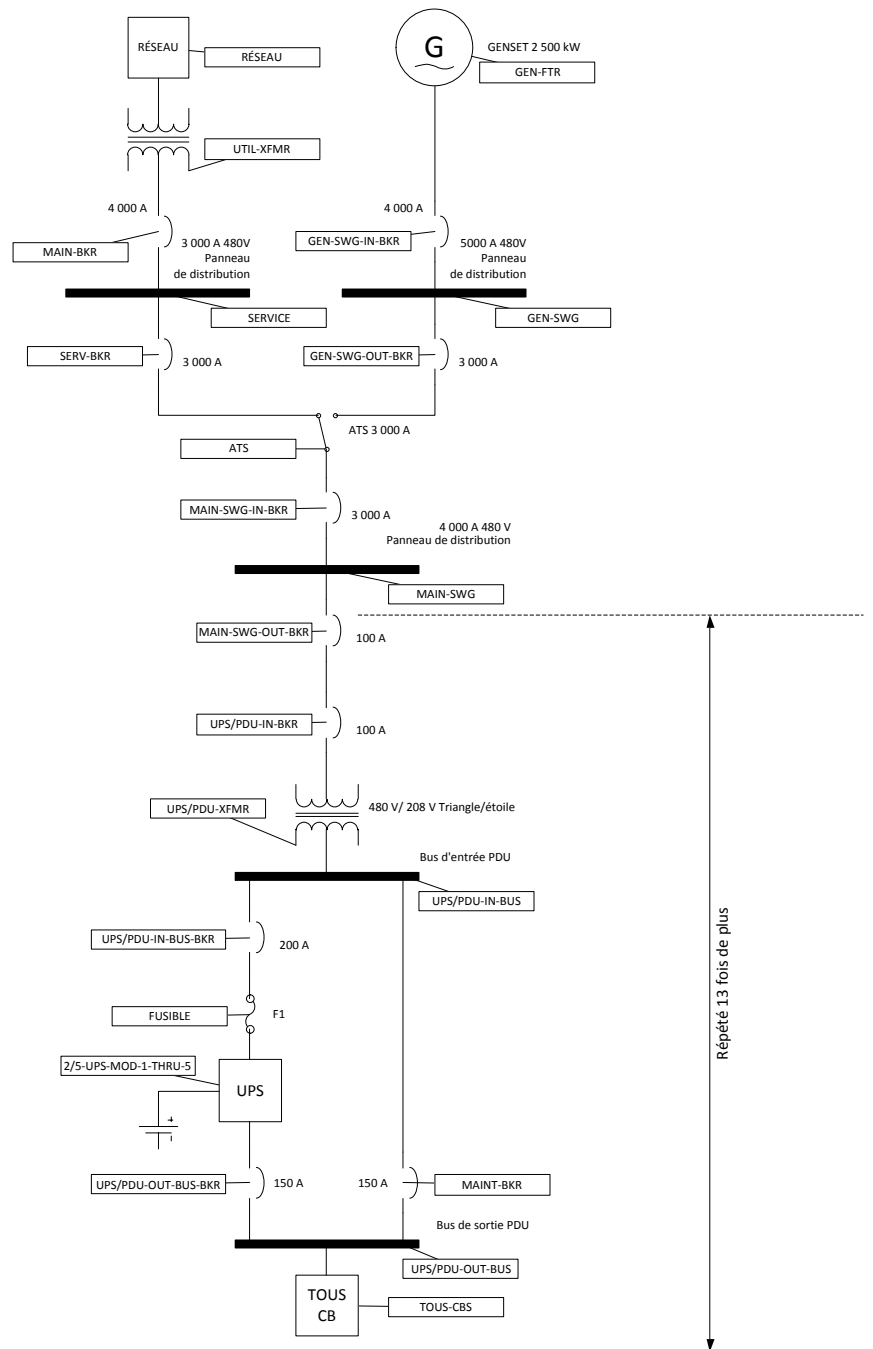


Figure 3

Schéma unifilaire de l'ASI de grande capacité pour datacenter de 500 kW

Un système d'UPS de grande capacité



**Figure 4**

ASI APC InfraStruXure dans un datacenter de 500 kW

**APC  
InfraStruXure  
40 kW  
480 Volts**

Nous avons recueilli des données sur les pannes d'ASI de grande capacité dans la documentation du fournisseur et dans des articles publiés par des tiers en termes de taux de panne des composants du système d'alimentation. Nous avons utilisé des hypothèses courantes pour déterminer réussite et panne. La panne d'un ou plusieurs modules d'alimentation qui se solde par le transfert vers bypass réussi est considérée comme une réussite. La panne due à l'épuisement de la batterie n'est pas considérée comme une panne, sauf si les batteries s'épuisent beaucoup plus rapidement que spécifié ou que leur panne est simultanée à celle du secteur. Nous avons supposé un essai trimestriel des batteries et formé l'hypothèse optimiste que cet essai identifierait les cellules ou les connexions défectueuses avec 100 % d'exactitude. La perte d'alimentation de la charge critique due à une erreur de l'opérateur n'a pas été considérée comme une panne, bien que nous ayons conclu dans une analyse distincte qu'une partie au moins des erreurs de l'opérateur peut être attribuée à une ergonomie médiocre ou des indications trompeuses.

Nous avons utilisé des techniques statistiques standard pour combiner les taux de panne disparates en un taux estimé, que nous avons appliqué à « l'ASI centrale » de comparaison. Le résultat a donné un taux de panne de presque exactement  $1 \times 10^{-6}$  par heure pour une ASI de grande capacité au bus collecteur, parfois identifié comme le bus critique. Cela correspond à une durée moyenne de fonctionnement sans panne (MTTF) égale à 1 million d'heures en supposant des taux de panne constants. Notre recherche incluait les données et analyses réalisées par Liebert pour ses ASI de la série 600<sup>1</sup>, avec lesquelles nos résultats sont globalement d'accord.

