

production de cartes à faible quantité

avec et sans assemblage

Saad Imtiaz (Elektor)

Vous avez conçu et testé une carte électronique et vous souhaitez maintenant la produire en (petites) quantités. Toutefois, si vous n'avez pas les moyens financiers de commander 10 000 cartes préassemblées et de les stocker dans un endroit d'où vous pourrez les vendre à loisir, quelles sont les options qui s'offrent à vous ?

La première option qui vient à l'esprit est d'assembler soi-même les cartes. C'est tout à fait possible lorsque les quantités sont faibles et que la carte ne comporte pas trop de composants (**figure 1**). Cela peut paraître simple, mais il y a quelques points à prendre en compte avant de commencer.

Commencez par choisir un fabricant de cartes. Il peut s'agir d'un service de *pooling* (voir l'encadré *Pooling*) si vous n'avez besoin que de quelques cartes. Mais si vous en avez besoin de (plusieurs) centaines, il sera plus avantageux de comparer les devis de différents fabricants qui ne pratiquent pas le *pooling*.

Source des composants

Si vous avez effectué le processus de conception de la carte dans le bon ordre, vous disposez déjà d'une liste de composants avec, pour chaque ligne, une référence complète du fabricant et l'adresse d'une entreprise où vous pouvez acheter la pièce. L'idéal serait de disposer d'un fournisseur unique pour l'ensemble, mais, dans la plupart des cas, il n'existe pas. Il faut faire appel à plusieurs fournisseurs pour obtenir tous les composants, et chacun d'entre eux facture les frais d'expédition et de manutention. Par conséquent, des achats judicieux vous permettront d'économiser de l'argent. Dans le même temps, il vous fera perdre du temps, d'où l'importance de trouver un équilibre entre les deux.

Assembler la carte

Une fois que vous avez les circuits imprimés et les composants, il est temps d'assembler les cartes. Disposez-vous des outils nécessaires à cet effet ? Un petit fer à souder (**figure 2**) peut convenir pour assembler un prototype, mais est-il assez confortable pour assembler vingt, cinquante ou cent cartes ? Et les pièces, sont-elles unique-



ment traversants, uniquement des CMS, ou est-ce un mélange ? En général, il est préférable d'éviter de mélanger les technologies de montage, car cela complique l'assemblage des cartes. Que des CMS, c'est bien, car la carte peut être soudée dans un four. Toutefois, le placement de ces pièces sur la carte est un travail délicat. Et comme il faut de la pâte à braser, avez-vous commandé un pochoir pour l'appliquer correctement ? Comment allez-vous aligner le pochoir sur des dizaines de cartes ? Ce sera plus facile lorsque les circuits imprimés sont regroupés dans un panneau.

Essais

Après avoir assemblé les cartes, il faut les tester. Pour cela, vous aurez besoin d'un équipement approprié. La construction d'un banc de test ou d'un programmeur, voire des deux, peut être une bonne idée.

Vente et expédition

Si vous avez déjà vendu quelque chose sur un site tel qu'eBay, vous savez que la vente est plus compliquée que le simple fait de trouver un acheteur pour le produit. Elle comprend également la facturation, l'emballage et le conditionnement, ainsi que l'expédition, et toutes ces opérations coûtent du temps et de l'argent.

Quelles sont les options ?

En fait, les problèmes mentionnés ci-dessus doivent être résolus quelle que soit la méthode de production choisie, de la pièce unique à la production de masse. Et comme la fabrication de cartes est un processus complexe, il existe de nombreuses entreprises qui proposent des services pour vous faciliter la tâche. Bien entendu, tout a un prix et il vous appartient de trouver le bon compromis entre le coût, le temps et la tranquillité d'esprit.

Mise en commun des PCBA

Certains fabricants de circuits imprimés proposent également un service d'assemblage de circuits. Il s'agit de ce que l'on appelle les *PCBA houses*, où le « A » signifie assemblage. Ainsi, au lieu de leur commander un circuit imprimé nu, vous pouvez commander un circuit entièrement assemblé. Cela semble pratique, n'est-ce pas ? C'est vrai, mais cela a un coût et complique un peu l'approvision-



Figure 1. Carte de circuit imprimé avec les composants sélectionnés.

nement en composants. Vous avez votre liste de composants et ils ont leur inventaire, et les deux ne correspondent pas sur toutes les lignes, et peut-être même pas sur une seule ligne. Vous devez donc vérifier soigneusement chaque pièce de votre liste de composants par rapport aux pièces proposées par l'atelier d'assemblage. Cette tâche prend beaucoup de temps. Et, bien entendu, toutes les pièces ne seront pas en stock ou même disponibles, ce qui entraîne des coûts et des retards incertains. Pour faciliter cette étape, vous pouvez adapter au préalable la conception de votre circuit au stock de composants du service d'assemblage.

