

Le procédé de Stratoconception®

1. L'origine des travaux – le procédé breveté

A l'origine, à la fin des années 80, ce sont les travaux de recherche initiés par Claude Barlier et son équipe qui ont conduit au procédé breveté de Stratoconception® en 1991.

Il s'agit du procédé de prototypage rapide par couches de type solide/solide qui consiste à décomposer par calcul le modèle CAO de la pièce en un ensemble de couches élémentaires simples, appelées "strates", dans lesquelles sont introduits des renforts et des inserts. Les couches élémentaires sont mises en panoplie et fabriquées dans un matériau en plaque à partir d'une découpe par micro-fraisage rapide ou d'une découpe laser.

Les strates sont ensuite assemblées à l'aide d'inserts pour reconstituer l'objet final. Cet assemblage est pris en compte dès la décomposition de l'objet, il participe à la tenue mécanique des pièces.

Le procédé est très rapide. Il est particulièrement adapté pour les maquettes, les prototypes mais également pour les outillages, voire les pièces de série. Il est sans limitation de forme intérieure ou extérieure, sans limitation de matériaux (bois, polymères, métaux) et sans limitation de taille (de quelques millimètres à plusieurs mètres).

Depuis 1991, l'équipe du CIRTES travaille à la mise au point et au développement du procédé pour lequel brevets et marques sont déposés.

C'est aujourd'hui **19 brevets de base** déposés dans de nombreux pays, en France, en Europe (20 pays) et sur le plan mondial aux Etats-Unis et au Canada.

Le procédé a fait également l'objet de nombreuses publications et communications internationales ainsi que d'articles dans les revues spécialisées.

Le procédé de Stratoconception® s'est orienté très tôt (1995) vers l'outillage rapide et, en particulier, vers les applications dédiées aux procédés tels que le thermoformage, la fonderie, l'emboutissage et ou bien l'injection. Plus récemment, il trouve des applications dans le domaine de la réalisation d'œuvres d'art, de moyennes et grandes dimensions.

Etapes industrielles importantes

- industrialisé en 1995 par la Société savoyarde CHARLYROBOT sous forme de stations de Prototypage Rapide,
- devenu en 1999, le procédé de Prototypage Rapide le plus vendu en France,
- a fait l'objet d'un projet européen EUREKA CODERAVI, en 1997 pour la création de nouvelles stations d'Outillage Rapide,
- a permis en 1999, la création de la Start'up rp2i ayant pour objet, la commercialisation et l'intégration du procédé, en France et à l'étranger (rp2i devient **Stratoconcept** en 2004),
- en décembre 2000, sortie de la 2^{ème} gamme de station d'Outillage Rapide Stratoméтал RT1000, fabriquée par le constructeur meusien de machines-outils, REALMECA
- en 2004, nouveaux partenariats avec des fabricants de machines-outils étrangers et présentation de la nouvelle version du procédé destinée à l'intégration sur parc machines existant.
- en 2005, nouvelle gamme de stations fabriquées par le constructeur MECANUMERIC (Tarn) et ISEL (Allemagne).
- en 2006, nouvelle gamme de stations Fil Chaud fabriquées par le constructeur CROMA (Vendée)
- 2009, Prise en charge intégrale par le CIRTES de la diffusion de la gamme des produits de Stratoconception® et refonte générale de la gamme de produits.

Références dans l'industrie et la formation

Aujourd'hui, plus de 200 licences du procédé sont installées en France et à l'étranger.

Des stations qui fournissent des maquettes, prototypes et outillages rapides à de nombreuses entreprises de référence dans les domaines de :

- l'automobile (PSA, BMW, MECACHROME, VALEO, MATHIEU YNO, LIEBHERR ...),
- l'aéronautique et de l'armement (AIRBUS, ARIES MECA, ZODIAC AEROSPACE ...),
- Nucléaire (AREVA, CEA),
- l'ameublement (STEELCASE, A&D, ...),
- l'électroménager (ZANUSSI, ...)
- le packaging (NESTLE WATERS, VEGETAL & MINERAL WATER, LA POSTE, ...),
- le médical (RAVEL ORTHOMEDIC, ...),
- la transformation de matière plastique (STOROPACK, KNAUF, COGEMOULE, CATOIRE, ...),
- la cristallerie et les objets de luxe (BACCARAT, DAUM, Ateliers TOUTAIN, ...),
- les canalisations (SAINT-GOBAIN PAM, ...),
- divers biens de consommation (LEGRAND, CHENE VERT, PORCHER...),
- matériaux (ALCAN,...)
-

Dès 1995, de nombreuses Universités, Ecoles d'ingénieurs et Lycées techniques, en France et à l'étranger, se sont équipés de stations de Stratoconception® qui donnent lieu, aujourd'hui, à un grand nombre d'applications pédagogiques. Le procédé est devenu, en France, le procédé de référence pour l'apprentissage des techniques de développement rapide de produit. Il est aussi utilisé pour la réalisation de maquettes et prototypes en projets de conception de produit.

Nous pouvons citer par exemple les établissements suivants :

- les Lycées (Jean Perrin, Blaise Pascal, Henri Loritz, Pierre Mechain, Jean Moulin, ...),
- des Ecoles d'ingénieurs (GIP-InSIC, ENIM, ESEPAC, ESSTIN, ICAM, ...),
- des Universités (IFTS, Université de Metz, IUT de Mulhouse, IUT de Limoges, ...).

Publications et conférences depuis 1991

- **145** articles majeurs (plusieurs pages) de revues industrielles (Usine Nouvelle, Industrie & Techniques, ...)
- **96** publications nationales et internationales sur le procédé par les équipes du CIRTES et ses partenaires
- **65** conférences avec actes lors de congrès nationaux et internationaux
- **165** articles dans la presse régionale en Lorraine

Projets européens initié à partir du procédé

CRAFT FASTOOL, EUREKA CODERAVI, CRAFT MOLSTRA

Projets européens en cours associant le procédé

Interreg STRATORA, IP PROPFORM, LEONARDO EDTI

Reconnaisances :

- Concours « *Entreprendre 92* »
- Oscar « *Performance Lorraine 94* »
- « *trophée INPI de l'Innovation 96* »
- « *les trophées Industrie 2002* »
- « *2009 Outstanding Paper Award – EMERALD* »

Marques déposées sur le procédé:

Stratoconception®	VIRTUREEL®	Strat'®	Pack&Strat®
Stratoconcept®	VirtuReal®	Strat'YM®	
Stratoconcept-PC®	Orthostrato®	Strat'Emball®	