Le nombre de pannes signalées dans les ASI de grande capacité est relativement faible. L'article de Liebert fait état de 80 pannes dans un historique du parc couvrant 200 millions d'heures. Il souligne à raison que les pannes des unités entretenues par des tiers ne sont pas obligatoirement signalées. Compte tenu du petit nombre de pannes signalées, les résultats seraient considérablement faussés si certaines d'entre elles manquent. Nous sommes d'accord avec les méthodes de Liebert et son conservatisme en déclarant un MTBF « supérieur à 1 million d'heures. » La sensibilité de la probabilité finale de perte de charge n'est pas fortement affectée par les améliorations de taux de panne de l'ASI, comme l'illustrent les résultats présentés ci-dessous.

Il importe de souligner que nous n'avons ni analysé ni modélisé l'ASI de grande capacité de façon aussi détaillée que les produits APC. Nous recherchions simplement des taux de panne raisonnables pour l'ensemble de l'ASI à des fins de comparaison. Nous avons trouvé que les taux de panne publiés par d'autres fournisseurs étaient globalement comparables à ceux que nous avons déterminés pour les modules d'alimentation APC. Nous avons également trouvé que les pannes de cause commune – notamment des systèmes de commande – et les pannes catastrophiques de composant constituent la source de panne la plus fréquente des ASI. Ceci était cohérent avec notre analyse détaillée des données sur site d'APC et avec notre modélisation des modes de panne catastrophiques.

Nous avons élaboré des arbres de panne pour deux datacenters hypothétiques : l'un utilisant une seule ASI de 500 kW, l'autre utilisant 14 produits APC InfraStruXure pour desservir la même charge. Nous n'avons pas modélisé les systèmes de refroidissement, ni tenu compte de la charge partielle en sortie de l'ASI.

Les résultats sont récapitulés à la **Figure 5** pour l'architecture InfraStruXure et à la **Figure 6** pour l'architecture d'ASI centrale. Le taux de panne du système InfraStruXure (lorsque la panne est définie comme la perte d'alimentation de toutes les charges critiques du datacenter) était inférieur d'environ 40 % à celui du système d'ASI centrale.

