

REDONDANCE & REMPLACEMENT À CHAUD

Redundancy And Hot Swapping
Keep Systems Running If
You Plan To Remain Viable In
Markets Where Downtime Is
Unacceptable, High-Availability
Systems Are A Prerequisite.

BY Paul O'Boyle and Steve Kugler

<https://www.kepcopower.com/newshot.htm>

La redondance et le remplacement à chaud permettent aux systèmes de continuer à fonctionner si vous souhaitez rester viables sur les marchés où les temps d'indisponibilité sont inacceptables, des systèmes à haute disponibilité sont indispensables.

RESTONS EN CONTACT

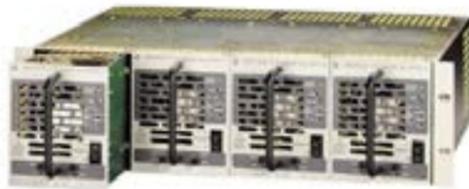
MB ELECTRONIQUE
106, rue des frères Farman - ZI - BP31 - 78533 BUC
01.39.67.67.67 • web@mbelectronique.fr • www.mbelectronique.fr

La nécessité pour les systèmes de tolérer les pannes sans interrompre le service a augmenté parallèlement au déploiement rapide de systèmes électroniques dans des applications telles que le traitement de données, les services financiers et en actions, les télécommunications et les transports. Beaucoup de ces systèmes sont en « temps réel » en ligne et, dans certains cas, ont des exigences liées à la sécurité. Notre dépendance à ces systèmes s'accompagne d'une intolérance croissante en ce qui concerne les temps d'arrêt, ce qui aurait une incidence sur le service à la clientèle, les ventes et, en définitive, les bénéfices des entreprises.

Indépendamment de la fiabilité et des imprévus de sauvegarde intégrés au système, si le système n'est pas alimenté, le système ne fonctionnera pas. La redondance N+1 et le remplacement à chaud offrent un moyen de garantir un fonctionnement ininterrompu en cas de panne d'alimentation. L'implémentation de systèmes d'alimentation à tolérance de pannes est en train de devenir la norme pour de nombreux systèmes et réseaux où même de courtes périodes d'indisponibilité peuvent affecter de manière significative les processus ou les services (**Fig. 1**).

Fig. 1

Les alimentations de la série HSP de 1000 W répondent à de nombreuses exigences des systèmes à tolérance de pannes de plus en plus répandus dans les systèmes de traitement des données, de télécommunication, financiers et de transport. Ces exigences incluent la redondance N+1 avec partage du courant, échangeables, et plages universelles de tension d'entrée.



Avant qu'un schéma fiable N + 1 puisse être mis en œuvre, il est nécessaire de répondre à un certain nombre de questions critiques :

- De combien de puissance ai-je besoin ?
- Ai-je besoin d'un partage de courant ?
- Comment fonctionne le partage actuel ?
- Comment détecter les défaillances ?

RESTONS EN CONTACT

MB ELECTRONIQUE
106, rue des frères Farman - ZI - BP31 - 78533 BUC
01.39.67.67.67 • web@mbelectronique.fr • www.mbelectronique.fr

De plus, une terminologie de base, telle que la différence entre les diodes de commande, de blocage, d'isolation et de direction peut souvent être source de confusion.

Un lien essentiel dans tous les systèmes industriels électriques/électroniques est la nécessité de convertir le courant source, généralement du secteur alternatif, en un courant continu basse tension isolé, régulé et conditionné. La redondance N+1 assure la continuité de cette alimentation grâce à l'utilisation d'un système de conversion d'alimentation capable de tolérer une défaillance d'un composant sans perdre la fonctionnalité du système. Une extension de ce système, un système N+2, peut tolérer une défaillance de deux composants. Le concept d'échange à chaud est étroitement lié à la redondance, à savoir la possibilité de retirer et de remplacer une unité défaillante sans mettre le système hors tension, ni compromettre les fonctionnalités du système. Cette fonctionnalité devient importante dès qu'une défaillance survient dans le système N+1. Les avantages de la redondance N+1 sont considérablement réduits si le système doit être mis hors tension afin de localiser et de remplacer l'unité en panne.

Combien de puissance ?