2. Le principe de base du procédé breveté

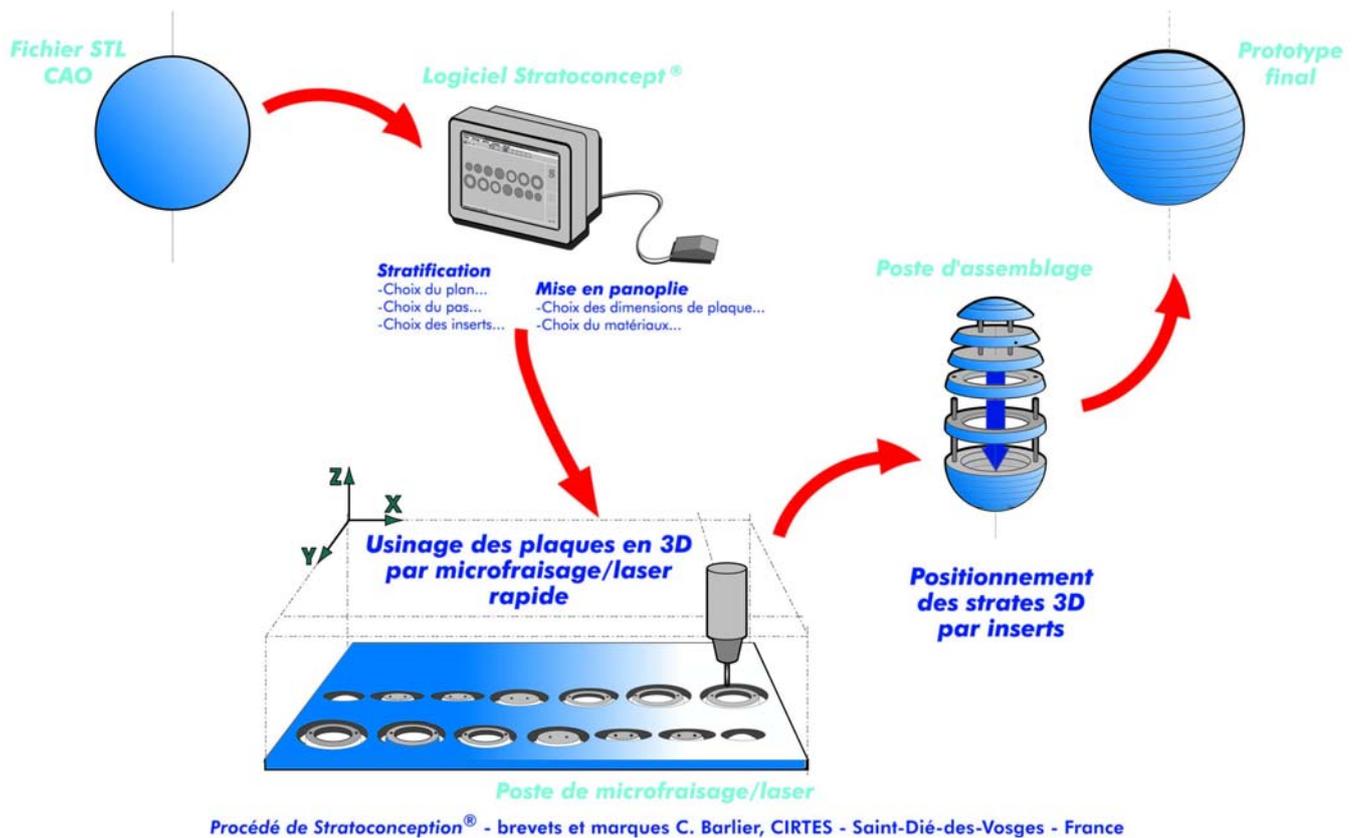


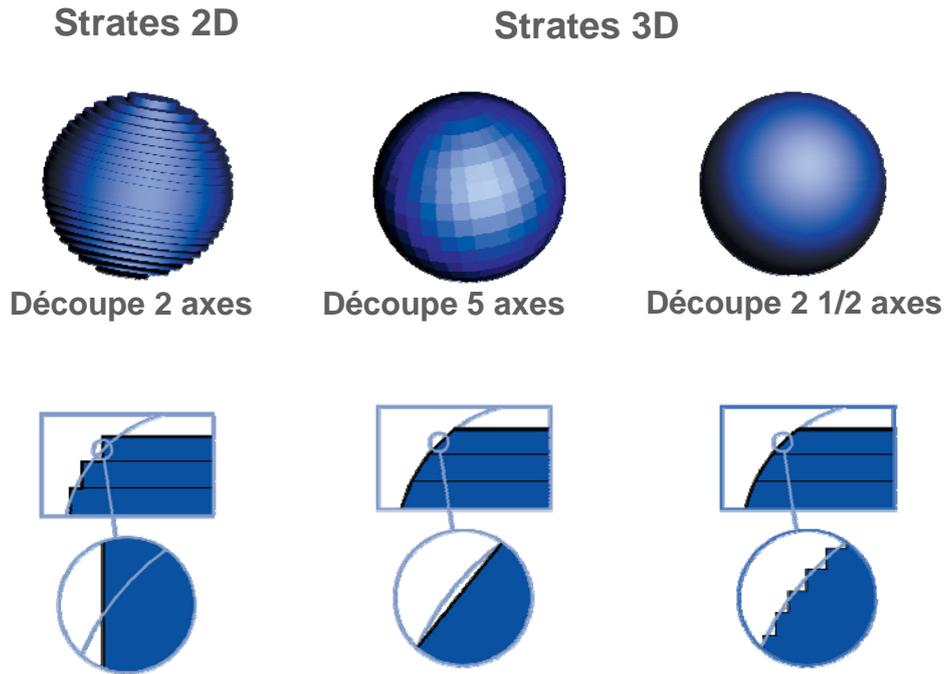
Fig 1 : Principe de base du procédé breveté de Stratoconception®

Les étapes du procédé de Stratoconception®

A partir du modèle CAO, génération d'un fichier au format STL.

1. Choix du ou des plans de stratification, du ou des pas de stratification (les couches pouvant être d'épaisseur plus ou moins importante)
2. Visualisation de la forme de la pièce (analyse des dépouilles et contre-dépouilles) et mise en place des inserts (une des premières particularités du procédé) qui permettent de positionner les couches et de renforcer la pièce
3. Calcul de la stratification (le tranchage)
4. Choix des plaques sur lesquelles la station fabrique les pièces (dimensions), le logiciel répartit (mise en panoplie) les strates sur les plaques
5. Génération automatique du parcours d'outil
6. Découpe par micro-fraisage rapide des différentes couches
7. Grâce aux inserts, assemblage et fixation des strates
8. Si besoin, parachèvement

La méthode de stratification et les paramètres de découpe



Le procédé offre 2 possibilités de stratification et utilise 3 procédés de découpe :

➤ Stratification simple et rapide en 2D

- ◆ Particulièrement adaptée à la découpe 2 axes
- ◆ Même principe que pour les autres procédés
Pour obtenir une bonne précision de la pièce il faut réduire l'épaisseur des couches (en principe 1/10 mm pour les autres procédés)
problème : la précision due à l'empilement et le temps de réalisation
- ◆ Reste valable en Stratoconception® pour la réalisation de pièces de moyennes et grandes dimensions avec une finition (enduit des escaliers). Avantages : bonne géométrie de l'ensemble et rapidité d'exécution
- ◆ Strictement utilisée en découpe (intérêt laser ou jet d'eau)

➤ Stratification 3D (la plus utilisée en Stratoconception®)

- ◆ solide très proche du solide virtuel initial
- ◆ augmentation de l'épaisseur des couches (meilleure précision car moins d'empilement et plus rapide au montage)

Deux possibilités de fabrication des strates 3D:

- Strates 3D obtenues par découpe **5 axes**

- ◆ surfaces réglées, faisant apparaître une légère facettisation (suppression de l'effet d'escalier)
- ◆ couches épaisses (découpées par laser 5 axes: très rapide) *ou par* (microfraisage rapide en 2,5axes : très précis)

- Strates 3D obtenues par micro-fraisage rapide UTGV **2 axes 1/2**

- ◆ profil surfacique très proche du solide initial
- ◆ redécomposition de la couche en plusieurs plans d'usinage

- ◆ 2 pas de stratification (le premier pas correspond à l'épaisseur de la couche solide, le second à la précision de l'usinage)

Remarque :

Nous pouvons également associer la fabrication de strates 3D en ébauche par découpe 5 axes puis finition des strates par micro-fraisage rapide UTGV **2 axes 1/2**. Cette technique **hybride** permet un gain de temps très important sur les grandes maquettes ou outillages. Dans certains cas, seules les formes extérieures sont reprises en fraisage rapide, les contours intérieurs qui constituent les parties creuses de la pièce restent bruts de découpe laser 5 axes.

Elle est aujourd'hui particulièrement utilisée :

- pour la fabrication de grandes maquettes en polystyrène (PS) sur une station fil chaud 4 axes, puis finition de certaines strates en micro-fraisage rapide (2.5 axes),
- pour la fabrication d'outillages métalliques de grandes dimensions sur une station de découpe laser 5 axes pour l'ébauche des strates et finition en microfraisage UTGV sur station Stratoconcept.

3. L'originalité de la Stratoconception® par rapport aux autres procédés de Prototypage Rapide

Originalité

- couches 3D réalisées à partir de plaques rigides
- liaison et positionnement des couches par inserts soit à l'intérieur de la pièce, soit à l'extérieur de la pièce (pontets)
- possibilités d'imbrication de strates de formes complexes
- 2 possibilités différentes de stratification
- procédé additif, (économie de matière), l'usinage se limite à une mise en forme du champ des couches
- nécessite une très faible puissance de microfraisage rapide (600W)
- grande variété de matériaux en plaques (bois, plastiques, métaux ferreux et non ferreux, ...) possibilité de bonne matière,
- permet d'obtenir des pièces de petites et surtout de grandes dimensions (de 6000*2000 mm, voire au delà), non limitées en Z
- ne nécessite pas de support (cf Stéréolithographie)
- possibilités de conception interne des outillages,
- possibilités d'intégrer directement dans l'outillage tous les systèmes de régulation et de refroidissement et ceci de manière beaucoup plus optimisée,
- possibilités d'intégrer des capteurs dans les prototypes ou dans les outillages

Ouverture du procédé - avantages

- coût de la machine très faible (2,5 axes)
- approvisionnement facile de la matière à un prix industriel très compétitif (pas de matière captive)
- aspect très pédagogique du procédé
- ouverture du procédé: système français, avec une équipe de recherche basée à Saint-Dié, chaque étape du procédé est accessible, il est possible de développer des applicatifs métiers (ex Orthostrato® pour les prothésistes et orthopédistes).
- préparation réduite des fichiers à traiter
- formation de l'opérateur limitée à quelques jours.
- intégration possible du procédé dans un environnement de type bureau d'études dans le cas des stations de Prototypage Rapide
- nombreux types de pièces réalisées par ce procédé: maquettes, prototypes fonctionnels et technologiques, moules, modèles, pièces mécaniques, outillages...
- temps de réalisation des prototypes ou outillages réduit
- coût d'une pièce bon marché par rapport aux autres procédés
- procédé non polluant qui optimise la matière et permet le recyclage des déchets
- procédé particulièrement adapté à l'Outillage Rapide

4. L'Impact environnemental et économique du projet

Impact environnemental

ECONOMIE DE MATIERE

L'usinage traditionnel opère par enlèvement de matière et dans beaucoup de cas, la pièce finale ne représente plus que quelques pour cents du volume brut initial. A l'inverse, la Stratoconception® fonctionne par ajout de matière et permet de déposer la bonne matière, en quantité suffisante et au bon endroit, à l'extérieur comme à l'intérieur de la pièce. Le procédé tranche le volume puis réalise directement les couches par une technique de découpe appropriée au matériau : microfraisage, laser, jet d'eau ..., à partir de matériaux en plaque. Ainsi, seul un très faible volume de matière correspondant au trait de découpe est enlevé.

Par ailleurs, l'ensemble des couches formant la pièce, ce que nous appelons « panoplie », est imbriqué automatiquement de manière à optimiser la taille et le nombre de plaques nécessaires à la réalisation d'une pièce. Cette optimisation permet la valorisation des parties de matière non utilisées.

Il est également possible d'associer plusieurs matériaux sur une même pièce, afin d'en optimiser encore le volume.

Lorsque le procédé de Stratoconception® est utilisé pour réaliser directement des outillages de production (cas de l'outillage rapide), il permet d'inclure des formes intérieures complexes ainsi que des fonctionnalités qui favorisent la maîtrise du process de mise en forme. Cette amélioration innovante de l'outillage génère une économie de matière liée à une meilleure maîtrise des interactions pièces-outils-procédés. Cette maîtrise permet par ailleurs de diminuer le poids des pièces produites tout en leur conservant les meilleures caractéristiques.

ECONOMIE D'ENERGIE

En terme d'économie d'énergie, nos pièces et outillages sont réalisés sur des stations d'une puissance très faible de quelques centaines de watts à quelques kilowatts), ce qui représente des puissances de 20 à 50 fois inférieures à celles des machines à commande numérique traditionnelles qui procèdent par enlèvement de matière. Pour des formes comparables, les temps de fabrication sont réduits d'environ 30 à 40 %, ce qui donne une bonne idée du bilan énergétique final.

En outillage rapide, la maîtrise accrue des interactions pièces-outils-procédés, rendue possible par « l'intelligence procédé » qu'apporte la Stratoconception®, permet également une réduction des temps de cycle de production des pièces et donc une réduction de la consommation d'énergie des procédés de production.

RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT

La station de travail associée au procédé de Stratoconception® génère les panoplies de strates constituant la pièce dans une enceinte fermée munie d'un système intégré d'aspiration des poussières ou de gestion des copeaux. Cet environnement, de surcroît libéré de la présence de lubrifiant, est d'un entretien extrêmement aisé.

L'absence de fumée, de gaz, et surtout l'absence de lubrifiant de coupe (usinage à sec) facilite le recyclage de la matière première sur des chutes de matière non polluée.

Notre équipe a mis au point, avec l'Ecole des Mines de Nancy, un matériau écologique à base de fibres naturelles (projet lorrain Strat'EGIE), dans l'objectif de recyclabilité des pièces étudiées et fabriquées en Stratoconception®. Ce matériau nouveau est destiné à des pièces prototypes (prototypage rapide) ou à des pièces directes de petites séries (fabrication rapide),

ERGONOMIE DU POSTE DE TRAVAIL

L'opérateur travaille dans une ambiance propre et très salubre, davantage comparable à celle d'un laboratoire qu'à celle d'un atelier de fabrication traditionnel. Le montage des couches s'effectue sur un plan de travail ergonomique avec tous les outils nécessaires répertoriés par fonctions élémentaires (à la manière d'un prothésiste). La fabrication de pièces, de prototypes ou d'outillages devient ainsi un travail constructif, très valorisant pour l'opérateur qui est désormais placé dans un environnement d'hygiène et de sécurité avancé.