Une panne de batterie constitue une contribution considérable pour l'ASI centrale mais négligeable pour l'InfraStruXure. Nous avons utilisé des taux de panne de batterie identiques pour les deux systèmes. La disparité est une conséquence de notre modélisation de l'ASI centrale avec un seul bloc de batteries VRLA. L'InfraStruXure utilise 8 chaînes série-parallèle (4 chaînes positives et 4 chaînes négatives) et fonctionne avec plusieurs chaînes en panne. Les chaînes de l'InfraStruXure sont de 196 VDC par rapport aux chaînes de l'ASI centrale, d'une capacité nominale de 400 VDC ou plus. Les chaînes de plus haute tension, comportant davantage de cellules en série, sont légèrement moins fiables que celles de plus faible tension. Si l'architecture de l'ASI centrale était mise en œuvre avec plusieurs chaînes de batteries parallèles, les pannes de batterie se soldant par la panne de la charge critique seraient considérablement réduites. Même en écartant les pannes de batterie, le taux de panne de l'InfraStruXure (panne est définie comme la perte d'alimentation de toutes les charges critiques du datacenter) est inférieur d'environ 18 % à celui de l'architecture d'ASI

---

<sup>1</sup> <http://www.liebert.com/support/whitepapers/documents/techmtbf.asp>, dernier accès mars 2004

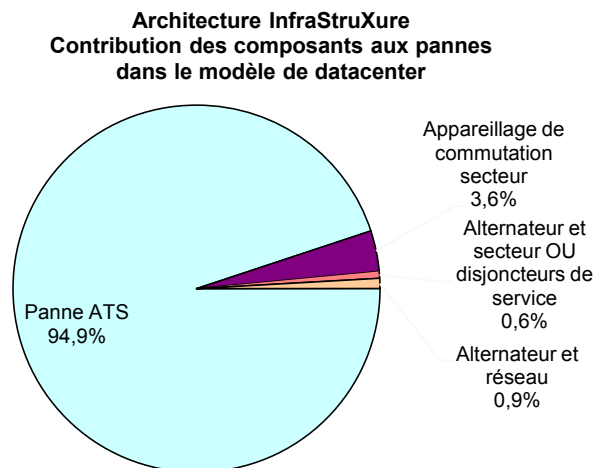
centrale comparable. La différence qui subsiste est due à l'architecture individuelle des systèmes plutôt qu'aux différences de taux de panne des composants.

Les concepts InfraStruXure et ASI centrale partagent des vulnérabilités dans les équipements, du secteur et de l'alternateur au commutateur de transfert, comme l'illustrent les schémas unifilaires (**Figures 3 et 4**). L'approche InfraStruXure perd l'alimentation de toutes les charges uniquement en cas de panne de l'infrastructure d'alimentation commune, par exemple du bus d'entrée principal ou du commutateur de transfert bloqué ouvert. La probabilité de panne simultanée des 14 appareils InfraStruXure en raison de défaillances internes est extrêmement faible. En revanche, l'ASI centrale et le bypass peuvent tomber en panne, entraînant la défaillance de toutes les charges. Cet aspect représente une source de panne supplémentaire, absente de l'architecture InfraStruXure. À noter que si la définition de panne est modifiée de sorte que la perte d'une PDU constitue une panne, la différence de fiabilité entre les deux approches est encore diminuée. La panne des disjoncteurs d'entrée ou de sortie InfraStruXure provoque une panne partielle de la charge, tout comme une panne de disjoncteur d'entrée de PDU dans le système d'ASI.

Une deuxième différence architecturale réside dans la réduction du nombre de disjoncteurs susceptibles de se déclencher et d'empêcher l'alimentation de l'ASI d'atteindre toutes les charges. Sur le schéma unifilaire de l'ASI centrale, 5 disjoncteurs sont présents après le commutateur de transfert : 2 sur l'entrée et 3 sur la sortie de l'ASI. Les pannes de disjoncteur de sortie provoquent la perte immédiate de la charge critique. Les pannes de disjoncteur d'entrée provoquent la perte de la charge une fois les batteries de l'ASI épuisées. Bien qu'il soit théoriquement possible de réparer un disjoncteur déclenché alors qu'il transporte un courant inférieur à la capacité nominale au cours des 10 à 45 minutes d'autonomie de l'ASI généralement fournies par les rangées de batteries, la probabilité d'y parvenir sans provoquer d'autres pannes est très mince. L'architecture InfraStruXure compte un seul disjoncteur après le commutateur de transfert, qui provoque la panne de toutes les charges critiques.