La plupart des services de mise en commun de circuits imprimés proposent également des services d'assemblage (figure 3) et de recherche de composants, ce qui peut s'avérer très utile pour réduire la lourdeur de la tâche consistant à trouver puis à souder les composants. Souder quelques circuits imprimés peut être amusant, mais plus de quelques uns peut s'avérer fastidieux.

Tout comme la commande d'un PCB, la commande d'un assemblage est presque similaire, mais quelques détails supplémentaires sont requis par le fabricant, tels que le nombre de composants uniques, le nombre de pièces CMS et traversants, et ainsi de suite (figure 4). C'est une bonne pratique d'ajouter ces informations à la liste des composants et de mentionner leur type à côté de leur nom. Cela permet d'éviter toute erreur de la part du fabricant et de gagner du temps lors de l'exécution de la commande.

Le fabricant vous fournira un devis pour le service d'assemblage après que vous ayez fourni des informations sur les types et les quantités de composants, etc. Ce devis n'inclut pas le coût des composants. Une fois que vous avez passé votre commande, l'équipe d'assistance du fabricant intervient et vous indique si les composants et leurs références correspondent ou non à votre carte. Elle vous fournira alors un devis pour les composants.

Pour économiser de l'argent sur les composants, il est nécessaire d'examiner attentivement les prix et de les comparer à d'autres sources telles que Mouser, DigiKey et AliBaba (figure 5). Il est raisonnable de passer par le service d'assemblage si les composants sont à un prix raisonnable. En général, certains composants ne seront pas disponibles et d'autres sont proposés à un prix supérieur au coût normal. Dans ce cas, il est préférable d'obtenir les composants auprès des revendeurs en ligne (sur AliBaba par exemple), car



Figure 2. Station de soudure numérique.

Figure 3. Types de services d'assemblage sur PCBWay.

Figure 4. Autres paramètres pour les services d'assemblage sur PCBWay.

Pooling

Les circuits imprimés sont fabriqués dans ce que l'on appelle un panneau de production. Le même panneau de production peut produire des circuits imprimés pour différents clients avec les mêmes spécifications. Nous appelons ce regroupement de commandes apparentées *pooling*. Le pooling favorise la flexibilité et réduit les coûts de fabrication.

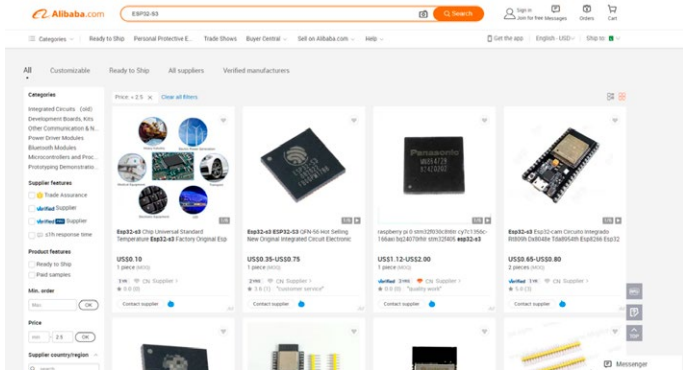


Figure 5. Vendeurs de composants chinois sur Alibaba.

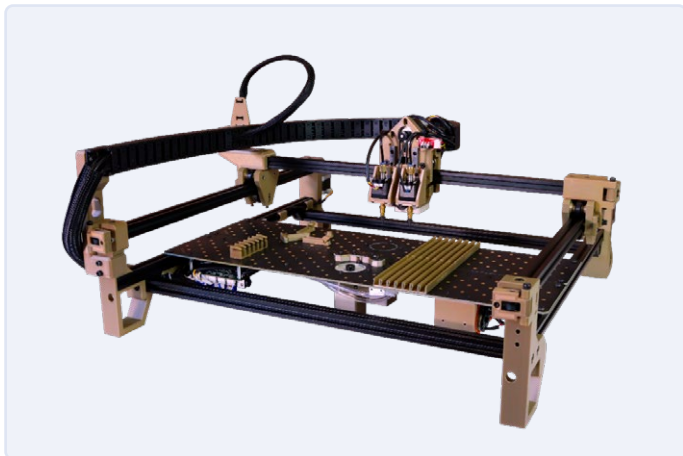


Figure 6. LumenPnP par Opulo.