IMPACT ECONOMIQUE

L'impact économique du procédé de Stratoconception® est directement issu de l'économie des temps de réalisation et de la diminution des coûts dans les premières phases critiques de développement des produits nouveaux.

L'économie de temps est directement mesurable lors de la réalisation des prototypes (prototypage rapide) et des outillages (outillage rapide).

Le gain est encore plus sensible lorsque la Stratoconception® est utilisée directement comme outil de production de pièces en série (fabrication rapide).

Dans le cas des outillages, notre procédé permet un meilleur contrôle de la qualité des pièces fabriquées ainsi qu'une réduction des temps de cycle de production.

Grâce à ces nouveaux outillages, les coûts sont encore réduits par la baisse des rebuts en production de série et par la diminution des besoins en matière première et en consommation d'énergie.

La compétitivité que nous développons s'organise par conséquent autour du marché très important des procédés et de l'outillage et, tout particulièrement, dans le secteur de la mise en forme des matériaux.

L'apport socio-économique de nos travaux trouve sa source dans les capacités disponibles en Lorraine pour développer et industrialiser de nouveaux procédés d'usinage, d'assemblage et de mise en forme associées à la maîtrise du comportement des matériaux modernes et celle de l'instrumentation par micro-capteurs. L'enjeu consiste à introduire un maximum d'intelligence et de valeur ajoutée sur le triptyque produit-procédé-matériau, notamment au niveau du procédé et de l'outillage. Cet apport sera, à terme, profitable à tous les grands secteurs industriels.

Notre réponse tient d'une offre technologique et industrielle qui procède de l'innovation et du développement technologique durable, mais elle tient également d'un changement de comportement du milieu industriel face à un monde en pleine évolution.

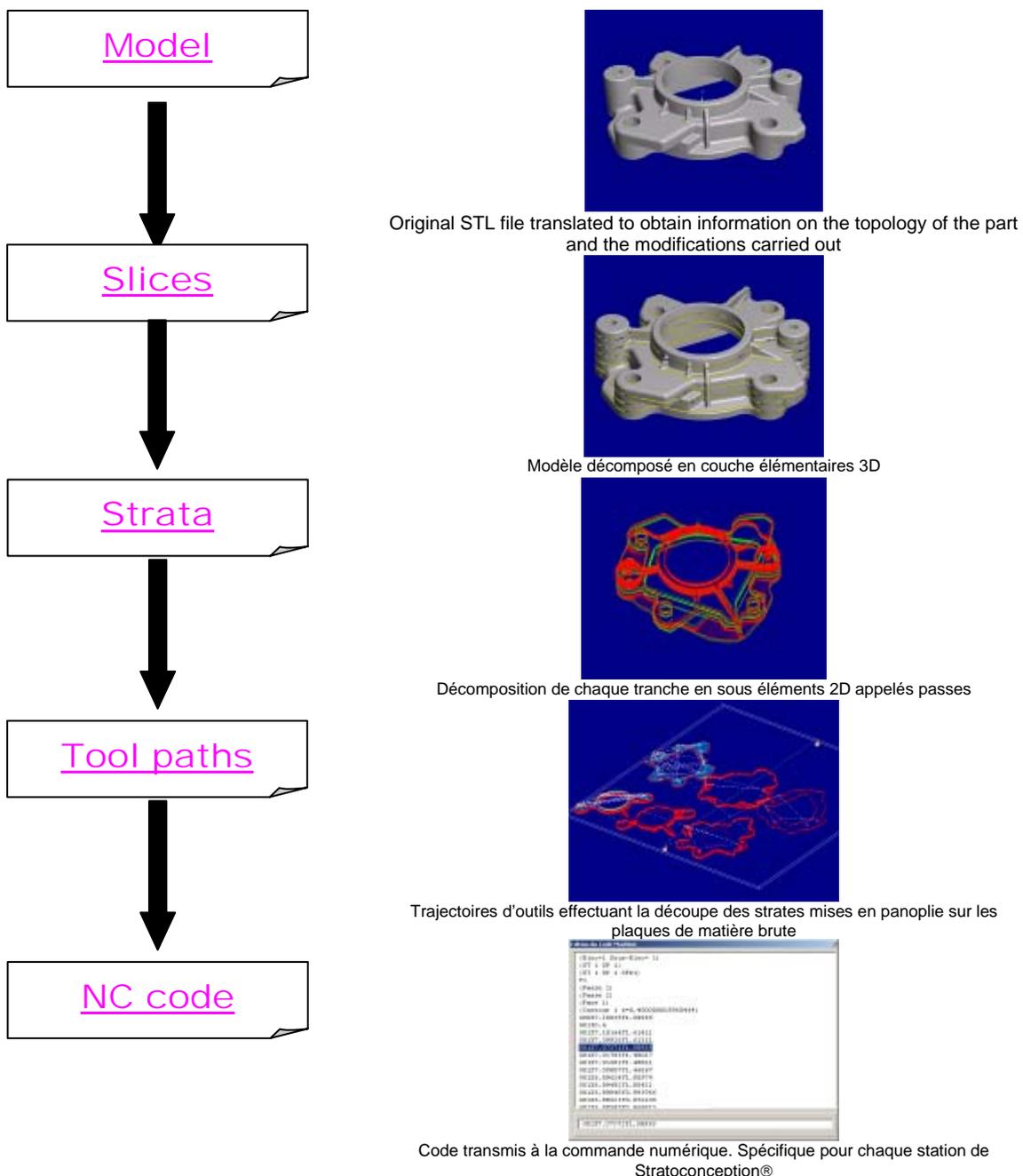
5. Le logiciel Stratoconcept III® associé au procédé de Stratoconception®

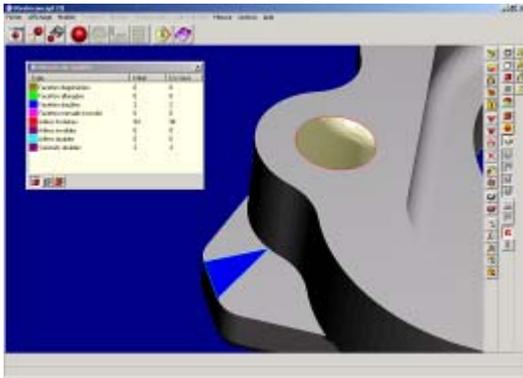
Le logiciel Stratoconcept® III met en oeuvre les évolutions récentes du procédé de Stratoconception®. A partir de l'importation du modèle STL (standard du prototypage rapide) jusqu'à la génération automatique du code machine pilotant la découpe des strates 3D, Stratoconcept III permet, grâce à une interface simple et intuitive, de réaliser des prototypes et outillages incluant des fonctions intégrées aux couches.

Phases de réalisation

Pour réaliser le prototype, voutil convient de récupérer le fichier CAO de la pièce et transformer celui-ci pour piloter sa fabrication sur la station de Stratoconception.