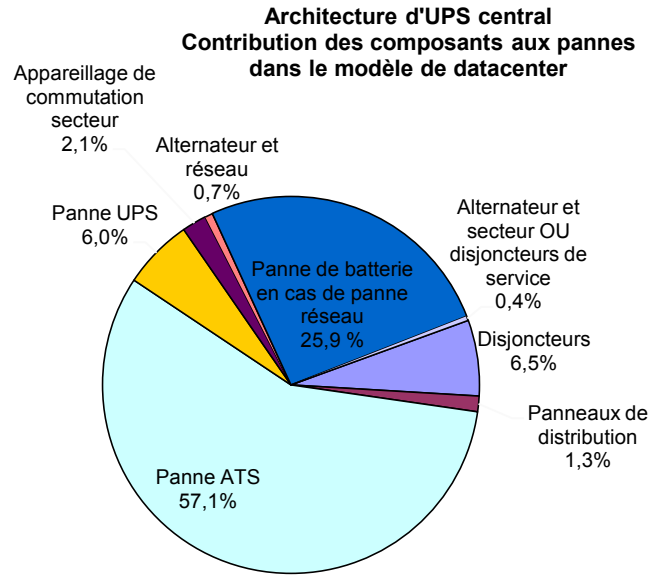
**Figure 5**

*Contribution à la panne du composant, architecture InfraStruXure*



**Figure 5**

Contribution à la panne du composant, architecture InfraStruXure



Nous avons examiné les effets d'une erreur de l'opérateur sur les pannes d'ASI et conclu que la différence n'était pas très sensible entre l'APC et une ASI de grande capacité. Nous notons que les opérateurs de ce datacenter hypothétique effectueraient les manipulations des ASI InfraStruXure 14 fois plus souvent qu'avec une ASI de grande capacité, ce que l'analyse du facteur façonnant la noterait comme une diminution considérable de la probabilité d'erreur lors d'une opération quelconque. Les effets des erreurs, dans la mesure où elles sont immédiatement apparentes, seraient également réduits dans l'approche APC. Nous avons observé une sensibilité importante au taux de panne du système de distribution, qui inclut le câblage et les dispositifs de protection entre la sortie de l'ASI et la charge critique. Ce problème est commun aux deux approches. Ceci nous a conduits à examiner en détail les techniques de production en usine du système de distribution APC. Nous avons étudié les contrôles du processus et les pratiques de contrôle de la qualité utilisés par APC pour produire des systèmes de distribution câblés en usine et les avons comparés aux pratiques habituelles de câblage sur site des datacenters avec ASI centrale. (L'utilisation du terme « standard » dans le contexte d'un datacenter moderne est problématique.) Bien que notre analyse ait montré une réduction très substantielle du taux de défauts de câblage dans les systèmes de distribution câblés en usine, nous n'avons pas tenu compte de ces effets dans les résultats présentés ici. Cet article est destiné à fournir une comparaison de « pommes avec des pommes » des architectures plutôt qu'une analyse concurrentielle de produits spécifiques.

## Résultats amplifiés et discussion

MTech a observé qu'un datacenter employant l'architecture InfraStruXure était considérablement plus fiable qu'un datacenter comparable employant une ASI à un seul module et une seule chaîne batterie. Alors que les sous-systèmes redondants au sein de l'InfraStruXure réduisent avec succès la probabilité d'une panne d'ASI, les effets des systèmes externes communs aux approches tendent à masquer toute différence. La PRA a démontré que l'utilisation de chaînes batterie parallèles redondantes dans l'ASI centrale pouvait réduire, sans l'éliminer, la différence de fiabilité. La plupart des ASI peuvent supporter la charge critique pendant quelques minutes seulement sur la seule alimentation de la batterie. Une protection à plus long terme exige un alternateur de secours ou une autre source d'alimenta-

tion, ainsi qu'un commutateur de transfert automatique (ATS) pour sélectionner entre les sources d'alimentation de secours ou du secteur. L'analyse de MTech a montré que la performance de l'ATS était souvent l'élément limitatif pour atteindre une meilleure fiabilité.

Les résultats numériques ont indiqué que le modèle de datacenter utilisant l'architecture InfraStruXure était environ 40 % moins susceptible de provoquer la panne de toutes les charges critiques qu'une ASI centrale comparable dans un datacenter équivalent. L'ajout d'une chaîne batterie redondante à l'ASI centrale améliore considérablement la fiabilité, néanmoins le risque de panne de l'architecture InfraStruXure demeure 18 % inférieure sur une année d'exploitation. La modification de la définition de la panne change ces résultats. Lorsqu'une panne est définie en incluant la perte d'une quelconque charge unique, en raison d'une panne de circuit de dérivation mais sans panne de l'ASI, la panne de l'architecture InfraStruXure est 6 % moins probable. La réduction de 18 % à 6 % provient uniquement de la contribution des faux déclenchements dans les disjoncteurs à boîtier moulé, qui augmente le manque de fiabilité des deux approches. Les incertitudes en termes de données d'entrée, qualité d'installation sur site et variations entre les produits concurrents sont suffisamment importantes pour masquer un avantage aussi modeste.