Pour évaluer la quantité d'énergie requise pour un système à redondance N+1, commencez par déterminer l'énergie requise pour la charge. Ensuite, déterminez le nombre minimum d'unités pouvant fournir cette puissance. Ajoutez-en un pour un système N+1, ajoutez-en deux pour un système N+2, etc. Par exemple, si vous exploitez un rail 48 V qui doit conserver une charge minimale de 2 A, vous pouvez utiliser deux unités 2-A en parallèle. Cette technique est une redondance N+1, car le système peut toujours fournir 2 A à la charge si une unité tombe en panne. Si vous utilisez trois unités 1-A en parallèle, vous aurez toujours une redondance N+1, car le système pourrait toujours fournir 2 A à la charge en cas de défaillance d'une unité. Si vous utilisiez trois unités 2-A, vous auriez maintenant la redondance N+2, dans laquelle le système tolérera la défaillance de deux unités simultanément sans affecter le fonctionnement du système.

Ai-je besoin d'un partage de courant ?

Un exemple de système redondant simple N+1 peut être constitué de trois alimentations 1-A connectées en parallèle pour alimenter une charge en 2-A. Si le partage du courant n'est pas implémenté, la nature des sources de tension indique que l'alimentation avec la tension la plus

RESTONS EN CONTACT

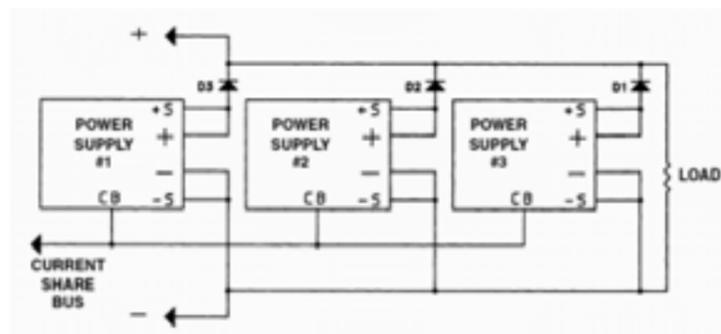
MB ELECTRONIQUE
106, rue des frères Farman - ZI - BP31 - 78533 BUC
01.39.67.67.67 • web@mbelectronique.fr • www.mbelectronique.fr

élevée (l'une sera toujours légèrement supérieure aux autres) fournira tout le courant à la charge jusqu'à ce qu'elle atteigne sa limite de courant. Il devient alors un stabilisateur de courant et sa tension tombe au niveau de l'alimentation immédiatement supérieure qui assume le rôle de stabilisateur de tension. L'unité suivante assumera une partie de la charge, et ainsi de suite, uniquement après le passage en mode actif. La dernière unité, celle avec le réglage de tension le plus petit, finit par contrôler la tension et fournit le moins de courant possible.

Le principal inconvénient de cette méthode est que les blocs d'alimentation seront chargés de manière inégale, ce qui entraînera une augmentation des taux de pannes. Un autre inconvénient est que la tension détectée par la charge changera légèrement lorsque chaque unité atteindra sa limite de courant et passera sous le contrôle de la tension à l'unité immédiatement inférieure, entraînant une récupération transitoire dégradée en cas de défaillance du module d'alimentation. Pour améliorer la fiabilité et la récupération transitoire, les blocs d'alimentation modernes conçus pour la redondance N+1 doivent disposer d'un moyen actif ou passif de partage de courant forcé, de sorte que toutes les unités partagent la charge de courant de manière égale (**Fig. 2**). Le partage actuel entraîne des températures de fonctionnement plus basses et des taux de défaillance réduits, ainsi qu'un temps de réponse amélioré, tandis que le coût et la complexité du circuit réel sont faibles.

Fig. 2

Trois alimentations en parallèle avec partage de courant forcé. Les diodes de blocage D1, D2 et D3 maintiennent chaque alimentation isolée les unes des autres, permettant ainsi au système de continuer à fonctionner en cas de défaillance d'une des sources d'alimentation.



Comment fonctionne le partage de courant ?