Les 5 phases de l'élaboration du prototype, du modèle STL au code machine pilotant la découpe, sont accessibles dans le logiciel. L'intérêt de cette décomposition est de pouvoir agir à chaque étape pour réaliser une véritable 'conception' dans la réalisation d'un prototype en Stratoconception®.



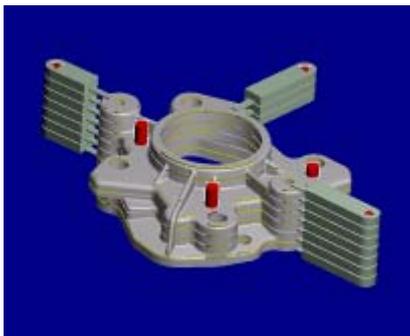
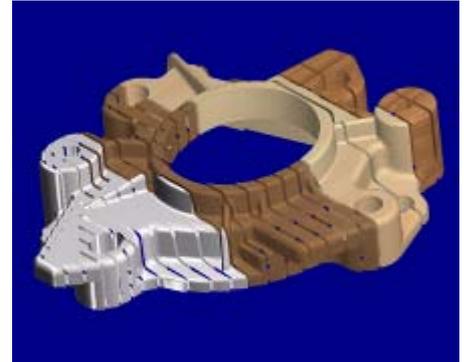


Modèle 3D

- Importation des modèles au format STL
- Structure de sauvegarde des pièces
- Visualisation dynamique 3D
- Correction des défauts du volume
- Transformations et mesures sur le modèle

Tranchage

- Choix des paramètres de tranchage (axe, plans)
- Décomposition en couches élémentaires 3D
- Constitution des couches (matériaux, assemblages)
- Analyse des tranches (dépouilles)
- Mise en place des éléments de liaison (inserts et pontets)

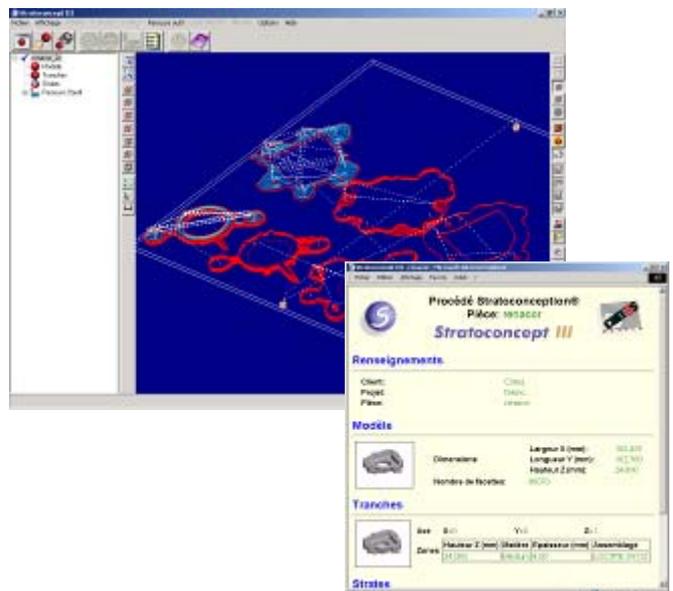


Conception des strates

- Réalisation de formes complexes grâce au retournement (Stratification Recto/Verso)
- Optimisation du temps de fabrication et de la précision (Stratification adaptative)
- Paramétrage spécifique de chaque élément (Stratification locale)
- Choix des technologies de découpe (2,5 axes, 5 axes, micro-fraisage rapide, laser)
- Contrôle du rapport précision/rapidité de fabrication

Réalisation

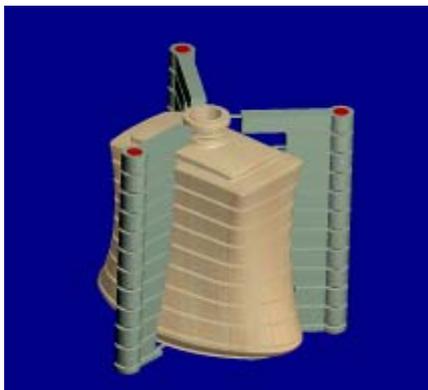
- Mise en panoplie des strates sur les plaques brutes
- Génération automatique des parcours d'outils pour la découpe 3D des strates
- Choix des outils et conditions de coupe dans une base de données
- Rapport de fabrication
- Base de données intégrée (matière, assemblage, outils, conditions de coupe, machines)



6. Des innovations majeures brevetées

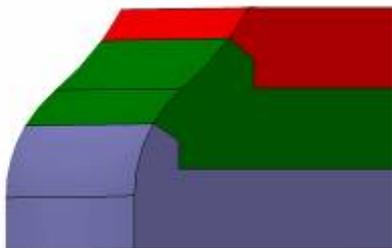
Les équipes du CIRTES travaillent continuellement sur le développement et la mise au point de nouvelles fonctionnalités liées au procédé de Stratoconception® et au logiciel Stratoconcept®. Chacune de ces innovations ont permis le dépôt d'un ou de plusieurs brevets nationaux et internationaux. Ces nouvelles fonctions sont à présent disponibles dans les versions commerciales du procédé de Stratoconception®.

- **Le positionnement des strates par pontet**



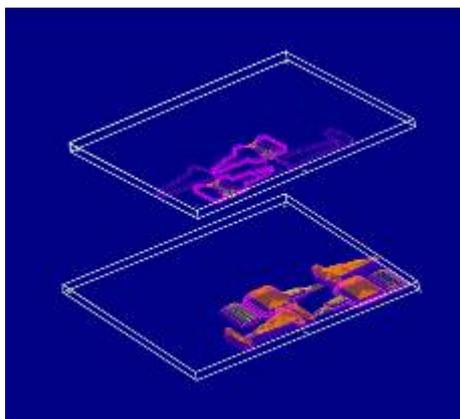
Dans le cas de fabrication de prototype à parois fine ou de modèles esthétiques où la présence d'inserts de positionnement serait préjudiciable (pièces transparentes), le procédé offre la possibilité de reporter à l'extérieur les éléments de positionnement et d'assemblage des différentes strates grâce à une sorte d'échafaudage : **les pontets**. Ces pontets sont retirés lors du parachèvement de la pièce.

- **L'assemblage par imbrication**



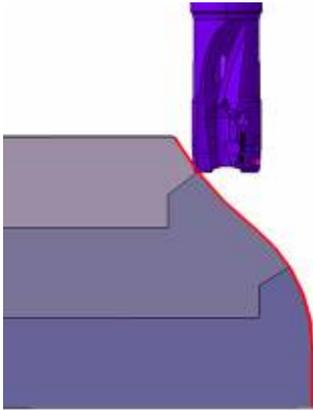
Les équipes de R&D du CIRTES ont mis au point un nouveau mode de positionnement et d'assemblage des couches sans l'utilisation d'inserts ou de pontets. **L'imbrication** est réalisée soit par plots (type lego), soit par emboîture complète. Le montage des prototypes ou outillages réalisés par Stratoconception® est donc ainsi réalisé de manière plus systématique tout en réduisant la main d'œuvre et en améliorant la fixation.