Dans un souci d'équité, nous avons utilisé des taux de panne identiques pour tous les composants dans les modèles comparant l'InfraStruXure et une ASI conventionnel. Dans le but d'obtenir un avantage concurrentiel, APC s'est engagée dans un programme d'amélioration de la fiabilité des composants essentiels identifiés par les analyses de MTech. APC a modifié la structure du transformateur de PDU afin d'éliminer plusieurs des modes de panne les plus courants. Le bus collecteur a été renforcé et les connexions aux modules ont été améliorées. APC teste déjà 100 % de tous les disjoncteurs avant de les installer dans les systèmes InfraStruXure, pendant que certains, mais en aucun cas tous les datacenters testent les disjoncteurs de dérivation avant installation. MTech a néanmoins utilisé le même taux de panne des disjoncteurs pour les deux systèmes de la comparaison. Sur la base de l'analyse des modes de panne des disjoncteurs conduite par MTech, APC étudie les causes de panne des disjoncteurs et envisage de nouveaux essais destinés à mieux identifier les unités les plus susceptibles de tomber en panne.

L'analyse de MTech démontre que les différences d'architecture distinguent l'InfraStruXure de l'ASI centrale, plutôt que les différences de nombre ou de fiabilité des composants. Les clients font l'expérience de la fiabilité des produits d'ASI lorsqu'ils sont utilisés dans l'environnement physique d'un datacenter. La fiabilité de l'InfraStruXure dans cet environnement s'est toujours montrée supérieure à celle de l'architecture d'ASI centrale, bien que les différences soient devenues statistiquement négligeables en modifiant la définition d'une panne, de la perte du datacenter complet à la perte d'un seul circuit de dérivation. Les résultats ont identifié des zones dans les deux architectures, où des modifications relativement modestes dans la sélection des composants ou leur utilisation pouvaient produire des améliorations de fiabilité majeures. À notre connaissance, il s'agit de la première publication concernant l'utilisation de techniques de PRA formelles et quantitatives pour guider le développement et les pratiques de fabrication d'un produit d'ASI.

La documentation d'APC suggère que l'architecture InfraStruXure offre des avantages en matière de coût et de souplesse si irrésistibles que les clients éclairés choisiraient le produit même si sa fiabilité n'était pas meilleure que celle des produits concurrents. L'analyse du coût d'exploitation et des problèmes associés est disponible dans des livres blancs et ne fait pas l'objet d'une étude plus poussée dans le présent document. Pour des informations plus détaillées, voir le livre blanc 37, Comment éviter les coûts liés au surdimensionnement d'infrastructure de centres de données et de salles réseaux et 6, Détermination du coût total de possession d'une infrastructure de datacenter et de salle réseau.

MTech a analysé les techniques de fabrication utilisées pour l'InfraStruXure et les a comparées à celles des produits conventionnels. Le câblage en usine du système de distribution de tous les produits InfraStruXure constitue une différence essentielle avec les systèmes

centraux. L'ASI ne représente qu'une partie d'un « produit complet » qui maintient l'alimentation des charges critiques en cas de panne du secteur. Dans les datacenters conventionnels, l'ASI est posé en bordure du plancher surélevé ou dans une autre pièce et les ensembles construits sur mesure de conduits et de câbles apportent l'alimentation aux racks qui abritent les ordinateurs et autres charges critiques. Les électriciens et autres techniciens doivent construire ces systèmes sur place.

Le câblage du système de distribution InfraStruXure est entièrement effectué en usine. MTech a analysé le processus de fabrication en usine comme sur site. Les procédures de l'usine APC employant l'étalonnage, le contrôle de qualité, des luminaires et outillages spécialisés et l'inspection automatisée de tous les produits, MTech a observé une différence remarquable entre le nombre de défauts prévisibles des systèmes câblés en usine et sur site.