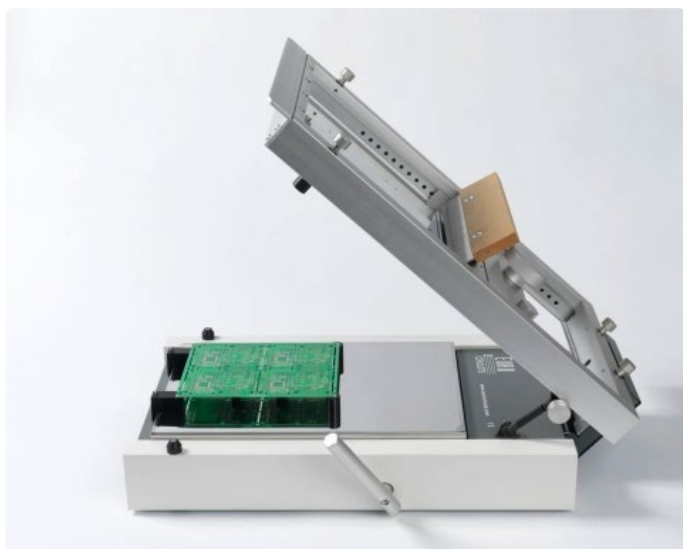


Figure 7. L'imprimante eC-stencil-mate d'Eurocircuits.

ils offrent généralement un prix beaucoup plus bas que le service d'assemblage (et qui peut souvent être encore réduit en négociant avec le revendeur). Il est préférable de demander des devis à trois revendeurs ou plus avant d'en choisir un.

Après avoir conclu un accord avec l'un des revendeurs, les composants doivent être envoyés au service d'assemblage. Assurez-vous donc que l'adresse du fabricant est correctement imprimée sur le colis. Demandez au revendeur de partager une photo du colis sur laquelle figurent l'adresse et le numéro de suivi. Cela permet de s'assurer que tout est en ordre et que l'envoi peut être suivi. Il est conseillé de communiquer le numéro de suivi et la photo du colis à l'équipe d'assistance du service d'assemblage. Cela permet d'éviter tout retard dans le traitement des commandes. Une communication efficace avec le fabricant et le revendeur de composants garantit un processus d'assemblage sans heurts.

Services cinq étoiles

D'autre part, il existe des entreprises qui prennent votre liste de composants et achètent toutes les pièces pour vous. Comme elles ont de nombreux clients, elles peuvent acheter des volumes plus importants que vous, ce qui fait baisser le prix. Ces entreprises peuvent également commander les circuits imprimés pour vous, ce qui vous permet d'éliminer une autre tâche de votre liste. Elles peuvent également assembler les cartes pour vous, les programmer et les tester. Certaines d'entre elles peuvent même stocker et expédier les cartes pour vous. Mais, comme d'habitude, ces services ont un coût. Même s'ils sont très pratiques, il y a un hic : beaucoup de ces entreprises n'acceptent que des commandes à partir d'une centaine de cartes, ce qui est peut-être trop pour ce que vous aviez en tête. En outre, elles n'acceptent parfois que des clients professionnels, ce qui signifie que vous devez d'abord créer une entreprise.

Assemblage maison ?

Assembler soi-même les circuits imprimés peut être la solution la plus économique, si l'on ne compte pas les heures qu'il faut y consacrer. En particulier pour les cartes CMS, toutes sortes d'outils d'assemblage bon marché ont vu le jour, depuis les petites machines de positionnement, les imprimantes de pâte à braser jusqu'aux fours de refusion et aux plaques chauffantes. Pour quelques milliers d'euros, vous êtes opérationnel. Mais cela vaut-il la peine d'investir autant lorsque vous n'avez qu'une centaine de cartes à réaliser ? Ou comptez-vous sur des commandes ultérieures ? Si ce n'est pas le cas, vous pouvez vous contenter d'un fer à souder. Dans ce cas, achetez au moins un aspirateur de fumées de soudure.