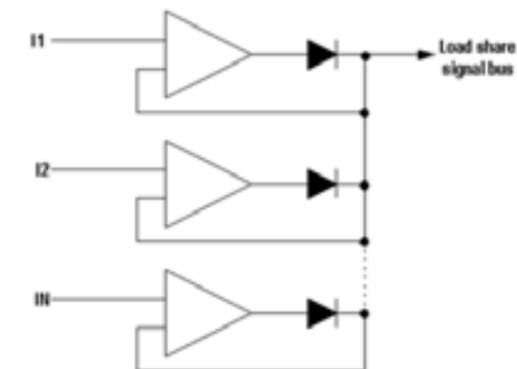
Le partage de courant passif peut être mis en œuvre dans des applications où une mauvaise

régulation de charge peut être tolérée. Si deux alimentations mal régulées sont connectées en parallèle, la tension de sortie diminue à mesure que le courant de sortie dans l'alimentation définie à la tension la plus élevée augmente. À un moment donné, la deuxième alimentation commencera à fournir davantage de courant, ce qui se traduira par une répartition automatique de la charge. Cette conception ne nécessite aucun circuit supplémentaire et est à sécurité intégrée, mais dépend d'une régulation médiocre pour fonctionner correctement.

Le partage de courant actif ou forcé est une forme de fonctionnement maître-esclave dans lequel le courant fourni par le maître est mesuré et les autres unités sont contrôlées pour correspondre au courant, en s'assurant qu'elles sont toutes également chargées (**Fig. 3**). La ligne de signal du bus à répartition de charge ou de partage de courant représente la sortie de courant la plus élevée de toute alimentation. Cette ligne est renvoyée à chaque alimentation du système et comparée au courant réel fourni par cette unité. Si la tension du bus de partage de courant (CSB) représente une répartition de charge inégale, la tension du CSB sera supérieure à la ligne de partage de courant de cette unité, ce qui obligera cette unité à fournir plus de courant. La nature du circuit impose de le stabiliser lorsque toutes les unités fournissent une part égale du courant. Une exigence des systèmes redondants N+1 utilisant la répartition de charge est que tous les modules du système doivent pouvoir être prérégulés sur la tension fournie par le système.

Fig. 3

Ce schéma simplifié d'un circuit de partage de courant montre des diodes de blocage. La ligne de partage de charge ou de signal représente la sortie de courant la plus élevée de toute alimentation. Ceci est renvoyé à chaque alimentation du système et comparé au courant réel fourni par cette unité.



Détecter une défaillance

La redondance N + 1 offre une augmentation considérable de la fiabilité du système, car deux unités devraient tomber en panne simultanément pour que le système d'alimentation tombe en panne. Si, par exemple, le taux de défaillance d'une unité est de 10×10^5 (équivalent d'un MTBF (temps moyen entre pannes) de 100 000 heures), le taux de défaillance du système N+1 est d'environ $(1 \times 10^5) \times (1 \times 10^5)$ ou 1×10^{10} , équivalent à un MTBF de 10 milliards d'heures. Cela représente une augmentation considérable de la fiabilité. De toute évidence, pour que le système redondant N+1 fonctionne, il doit reconnaître qu'une panne s'est produite et pouvoir indiquer quel composant ou quelle unité est tombé en panne sans arrêter le système. Le schéma de détection doit identifier et localiser de manière précise et cohérente une défaillance sur un module remplaçable spécifique. Sans circuits intégrés permettant d'identifier et de localiser le défaut, il est impossible de déterminer quelle unité doit faire l'objet d'un entretien tout en préservant l'alimentation du système. Les mêmes circuits qui surveillent les sorties d'alimentation afin de détecter les conditions de défaut peuvent également être utilisés pour indiquer qu'un défaut existe sur un module particulier. Les contacts de relais peuvent constituer un moyen pratique de fournir des indications de défaut isolées électriquement.

La détection des pannes va de pair avec une isolation des pannes, qui isole le système d'alimentation de tout effet néfaste d'une panne. Ces fonctions sont les éléments de base de tout système d'alimentation à tolérance de panne. Les exemples suivants sont proposés pour illustrer les difficultés rencontrées.

Défaillances de sortie faible

Pensez à la méthode pour détecter un défaut de sortie faible (sous-tension). Pour une alimentation unique, le détecteur de défaut n'a besoin que de surveiller la tension de sortie (ou le courant, dans les applications stabilisées en courant) pour déterminer si la sortie fonctionne dans les spécifications. Toute défaillance du bus d'alimentation doit être provoquée par la défaillance de l'unique alimentation. Dans le cas du système N+1 le plus simple, celui de deux alimentations en parallèle, la tâche devient beaucoup plus complexe. Si la sortie de l'un des blocs d'alimentation tombe à un état bas, l'autre bloc d'alimentation continuera à supporter la charge. Le détecteur de défaut doit être capable de déterminer qu'un défaut est survenu et lequel des deux convertisseurs

de puissance est défectueux afin que le système d'alimentation puisse être réparé. Le problème s'intensifie lorsque trois convertisseurs de puissance ou plus constituent le système d'alimentation.