- **Le mode recto/verso et le retournement**



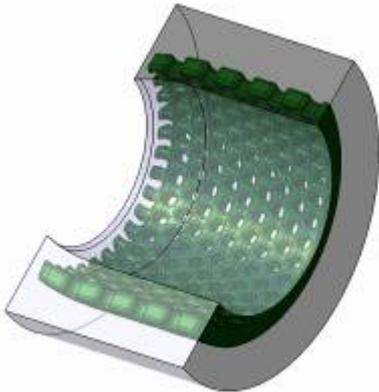
La réalisation de pièces complexes par Stratoconception® présentant à la fois des dépouilles et des contre-dépouilles est possible grâce au mode **recto/verso** et au **retournement**. Après la phase de tranchage, la logiciel Stratoconcept détecte automatique la présence de dépouille et de contre-dépouille au sein d'une même strate ce qui nécessitera un retournement pour usiner la partie de strate non accessible lors de la première phase d'usinage. Deux programmes sont ainsi automatiquement générés par le logiciel et une demande de retournement de la plaque est demandée à l'issue de l'usinage du recto.

- **L'empilement / finition de l'interstrates**



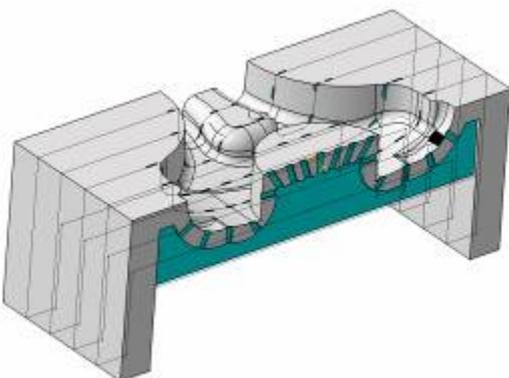
Ce nouveau mode de réalisation de pièces par Stratoconception est particulièrement adapté à la fabrication de pièces et modèles dépouillant (modèle de fonderie, de thermoformage, ...). Il permet, l'usinage de l'ébauche de chacune des strates en panoplie, puis **la finition automatique de l'empilement** successif des couches. Les modèles ainsi obtenu ont ainsi des précisions géométriques très bonnes et une qualité de finition importante.

- **Les cellules thermiques dans les outillages rapides**



L'intérêt majeur de l'outillage rapide réside dans la possibilité d'intégration au cœur même de l'outillage de fonctionnalités avancée telles que la chauffe ou le refroidissement des empreintes. Les études menées par le CIRTES ont permis de mettre au point de véritable **cellule thermique conformable** qui permette l'optimisation des échanges thermiques pendant les cycles de fabrications, ce qui permet des gains de productivités importants.

- **Le busage interstrate**



Initialement conçu par l'équipe R&D du CIRTES pour le passage de la vapeur de cuisson dans l'obtention de modèles en polystyrène injecté, les busages à l'interstrates peuvent être très facilement transposé à tous les procédés nécessitant des échanges de fluides entre la partie moulante et l'extérieur du moule (ex. : aspiration pour le thermoformage, ...). Le placement et la fabrication de ces événements peuvent être intégré directement au procédé de Stratoconception® et être fabriqué dans la même phase que celle de d'usinage du profil 3D de chacune des strates. Par rapport aux techniques traditionnelles, l'utilisation du **busage intégré en Stratoconception** permet un gain en temps très important.

7. Le développement industriel et commercial du procédé : la gamme de stations de prototypage et d'outillage rapide

C'est le CIRTES qui a en charge la diffusion du procédé. Il a mis en place un partenariat important avec les fabricants de machines-outils tels que MECANUMERIC, REALMECA, CHARLYROBOT et CROMA. Il a aussi structuré un véritable réseau de distribution en France et à l'étranger.

L'offre des produits de Stratoconception® est composée de 4 grandes familles :

- 1 : Des **stations** de prototypage et d'outillage rapide pour matériaux tendre,
- 2 : Une large gamme de **logiciels** sur base Stratoconception®
- 3 : L'**Intégration** du procédé de Stratoconception® sur un parc machine existant,
- 4 : Des **équipements spécifiques** pour le procédé de Stratoconception®
 - Dispositifs de maintien des panoplies pendant l'usinage,
 - Postes de montage des strates
 - Kits de démarrage et de parachèvement, ...
- 5 : Des **services** dédiés :
 - Assistance téléphonique et HotLine
 - Formation
 - Intégration dans la chaîne numérique
 - Intégration métiers

7.1. Les Stations de Stratoconception® pour matériaux tendres

Les stations de Stratoconception® par Microfraisage Rapide

L'objectif de la gamme de stations Stratoconcept® est de permettre la réalisation, dans des *matériaux dits tendres*, de prototypes et d'outillages de moyennes et grandes dimensions. Les stations sont qualifiées pour de nombreux matériaux en plaque : bois, polymère, métaux non ferreux.

Les prototypes pouvant être réalisés avec ces machines peuvent toucher tous les secteurs d'activité : automobile, aéronautique, architecture, électroménager, emballage, flaconnage, verrerie, cristallerie, médical, sanitaire, mobilier, sculpture, chaussure, ... et peuvent servir, du fait de la grande variété de matériaux utilisables, de maquettes, prototypes esthétiques, technologique ou même fonctionnels.

La réalisation d'outillages par cette technologie permet un gain de temps et l'utilisation de matériaux en fonction de la quantité de pièces à produire permet une réduction des coûts non négligeable. De plus, le choix de matériaux de fabrication permet de s'affranchir de réglage; citons, par exemple, le médium pour le thermoformage.

Le tableau suivant indique les outillages réalisables avec le procédé de Stratoconception® pour la gamme Strato Soft.

Fonderie	Plasturgie	Mise en forme
<ul style="list-style-type: none">■ modèles<ul style="list-style-type: none">● bois● planche usinable● cire● aluminium■ plaque-modèle<ul style="list-style-type: none">● planche usinable● bois● aluminium	<ul style="list-style-type: none">■ modèles<ul style="list-style-type: none">● bois● aluminium■ outillage prototype<ul style="list-style-type: none">● bois● planche usinable en résines● aluminium	<ul style="list-style-type: none">■ outillages<ul style="list-style-type: none">● plastique technique● résines chargées● aluminium

Domaines d'application du procédé de Stratoconception® en Outillage Rapide

Les stations de Stratoconception® sont organisées suivant 3 grandes gammes :

- **la gamme DESK**

Les stations de Stratoconception® de la **gamme OFFICE** sont des stations légères destinées à la réalisation de maquettes, modèles, ou outillages de petite dimension dans des matériaux tendres et non métalliques (bois et composés de bois, plastiques et résines) et. Il s'agit de machine de bureau qui ne nécessite pas d'environnement particulier pour leur fonctionnement.