LumenPnP d'Opulo (**figure 6**) est l'une des options pour votre ligne d'assemblage CMS. Il s'agit d'une machine *pick-and-place* (PnP) open source, facile à installer et abordable qui, surtout, ne prend pas trop de place dans votre labo. Il s'agit donc d'un bon choix pour les fabricants et les amateurs. D'autres options open-source incluent OpenPnP et SimplePnP, etc.

L'obtention et l'utilisation de ces solutions PnP ne constituent pas la fin de l'histoire, mais ouvrent au contraire un tout nouveau chapitre. Vous aurez besoin d'autres outils pour manipuler les pochoirs de pâte à braser (**figure 7**), pour préchauffer de circuits imprimés (**figure 8**), un four à refusion (**figure 9**) et un banc de test pour les cartes finies. Tout cela semble intéressant, mais il faut savoir que ces outils doivent être programmés et configurés pour chaque carte. Vous devrez faire des essais pour vous assurer que la configuration et les paramètres sont importés correctement.



Figure 8. Le préchauffeur eC et le cube à fumée eC d'Eurocircuits.



Figure 9. Le four de refusion à infrarouge T-962.



Figure 10. Circuit imprimé entièrement assemblé : le kit de régulateur de tension linéaire Elektor ± 40 V.

Comparaison des différents services de PCB

Beta Layout : se distingue par sa gamme complète de services en matière de circuits imprimés. Elle propose des options de fabrication de circuits imprimés, d'assemblage et même d'impression 3D. Beta Layout offre une production rapide et fiable, avec une large gamme de matériaux et de finitions disponibles. Son site Web convivial comporte un visualiseur gerber en ligne, qui facilite l'examen et la vérification des conceptions. En outre, Beta Layout propose un outil de vérification des règles de conception (DRC) pour faciliter la validation des conceptions.

<https://eu.beta-layout.com>

Eurocircuits : connue pour ses services de fabrication et d'assemblage de circuits imprimés de haute qualité. Elle propose un large éventail d'options de circuits imprimés, y compris des prototypes et des séries de production. Elle propose également une plateforme en ligne conviviale avec des prix instantanés et un délai d'exécution rapide. L'accent mis sur l'assistance à la clientèle et les vérifications approfondies des règles de conception garantissent des résultats optimaux. Eurocircuits propose également un outil de visualisation qui permet aux utilisateurs de revoir la conception de leur circuit imprimé avant la fabrication.

<https://eurocircuits.com>

JLPCB : connu pour ses prix compétitifs et sa fabrication de haute qualité. Elle propose un large éventail d'options pour les circuits imprimés, y compris des prototypes et des séries de production plus importantes. JLPCB propose une plate-forme de commande en ligne facile à utiliser et prend en charge plusieurs formats de fichiers. Ses processus étendus de contrôle de la qualité, tels que l'inspection optique automatisée (AOI), garantissent une fabrication fiable des circuits imprimés.

<https://jlcpcb.com>

OSH Park : un service de fabrication de circuits imprimés axé sur la communauté et connu pour ses cartes distinctives de couleur violette. Il est spécialisé dans la fabrication de circuits imprimés prototypes et fournit des résultats de haute qualité en accordant une attention particulière aux détails. OSH Park dispose d'un site web convivial où les utilisateurs peuvent télécharger leurs conceptions et consulter un rendu visuel du circuit imprimé fabriqué. L'entreprise privilégie la transparence et propose des projets partagés pour recueillir les commentaires de la communauté.

<https://oshpark.com>

PCBWay : un choix populaire pour la fabrication de circuits imprimés en petite quantité en raison de son prix abordable et de ses délais d'exécution rapides. L'entreprise propose un processus de commande en ligne simplifié, avec calcul des prix en temps réel et devis instantané. PCBWay prend en charge une variété d'options de circuits imprimés, y compris les cartes flexibles et rigides-flexibles. Son site web propose également une visionneuse gerber en ligne et une fonction de vérification des règles de conception pour garantir l'exactitude de la conception.