Plusieurs schémas peuvent être mis en œuvre pour résoudre ce problème. La méthode la plus directe consiste à insérer une diode en série avec chaque sortie, entre la sortie du convertisseur de puissance et le bus de puissance, et à surveiller la sortie du convertisseur de puissance elle-même. Appelées diodes OR-ing, de blocage, d'isolement ou de direction, ces diodes fonctionnent toutes de la même manière dans des circuits différents, tout en remplissant les quatre fonctions. Les diodes isolent (bloquent) la sortie de chaque unité du bus d'alimentation, permettant ainsi au détecteur de défaut de signaler une défaillance, tout en commandant (ou orientant) la sortie de courant de chaque unité à appliquer à la charge. Les diodes isolent le bus de partage de courant de chaque unité, de sorte qu'une défaillance de cette dernière n'affecte pas le fonctionnement général du système N+1, tout en effectuant une fonction OU permettant à la tension représentant l'alimentation de fournir le courant maximal pour contrôler le bus à partage de courant (**Fig. 3**, à nouveau).

En cas de défaut de sortie faible, dans cet exemple, la diode empêche la tension du bus d'alimentation de forcer la sortie du convertisseur de puissance à une valeur élevée, et le détecteur de défaut du convertisseur défectueux peut maintenant mesurer et signaler le défaut de sortie.

Il y a cependant des problèmes avec cette approche. Comme tout le courant de charge consommé par le bus d'alimentation circule dans ces diodes, celles-ci sont généralement très grandes et coûteuses et, dans la plupart des applications, nécessitent une certaine quantité de chaleur. Ces diodes sont essentielles uniquement pour les applications de remplacement à chaud. Si la redondance et l'indication de défaut sont nécessaires, mais pas le remplacement en ligne (remplacement à chaud), l'efficacité peut être grandement améliorée en éliminant les diodes de blocage. En outre, si la diode de blocage est en court-circuit, comme cela est le cas le plus souvent dans ces applications, le détecteur de défaut ne peut détecter les défaillances de sortie faible que si un circuit supplémentaire est utilisé pour surveiller la chute de tension dans la diode. Ce circuit doit être capable de distinguer des chutes de tension du même ordre de grandeur que la tension d'ondulation de sortie. Dans les applications où le courant de charge du bus de puissance varie de manière significative, cette technique peut être très incohérente.

Une solution qui évite la plupart des problèmes ci-dessus consiste à utiliser des diodes de blocage

RESTONS EN CONTACT

MB ELECTRONIQUE
106, rue des frères Farman - ZI - BP31 - 78533 BUC
01.39.67.67.67 • web@mbelectronique.fr • www.mbelectronique.fr

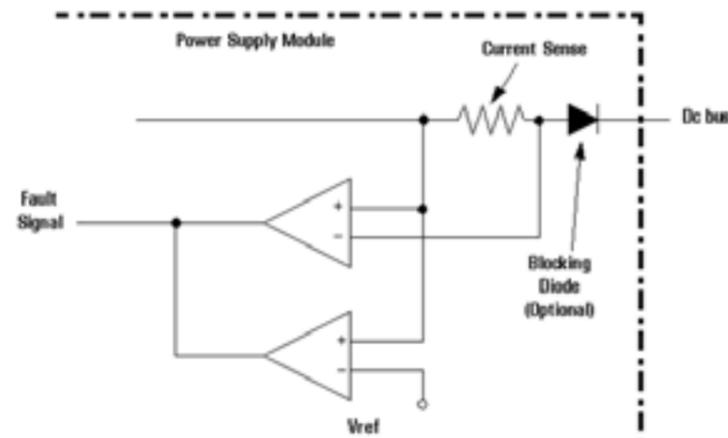
RESTONS EN CONTACT

MB ELECTRONIQUE
106, rue des frères Farman - ZI - BP31 - 78533 BUC
01.39.67.67.67 • web@mbelectronique.fr • www.mbelectronique.fr

et à surveiller à la fois la tension de sortie et le courant de chaque module (**Fig. 4**). En cas de défaillance du module d'alimentation dans lequel la sortie présente un défaut de sortie faible, le détecteur de défaut détectera qu'aucun courant n'est fourni à la charge et indiquera un défaut, même si la tension du bus reste élevée. Cette forme de détection de défaut fonctionne également avec une diode de blocage en court-circuit, car le module, et non la tension, est le paramètre clé surveillé. La seule exigence est que le partage de charge forcé soit utilisé, car le signal de partage de charge constitue la base du fonctionnement du détecteur de courant du module.