- **la gamme ESSENTIAL**

La **gamme ESSENTIAL** concerne des stations de dimensions plus importantes pour la réalisation de pièce en matériau tendre. Ce sont également des stations plus précises. Ces stations peuvent être équipées, de tables d'aspiration pour le maintien des strates lors de l'usinage. Ces machines sont particulièrement adaptées pour la réalisation de modèles et outillages de fonderie, de thermoformage ou de moulage au contact. Certaines machines de la gamme permettent la réalisation de pièces en aluminium

- **la gamme ADVANTAGE**

Les stations de la **gamme ADVANTAGE** sont des stations de grande vitesse. Elles permettent la fabrication de maquettes, modèles et outillages dans des matériaux plus durs avec une grande précision. Avec une aire de travail pouvant aller jusqu'à 6 m x 2m, elle autorise la fabrication de modèles de grande dimension.

- **la gamme OPTIMUM**

Les stations de la **gamme OPTIMUM** sont de véritables stations intégrées. Elles sont constituées de trois postes permettant la fabrication de maquettes ou d'outillage rapide de grande dimension dans des matériaux tendres ainsi que dans le l'aluminium :

- un poste de traitement dédié équipé du logiciel Stratoconcept® III qui permet toutes les manipulations du fichier STL d'entrée avant fabrication,
- une partie opérative qui permet le micro fraisage 2,5 axes UTGV de la panoplie de strate. Cette partie est équipée de série d'une table à aspiration pour améliorer la fixation des plaques et des strates ainsi que d'un aspirateur à copeau est à poussière performant.

Procédé de Stratoconception

- un poste de mise en géométrie et de parachèvement des pièces qui permet le montage des strates et la finition adaptée des maquettes ou outillages obtenus. Ce poste dédié à l'assemblage des pièces permet un montage rapide et précis des strates.

Gamme	Ident. Station	courses		
		X	Y	Z
DESK	STM D 0302	310	220	160
	STM D 0604	600	420	280
ESSENTIAL	STM E 0705	760	520	200**
	STM E 0710	760	1020	200**
	STM E 1015	1020	1520	200**
	STM E 1030	1020	3050	200**
	STM E 1520	1520	2050	200**
	STM E 1530	1520	3050	200**
	STM E 2030	2050	3050	200**
ADVANTAGE	STM A 1015	1010	1520	250
	STM A 3015	3050	1520	250
	STM A 3020	3050	2045	250
	STM A 4020	4050	2045	250
	STM A 6020	6050	2045	250
OPTIMUM	STM O 1510	1510	1010	100
	STM O 3015	3015	1510	100
	STM O 4020	4015	2010	100

**Z 350 en option

Les Stations de Stratoconception®



Station de Stratoconception® STM D 0302



Station de Stratoconception® STM E 1015



Station de Stratoconception® STM A 1015 1510



Station de Stratoconception® STO 3015

De très nombreux matériaux en plaques qualifiés et disponibles peuvent être utilisés par le procédé de Stratoconception®. Cette qualification est réalisée en étroite collaboration avec les fabricants de matériaux.

Chaque matériau qualifié est référencé sur des fiches techniques nommées « applications métier ». Ces fiches apportent toutes les indications nécessaires à la réalisation de la maquette ou de l'outillage :

- les conditions de coupe,
- les méthodes d'assemblages,
- Dans de réalisation d'outillage rapide, le nombre de pièces réalisables par l'outillage en fonction du matériau,
- ...

De plus, chacun de ces matériaux, ainsi que ses conditions d'usinage sont disposition dans la base de donné des matériaux du logiciel Stratoconcept®.

Les autres stations de Stratoconception®

Le CIRTES propose également 2 autres gammes de stations de Stratoconception®. Il s'agit des stations des gammes :

- Série **STHWC** : Station de Stratoconception® par Découpe au Fil chaud
Ces stations permettent la fabrication de grands prototypes ou outillages de très très grande taille en polystyrène.

- Série **STLC** : Strations de Stratoconception® par découpe laser
Cette série spéciale est entièrement dédiée à la fabrication d'emballage rapide par le procédé Pack&Strat®.

7.2. Les logiciels de Stratoconception®

Produit	Description
	<p>Version intégrale du logiciel Stratoconcept®III. Cette version ouvre l'accès à toutes les fonctionnalités avancées de l'application, et notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La correction automatique des modèles STL, • L'assemblage des strates par imbrication, • L'optimisation de la mise en panoplie • ...
	<p>Version allégée du logiciel Stratoconcept®III qui permet la fabrication rapide de modèles complexes en recto-verso.</p>
	<p>Version de découverte et d'initiation au Prototypage Rapide par Stratoconception® au collègue. Le logiciel est accompagné d'une mallette contenant un kit permettant la réalisation complète de plusieurs pièces.</p>
	<p>Version spécifique du procédé de Stratoconception® dédiée à la réalisation de pièces de très grande taille en polystyrène par découpe au fil chaud. Cet applicatif logiciel est dédié aux machines CROMA.</p>
	<p>Version spécifique du procédé de Stratoconception® dédiée à la fabrication rapide d'emballage 3D sur mesure. Ce logiciel est adaptable sur toutes les stations de la gamme Stratoconception®</p>
	<p>Logiciel permettant de convertir un dessin 2D au format DXF en un modèle 3D STL interprétable sur l'une des applications de Stratoconception®</p>

7.3. Intégration du procédé sur parc machine existant

Il est possible d'intégrer directement le logiciel Stratoconcept® et le procédé de Stratoconception® sur un parc machine existant. Cette intégration consiste à adapter le code machine issu de Stratoconcept au langage utilisé par la commande numérique de la machine d'usinage UGV 3 axes destinée à recevoir le procédé. Pour ceci les équipes du CIRTES réalise un développement sur mesure du post-processeur adapté à la CN de la machine.

En plus, de ce développement sur la partie commande, l'intégration consiste aussi à adapter la partie opérative de la machine pour l'utilisation spécifique du procédé de Stratoconception®. Ces adaptations concernent le maintien et le bridage de la plaque de matière première et des strates sur la table du Centre d'usinage. Le CIRTES propose trois technologies de tables de maintien :

- la table à dépression standard,
- la table à micro valves (Brevet CIRTES),
- l'étau plastique (Brevet CIRTES).

En complément, des équipements de montage des strates et de finition des modèles accompagnent cette intégration.



Exemple d'intégration du procédé de Stratoconception® sur machine 3 axes REALMECA RV8 avec commande numérique SIEMENS

7.4 Des équipements spécifiques pour le procédé de Stratoconception®

En complément des logiciels, des stations, ou de l'intégration sur parc machines existant, nous proposons des équipements spécifiques ainsi que des accessoires dédiés au procédé de Stratoconception®. Il s'agit :

- des dispositifs de maintien pour assurer la tenue de la panoplie lors de l'usinage,
- de postes destinées à faciliter le montage et l'assemblage final des prototypes et outillages,
- des kits apportant les accessoires essentiels afin de procéder à la fabrication sans délai.