<https://pcbway.com>

Résumé et recommandations :

Le choix du bon service de *pooling* de circuits imprimés dépend des exigences spécifiques du projet, du budget et des caractéristiques souhaitées. D'après la comparaison entre les services de *pooling* susmentionnés, PCBWay est le moins cher du groupe s'il s'agit de commander 10 PCB ou moins, mais au-delà, tous les autres services coûtent pratiquement la même chose. JLPCB arrive en deuxième position en termes de prix, et ces services proposent généralement une offre très pratique. Tenez compte de facteurs tels que le prix, les capacités de fabrication, le délai d'exécution, les mesures de contrôle de la qualité et l'assistance à la clientèle. Il est également utile d'examiner les commentaires et les évaluations des utilisateurs pour chaque service.

Conseils pour une meilleure conception des circuits imprimés

Lorsque vous cherchez à concevoir des circuits imprimés rentables, le fait de prêter attention à des détails techniques spécifiques et aux normes industrielles peut grandement optimiser votre approche. Voici quelques conseils et astuces précieux à prendre en compte :

Largeur de piste et espacement : suivez les directives de la norme IPC-2221 [1] concernant la largeur de piste et la capacité de transport actuelle souhaitée. En ce qui concerne l'espacement (dégagement) entre les pistes, les pastilles ou les composants, maintenez une distance minimale de 0,2 mm pour les conceptions à basse tension (<50 V) dans un environnement standard [2].

Tolérances de fabrication : assurez-vous que votre conception respecte les tolérances de fabrication spécifiées par le fabricant. Confirmez que les dimensions, l'espacement et la taille des trous pour les composants et les trous d'interconnexion se situent dans des limites acceptables afin d'éviter les problèmes de fabrication.

Contrôle de l'impédance : pour les conceptions à haute fréquence ou les applications nécessitant un contrôle de l'impédance, calculez la largeur de la trace et la séparation en fonction de l'impédance caractéristique souhaitée, de la constante diélectrique du substrat et de l'épaisseur du cuivre. Utilisez des calculatrices en ligne ou des logiciels spécialisés pour déterminer les dimensions exactes des pistes.

Alignement du masque de soudure et de la sérigraphie : veillez à l'alignement correct entre le masque de soudure et les couches de sérigraphie. Veillez à ce que la conception tienne compte de la tolérance d'alignement spécifiée par le fabricant afin de préserver l'aspect visuel et la faisabilité.

Panneautage : optimisez la production de faibles volumes en panneautant plusieurs circuits imprimés sur un seul panneau. Respectez les directives du fabricant pour la mise en panneaux afin d'assurer une fabrication efficace et une réduction des coûts.

Empreintes des composants : utilisez des empreintes de composants normalisées pour garantir la compatibilité et réduire les coûts de fabrication. Vérifiez que les empreintes correspondent aux composants spécifiques que vous avez l'intention d'utiliser, en vous référant aux bibliothèques de normes industrielles ou aux recommandations des fabricants de composants pour plus de précision.

Testabilité : concevez le circuit imprimé [3] en tenant compte de la testabilité afin de réduire les coûts de test et de débogage. Incorporez des points de test, des zones d'accès aux sondes et des capacités d'autotest intégré (BIST), le cas échéant. Cela permet de réaliser des tests efficaces au cours de la fabrication, en réduisant au minimum la nécessité d'une reprise ou d'un dépannage coûteux.

depuis votre logiciel de conception. Ensuite, il faut remplir les chargeurs de la machine PnP avec les composants et surveiller le processus pour s'assurer que la machine fonctionne correctement, qu'elle ne manque pas de composants et qu'elle les place au bon endroit. Tout cela peut réduire la charge de travail par rapport à la soudure manuelle, mais elle peut aussi s'avérer fastidieuse, car elle nécessite une surveillance continue si vous ne voulez pas être déçu au retour d'une pause café. Dans l'ensemble, il s'agit d'une configuration intéressante, mais si vous ne souhaitez pas vous engager dans cette voie, vous avez toujours la possibilité de faire appel à des services de PCBA.

Quelle que soit l'option choisie, la vue d'un circuit imprimé entièrement assemblé (**figure 10**) est toujours satisfaisante ! ◀

230477-04

Questions ou commentaires ?

Si vous avez des questions techniques ou des commentaires sur cet article, n'hésitez pas à contacter l'équipe éditoriale d'Elektor à l'adresse redaction@elektor.fr.