Fig. 4

Circuit de détection de défaut simplifié qui surveille la tension et le courant de sortie. Le circuit détecte les défauts même si la diode de blocage est en court-circuit. Le signal de partage de charge, qui détermine essentiellement les alimentations fournissant le courant à la charge et leur quantité, sera utilisé pour la surveillance du courant dans les systèmes N+1 réels.



Défaillance de sortie élevée

Des problèmes similaires existent pour les défaillances de sortie élevée (surtension). Prenons les mêmes deux convertisseurs de puissance fonctionnant en redondance N+1, avec des diodes de blocage de sortie installées. Si un convertisseur a une défaillance de sortie élevée, le second convertisseur détecte une condition de surtension et cesse de fournir de la puissance de sortie. Cette caractéristique évite que tous les convertisseurs de puissance mis en parallèle en sortie suivent le module défectueux en surtension (souvent appelée «surtension sélective»), mais les deux

alimentations afficheront désormais un défaut de sortie. Si l'alimentation avec le défaut de sortie élevée est coupée, le second convertisseur récupérera et le signal de défaut sera valide. Cependant, si l'arrêt de surtension ne se produit pas, il est impossible de déterminer quel convertisseur de puissance a échoué.

Un meilleur moyen est que le détecteur de défaut surveille à la fois la tension du bus d'alimentation et le courant fourni par chaque alimentation afin de déterminer si chaque convertisseur de puissance fonctionne correctement ou non. Cette technique améliore la précision du circuit de détection tout en éliminant la nécessité de bloquer les diodes.

Cependant, cette méthode n'est pas totalement infaillible, car elle ne peut pas détecter les diodes de blocage en court-circuit, ni les éliminer dans les applications remplaçables à chaud. Néanmoins, c'est la méthode la plus complète et la plus précise actuellement disponible pour déterminer l'état de fonctionnement des convertisseurs de puissance mis en parallèle en sortie, même s'ils sont en ligne, avec une augmentation modeste de la complexité du circuit.

Compensation des pannes de charge

Dans une configuration classique à alimentation simple, le courant de surcharge maximal fourni au bus d'alimentation en cas de défaillance de la charge est déterminé par la puissance nominale de l'alimentation et/ou le réglage de la limite de courant maximale. L'utilisation de systèmes d'alimentation à redondance élevée (N+2, N+3, etc.) pose des problèmes particuliers, en particulier dans les applications de télécommunications où l'alimentation doit fonctionner dans les modes de régulation de sortie stabilisés en tension et en courant. Une capacité excédentaire peut être dangereuse si le bus d'alimentation est en court-circuit et que toutes les alimentations fournissent leur courant de sortie maximum via le câblage de charge du système. Des dégâts thermiques et même des départs de feux sont possibles.

Les solutions comprennent des dispositifs de protection de charge distribuée (fusibles, disjoncteurs, thermistances, etc.) et un dimensionnement du câblage de charge basé sur la fourniture de courant maximale possible du système d'alimentation. De nombreuses conceptions d'alimentation incluent des circuits de temporisation fixes ou optionnels dans les circuits de protection contre les surintensités. Ces circuits coupent l'alimentation au bout de 10 à 30 secondes, en supposant que

RESTONS EN CONTACT

MB ELECTRONIQUE
106, rue des frères Farman - ZI - BP31 - 78533 BUC
01.39.67.67.67 • web@mbelectronique.fr • www.mbelectronique.fr

RESTONS EN CONTACT

MB ELECTRONIQUE
106, rue des frères Farman - ZI - BP31 - 78533 BUC
01.39.67.67.67 • web@mbelectronique.fr • www.mbelectronique.fr

surcharges à long terme constituent un problème de charge majeur qui a déjà compromis le système. Sachez qu'il ne s'agit pas d'une option viable pour les alimentations prenant en charge les bus d'alimentation sur batterie, comme dans de nombreuses applications de télécommunication, où un fonctionnement stabilisé à long terme avec un courant est une condition de fonctionnement normale.