L'installation d'un circuit de dérivation unique nécessite plusieurs étapes, comme la sélection du fil ou du câble approprié, son installation dans le conduit (dans les assemblages sur site), le dénudage des fils, leur raccordement aux équipements terminaux comme les blocs de prises ou les disjoncteurs, le marquage des connexions terminées, etc. MTech a analysé la probabilité de commettre une erreur à chacune des étapes du processus, pour les systèmes produits en usine et sur site. L'analyse utilisait les données et les méthodes des sources de fiabilité militaires et nucléaires. La probabilité de produire des connexions sur site comportant des défauts était environ 1 500 fois plus élevée que dans le cas des systèmes produits en usine. La différence n'a pas été intégrée à l'analyse comparative de fiabilité.

Tous les défauts ne produisent pas de perte de charge et certains d'entre eux, comme des commutateurs ou des câbles mal étiquetés peuvent demeurer non détectés pendant toute la durée de vie d'un système. Les composants mal étiquetés sont souvent découverts lors de changements d'équipements informatiques, lorsque l'ouverture d'un disjoncteur de dérivation provoque une perte de charge inattendue pour un autre équipement. Cette situation est souvent classée comme une « erreur de l'opérateur », alors qu'il s'agit en réalité d'une conséquence d'un défaut latent créé lors du câblage sur site. La très grande différence de taux de pannes entre le câblage en usine et sur site démontre un enseignement important utile à tous les clients : les produits standardisés et les techniques de fabrication normalisées produisent les systèmes les plus fiables. Les produits, les câblages et les procédures d'exploitation sur mesure augmentent à coup sûr la probabilité d'erreurs courantes comme de problèmes de personnalisation.

MTech a examiné le processus de fabrication d'APC et évalué les effets de ses techniques de gestion du développement de la fiabilité. Une question pertinente se pose à propos du concept de l'InfraStruXure, doté de cinq modules d'alimentation, par rapport à un système concurrent qui n'en compte qu'un. Bien que l'InfraStruXure soit conçu pour fonctionner avec l'un des cinq modules hors service, l'on peut penser que cinq modules subiront des pannes cinq fois plus souvent qu'un système à un module. Est-il possible que le concept redondant entraîne des pertes d'alimentation de la charge critique plus fréquentes ?

MTech a analysé les causes et les effets des pannes de module d'alimentation et déterminé que, bien qu'elles soient observées plus fréquemment, cette augmentation est plus que compensée par les avantages apportés par la redondance.

Un avantage de l'utilisation de plusieurs modules n'a pas été quantifié dans cette étude. Lorsque le volume des ventes d'un produit peut justifier la dépense d'une usine de fabrication dédiée, le taux de défauts de fabrication diminue considérablement. Le personnel dédié, les dispositifs de test et l'expérience s'associent pour éliminer le potentiel d'introduction des défauts. Une cellule de fabrication dédiée évolue rapidement jusqu'au point où les erreurs les plus courantes sont littéralement impossibles à commettre et où les erreurs moins courantes sont rapidement et uniformément détectées et corrigées avant que l'assemblage ne quitte l'usine.



Le concept modulaire de l'InfraStruXure implique l'expédition de plusieurs modules d'alimentation avec chaque unité. APC est par conséquent en mesure de passer à des cellules de fabrication de modules dédiées plus rapidement qu'un fabricant de concurrent de produits à un module. APC peut déceler plus rapidement les composants défectueux et déficiences similaires des produits expédiés, car le nombre de modules en service est plus élevé que dans le cas d'un système équivalent à un module. Enfin, APC peut déterminer plus précisément l'origine des pannes des modules car le client peut remplacer rapidement et facilement les modules défectueux, qui sont ensuite renvoyés à APC pour diagnostic et réparation. La plupart des concepts à un module sont réparés sur site, ce qui rend le processus d'identification des causes d'origine des problèmes très largement plus difficile.

Les réparations sur site représentent une autre source potentielle de panne qui n'a pas été examinée dans cette étude. Les réparations sur site sont beaucoup plus susceptibles d'introduire de nouveaux défauts que les réparations en usine. Tous les fabricants d'ASI soumettent chaque unité produite à une batterie de tests, notamment de haut potentiel, fonctionnels aux extrêmes de l'environnement spécifié, etc. Les réparations sur site peuvent rarement être testées au même niveau de rigueur et d'exhaustivité.