À propos de l'auteur

Saad Imtiaz (ingénieur sénior, Elektor) est un ingénieur mécatronicien qui a cinq ans d'expérience dans les systèmes intégrés, les systèmes mécatroniques et le développement de produits. Il a collaboré avec plus de 200 entreprises, allant des startups aux entreprises mondiales, sur le prototypage et le développement de produits. Saad a également travaillé dans l'industrie aéronautique et a dirigé une startup technologique. Il a récemment rejoint Elektor et dirige le développement de projets dans les domaines du logiciel et du matériel.



Produits

- **Imprimante de PCB Voltera V-One**
<https://www.elektor.fr/voltera-v-one-desktop-pcb-printer>
- **Four de refusion à infrarouge T-962 (version améliorée d'Elektor)**
<https://www.elektor.fr/infrared-reflow-oven-t-962-revised-elektor-version>
- **Station de dessoudage numérique ZD-915**
<https://www.elektor.fr/digital-desoldering-station-zd-915>
- **Support pour circuit imprimé Weller ESF 120ESD**
<https://www.elektor.fr/weller-esf-120esd-pcb-holder>

LIENS

[1] Application des normes IPC-2221 à la conception des circuits imprimés [PDF] : <https://tinyurl.com/ipc2221a>

[2] Conception d'un motif de circuit imprimé conforme à la norme IPC-7351 : <https://tinyurl.com/ipc7351>

[3] Conseils pratiques pour l'agencement des circuits imprimés que tout concepteur doit connaître : <https://tinyurl.com/pcbtips>

PRÉCOMMANDEZ DES MAINTENANT !



SPECTRAN[®] V6

— BEYOND REALTIME —

REALTIME SPECTRUM ANALYZER

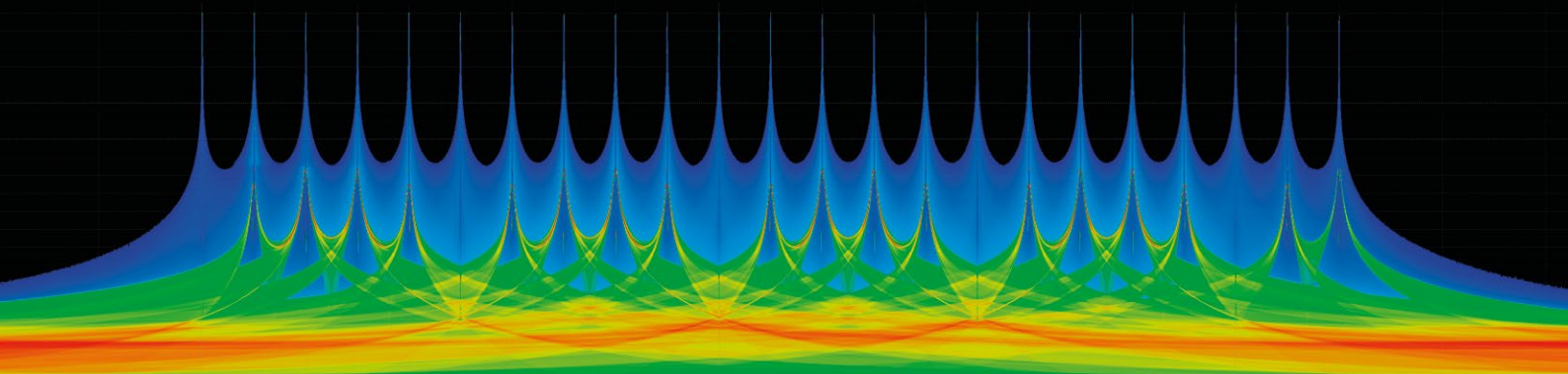
5G

Analyseur de spectre USB en temps réel **53 GHz** (FR1 & FR2)

250 MHz - 53 GHz | Double récepteur | **3 THz/s** sweep | **450 MHz** IBW | **16-Bit 2 GSPS** ADC | **IQ** streaming
-170 dBm/Hz DANL (4 dB NF) | Format **USB** compact | Inclut le puissant logiciel **RTSA-Suite PRO**



Chaque appareil est équipé du logiciel d'analyse de spectre le plus avancé au monde, "RTSA-Suite PRO".



MADE IN GERMANY



www.aaronia.com

mail@aaronia.de

+49 6556 900 310

AARONIA AG
WWW.AARONIA.DE