Autres considérations

La conception des connecteurs doit être soigneusement étudiée pour permettre le retrait et l'insertion des modules d'alimentation sous tension. Les connecteurs utilisés pour le remplacement à chaud doivent comporter une protection contre les arcs électriques, car les contacts non alimentés entreront en contact avec des composants sous tension. Un couplage fiable des connecteurs doit également être pris en compte, faisant souvent appel à des barres de guidage, des broches de guidage ou des connecteurs à blindage afin d'assurer une installation et un retrait faciles.

Un système remplaçable à chaud correctement conçu doit inclure une protection contre la possibilité d'installer le mauvais module, par exemple un module avec une tension de sortie différente. Plus important encore, le bus d'alimentation doit être protégé contre les transitoires excessifs dus à la charge du condensateur de sortie pouvant se produire lors de l'insertion ou de l'extraction du module d'alimentation.

Les systèmes d'alimentation véritablement tolérants aux pannes doivent traiter les pertes de puissance source ainsi que les pertes de conversion de puissance. En effet, de nombreux systèmes d'alimentation à tolérance de pannes nécessitent des sources d'alimentation générées et protégées séparément pour chacun des multiples convertisseurs d'alimentation utilisés pour alimenter le bus d'alimentation en courant continu. D'autres utilisent des sources d'alimentation sans coupure (UPS) en ligne ou hors ligne avec batterie de secours ou génératrice de secours en cas de perte d'alimentation principale. D'autres encore, notamment les systèmes de télécommunication, utilisent une architecture de puissance distribuée consistant en une combinaison de tous les éléments ci-dessus appliqués aux circuits de source et de charge.

La charge de ces fonctions de protection supplémentaires entraîne des coûts de cycle de vie importants qui doivent être considérés par rapport aux exigences de performance.

RESTONS EN CONTACT

MB ELECTRONIQUE
106, rue des frères Farman - ZI - BP31 - 78533 BUC
01.39.67.67.67 • web@mbelectronique.fr • www.mbelectronique.fr

Par exemple, l'utilisation d'onduleurs en ligne pour la redondance source-alimentation implique un courant d'appel de démarrage des convertisseurs d'alimentation, tandis que la spécification d'onduleurs hors ligne nécessite la connaissance de la relation correcte entre le temps de passage en sortie et le temps de transfert de l'onduleur afin de préserver l'intégrité du bus d'alimentation. Les batteries créent leurs propres frais généraux en termes de maintenance, d'exigences de charge et de considérations environnementales.

Options disponibles

Les alimentations intégrant nombre des fonctionnalités décrites ci-dessus sont disponibles auprès de plusieurs fabricants. Tous présentent des produits spécialement conçus pour les systèmes d'alimentation à tolérance de pannes utilisés sur le marché international. Ils incluent des fonctionnalités telles que des entrées (plage universelle) avec correction du facteur de puissance, des diodes d'isolation de sortie montées en interne, des circuits à répartition forcée de la charge, des connecteurs à blindage et des circuits de détection de défauts avec indicateurs visuels et électriques. Le détecteur de défaut logique de la série KEPCO HSP avec arrêt sélectif de surtension fournit une détection précise du défaut et une isolation du défaut avec et sans la diode d'isolation optionnelle.

Paul O'Boyle est ingénieur principal en conception chez KEPCO et se spécialise dans le développement de nouveaux produits. Il est titulaire d'un BSEE de l'Institut polytechnique de Brooklyn, New York. Ses expériences précédentes en matière de conception incluent des convertisseurs de puissance militaires et industriels. Il est actuellement chef du groupe d'ingénierie pour le développement de l'alimentation en mode de commutation.

Steve Kugler est superviseur de la rédaction technique/webmaster chez KEPCO et possède un BA en anglais de Lehman College. Il a passé plus de 25 ans à travailler dans la documentation technique militaire, commerciale et marketing.

RESTONS EN CONTACT

MB ELECTRONIQUE
106, rue des frères Farman - ZI - BP31 - 78533 BUC
01.39.67.67.67 • web@mbelectronique.fr • www.mbelectronique.fr