## Conclusion

Les analyses PRA réalisées par MTech sur l'architecture InfraStruXure ont démontré des avantages modestes de fiabilité lorsque le produit est comparé à une ASI centrale hypothétique dans un datacenter équivalent. La différence en termes de probabilité de panne par année d'exploitation est largement fonction de la définition de la panne et de la conception du bloc de batteries de l'ASI mais, dans chaque cas examiné, l'architecture InfraStruXure a fait preuve d'une fiabilité supérieure. Les pannes provenant des équipements du datacenter ont toujours été plus importantes que celles de l'une ou l'autre des ASI.

APC a trouvé l'étude intéressante, bien qu'elle ne démontre pas dans tous les cas un avantage de fiabilité déterminant des produits InfraStruXure. Les motivations d'origine consistaient à mieux comprendre les causes de panne et à identifier les composants ou processus dans lesquels de nouveaux investissements seraient susceptibles de produire les meilleures améliorations de la fiabilité. Mesurée selon ces normes, l'étude a été couronnée de succès.

L'étude PRA a indiqué à APC comment investir au mieux dans de meilleurs composants et essais pour augmenter considérablement la fiabilité de l'InfraStruXure. Les améliorations apportées simplement à 3 types de composants peuvent réduire la fréquence des pannes aléatoires par un facteur de 10 ou plus. Un système InfraStruXure construit avec des composants génériques n'est guère plus fiable que le produit d'un concurrent construit avec des composants équivalents. À la suite de cette étude, APC a porté une attention et des ressources accrues aux composants essentiels dans les domaines identifiés par la PRA comme agents de la vaste majorité des pannes du produit.

L'étude a également documenté les avantages considérables retirés de la fabrication et des tests en usine du câblage des systèmes de distribution. Le câblage de distribution exécuté par APC est plus de 1 500 fois moins susceptible d'intégrer des défauts latents que les systèmes de distributions réalisés sur site. Les avantages du concept modulaire sont également importants et permettent à APC d'utiliser les techniques de fabrication de haute qualité les plus modernes, qui réduisent les coûts et augmentent parallèlement la fiabilité du produit.

APC et MTech ont beaucoup appris au cours de cette étude. Les hypothèses à propos des rôles et des effets des différentes options de conception et de techniques de fabrication ont été mises en question et révisées une fois confrontées aux analyses mathématiques et à des arguments logiques relativement simples. La PRA constitue un apport puissant aux techniques des ingénieurs d'études, techniciens de terrain et opérations de fabrication. Appliqués de façon cohérente et attentive, les investissements en PRA se solderont par des produits plus fiables. Les techniques de calcul des centrales nucléaires offrent une ressource importante pour l'industrie de l'alimentation critique en rapide évolution, où les coûts économiques et humains des pannes s'accroissent rapidement.

La PRA offre une méthode impartiale pour comparer des produits et des architectures de système disparates. Les résultats des études PRA soigneusement menées permettent aux clients de prendre des décisions éclairées quant au produit ou à l'architecture convenant le mieux à leur application spécifique. Les décisions éclairées des clients permettront à l'industrie d'améliorer le plus rapidement la fiabilité, le coût et la performance des produits et d'adapter la fiabilité et les caractéristiques aux besoins du client. La PRA offre un outil d'aide à la décision rationnelle aux fabricants, aux concepteurs de datacenters et aux clients.

## À propos de MTechnology, Inc.

**MTechnology, Inc.** propose les études de systèmes d'alimentation du 21<sup>e</sup> siècle.

L'entreprise propose des services de conseil, d'essais, de développement de produit et de fabrication de prototypes.

MTech réalise des analyses probabilistes de risque des systèmes d'alimentation électrique, des vérifications conceptuelles, des analyses de cause profonde des pannes et des rapports d'expert dans les cadres réglementaires et contentieux. MTech propose des consultations dans le cadre des études de systèmes intégrant le risque, des opérations, de la maintenance, des mises à niveau et de la gestion de développement de la fiabilité. Les clients réalisent fréquemment des économies substantielles d'investissement et d'exploitation, en améliorant simultanément la fiabilité. Les installations de MTech comprennent un laboratoire d'essai de 465 m<sup>2</sup> pour opérer des charges continues de 500 kW et des charges pulsées de plusieurs mégawatts. MTech a collaboré à des projets de génération distribuée dans des technologies s'étendant des moteurs alternatifs aux cellules de combustible.

MTech compte parmi ses clients des réseaux d'électricité, des concepteurs et ingénieurs, des propriétaires et des exploitants de sites stratégiques des fabricants au service de l'industrie des systèmes stratégiques fonctionnant 24h/24 et 7j/7.

## À propos des auteurs

**Steve Fairfax** est président de MTechnology, Inc. Steve a rejoint MTech en 1997 mais il intervient dans le secteur des systèmes électriques multi-mégawatts depuis l'époque de sa licence chez MIT, où il a contribué à la construction et à l'exploitation d'un système d'alimentation de 200 MW pour un réacteur de fusion tokamak. Il a commencé l'étude à temps complet de la fiabilité des systèmes d'alimentation alors qu'il occupait un poste d'ingénieur de gestion chez Failure Analysis Associates. Il a occupé les fonctions de directeur des études et des opérations pour le réacteur de fusion nucléaire Alcator C-MOD pendant la phase de conception et d'exploitation initiale au MIT Plasma Fusion Center et d'ingénieur en chef dans des entreprises de la région de Boston. M. Fairfax est titulaire d'une maîtrise de physique et de génie électrique de MIT.

**Neal Dowling** est ingénieur senior chez MTechnology, Inc. Il réalise les analyses d'arbre de pannes ainsi que la modélisation et la simulation correspondantes, développe et teste de nouvelles technologies d'alimentation électrique et de commutation. Il supervise en outre l'exploitation et la maintenance de la centrale électrique à cellule de combustible de 400 kW de MTech. M. Dowling a travaillé chez plusieurs fabricants d'appareils médicaux de la région de Boston avant d'intégrer MTech. Ses compétences recouvrent le développement et la maintenance des microprogrammes et logiciels pour les fonctions stratégiques, la conformité FDA et les études conceptuelles analogiques et numériques. Il est titulaire d'une licence et d'une maîtrise de génie électrique de MIT.

**Dan Healey** est ingénieur senior chez MTechnology, Inc. Il est spécialisé dans l'analyse des facteurs humains et les applications de techniques PRA aux activités d'exploitation et de maintenance. M. Healey a occupé les fonctions de directeur technique dans plusieurs entreprises de la région de Boston, supervisant le développement des produits pour le traitement des semi-conducteurs, les équipements médicaux, la robotique et les systèmes électro-optiques. Il est titulaire d'une licence en génie électrique de l'université de Rochester et responsable de travaux de troisième cycle en optique et programmation. Il est actuellement étudiant spécial à Harvard, où il étudie la gestion de la technologie et le développement de logiciels.



## Resources



**Comment éviter les coûts liés au dimensions excessives de l'infrastructure d'un datacenter et d'une salle réseau**

Livre Blanc 37



**Détermination du coût total d'exploitation d'un datacenter et d'une salle réseau Infrastructure**

Livre Blanc 6



**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)



### 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)

## Références

1. IEEE, Inc., *IEEE Guide to the Collection and Presentation of Electrical, Electronic, and Sensing Component Reliability Data for Nuclear-Power Generating Stations*, New York : IEEE Press, c1977 [IEEE Nuclear Reliability Data Manual.]
2. IEEE, Inc., *IEEE Recommended Practice for Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems* New York : IEEE Press, 1988 [IEEE Gold Book : Power Systems Reliability.]
3. Hale, Peyton and Arno, Robert, *Survey of Reliability Information for Power Distribution, Power Generation, & HVAC Components for Commercial, Industrial, & Utility Installations*, IEEE Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, 2000
4. Kumamoto, Hiromitsu, and Henley, Ernest J., *Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists*, 2nd Ed. New York : IEEE Press, 1996
5. Kusko, Alexander, *Emergency/Standby Power Systems*, New York : McGraw-Hill, 1989
6. U.S. Dept. of Defense, *Military Handbook: Reliability Prediction of Electronic Equipment*, MIL-HDBK-217F, Wash., DC, janvier 1990
7. Ramakumar, Ramachandra, *Engineering Reliability: Fundamentals and Applications*, Upper Saddle River : Prentice Hall, 1993
8. Sanders, Mark S., and McCormick, Ernest J., *Human Factors in Engineering and Design*, 6e Éd. New York : McGraw-Hill, 1987
9. Snevely, Rob, *Enterprise Data Center Design and Methodology*, Palo Alto : Sun Microsystems Press, A Prentice Hall Title, 2002
10. Swain, A.D., and Guttman, H.E., *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications (THERP) Final Report*, NUREG/CR-1278-F, Wash., DC : U.S. Nuclear Regulatory Commission, août 1983