*Poste de montage Stratoconception®
Série bridage mécanique*



*Poste de montage Stratoconception®
Série bridage par le vide*

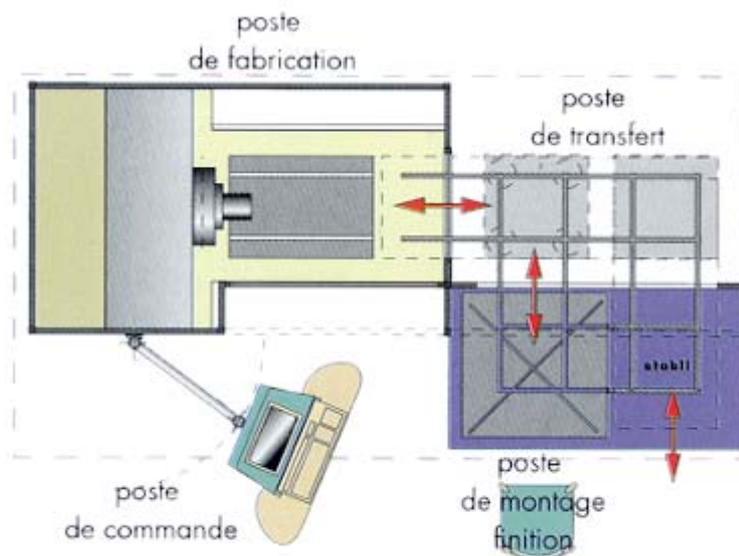
7.5. Exemple de service dédié : le développements de stations spécifiques ou d'applicatifs métiers

Exemple de la station RTH 600 sur base REALMECA

L'objectif de la station RTH 600 est de permettre la réalisation d'outillages rapides destinés à des préséries et/ou de petites séries, directement en aluminium ou en acier, avec une diminution des temps et des coûts de réalisation. Le gain de poids, l'amélioration de fonctionnalités telles que la régulation, la réalisation d'événements, l'instrumentation sont également rendus possibles. Le procédé d'outillage rapide par Stratoconception® permet ainsi l'amélioration de la productivité des outillages réalisés et l'obtention de nouvelles formes de pièces grâce à la réduction des contraintes technologiques.



Station RTH 600



NB : Les représentations graphiques ne sont pas contractuelles

Schéma de principe d'une station RTH

La station RTH600 est constituée :

- d'un poste de chargement des plaques métalliques,
- d'un système de palettisation permettant le chargement et l'utilisation de trois palettes en autonomie,
- d'un poste de commande muni d'une commande numérique dédiée, équipée du logiciel Stratoconcept®,
- d'une cellule de micro-fraisage 2,5 axes UTGV avec des courses de 560x610x170 munie d'une broche possédant une fréquence de rotation de 40 000 tr/min et un couple constant de 0.9Nm,
- d'un magasin d'outils d'une contenance de 12 outils à cônes HSK.
- d'un poste de nettoyage des strates par ultrasons,
- d'un poste de montage et d'assemblage des strates de 800 x 800,

Cette station a été conçue pour réaliser un outillage en acier pré-traité de section maximale 620 x 450, ou pour réaliser en autonomie, sans rechargement de plaques, un outil métallique (ou une cassette fonctionnelle) de dimensions 180³.

Exemple de l'applicatif métier : OrthoStrato®

Orthostrato® est un applicatif métier dédié au métier de l'orthopédie. Il permet :

- la prise d'empreinte sur le patient,
- Le palpage ou la digitalisation de l'empreinte,
- La reconstruction numérique du modèle,
- La (les) modification(s) ou correction(s) du positif,
- La réalisation du positif, du contre positif ou de l'orthèse par le procédé de Stratoconception®, après essai sur le patient,
- Toutes les modifications rapides et aisées (virtuelles),
- La réalisation des modèles dans une matière légère au choix,
- L'utilisation directe du contre positif en tant qu'orthèse (fabrication en mousse confort),
- La sauvegarde numérique des modèles (gain de place, historique, duplicata précis, suivi du patient),
- La réduction du temps de production.

Exemple de l'applicatif métier : Pack&Strat® (Strat'Emball®)

L'applicatif **Pack&Strat®** permet la réalisation directe d'emballages en couche pour la protection et le transport d'un produit.

A partir d'un modèle CAO ou d'un nuage de points issu de numérisation du produit, l'applicatif Strat'Emball propose :

- la conception automatique de la contre-forme virtuelle destinée à loger ou à caler le produit,
- le tranchage de cette contre-forme,
- la génération automatique des parcours de découpe 2D ou 3D de chacune de ces tranches dans le matériau retenu.

Exemple de l'applicatif métier : Strato®PMMA

A partir d'un modèle CAO et de son fichier STL, le logiciel, l'applicatif **Strato®PMMA** développé par le CIRTES, tranche et prépare automatiquement le modèle numérique 3D pour le découpage des strates sur une station de prototypage rapide de Stratoconception®.

Le procédé mis au point utilise le PMMA en plaques et permet au final de reconstituer une pièce homogène avec la transparence du cristal.

8. Les applications pour le prototypage et l'outillage rapide

Les domaines d'applications du procédé sont, comme nous l'avons vu, très variés. Pour le prototypage rapide, tous les secteurs d'activité sont touchés par les capacités du procédé de Stratoconception® en termes de réalisation de maquettes, ou de prototypes esthétiques, technologiques ou fonctionnels.

Parmi tous les procédés concernés par l'outillage rapide, les plus importants sont le thermoformage, l'extrusion soufflage, l'injection soufflage, l'injection des thermoplastiques, le procédé PMP, le RIM, le moulage au contact le formage, la fonderie sable, la fonderie coquille, etc.

Les avantages et limitations

Le procédé est particulièrement adapté à la réalisation d'outillages légers de grandes dimensions métalliques pour la production de pré-séries ou de moyennes séries. Il est sans limitation de formes intérieures et/ou extérieures, sans limitation de matériaux et sans limitation de tailles, ce qui lui permet de s'adapter à la réalisation d'outillages rapides pour différents procédés de fabrication.

Exemples d'applications en Prototypage Rapide



*Prototype fonctionnel
d'un pied de fauteuil de bureaux
A&D Design*



*Maquette de la Peugeot 307
échelle 1/3
Contrat de recherche CIRTES/PSA*



*Prototype géométrique
tubulure
PSA*

Exemples d'applications en Prototypage Rapide



*Prototype esthétique en PMMA transparent
BACCARAT*



*Prototype géométrique
Turbo
PSA*



*Maquette d'une statue de chien
Polystyrène*



*Prototype géométrique
Corps de vanne
Saint-Gobain PAM*



*Maquette d'un lavabo
PORCHER*

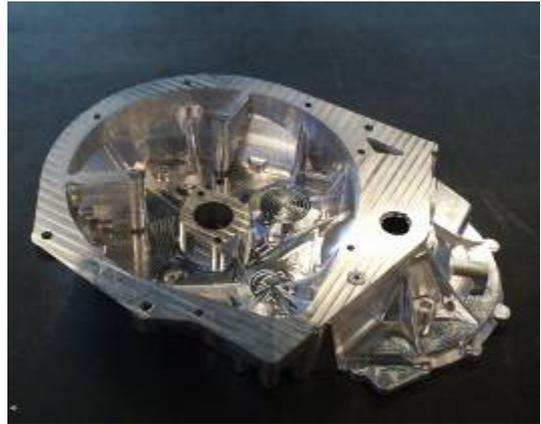


*Maquette publicitaire pour du parfum (dim. 1000 x 1000)
PS*

Exemples d'applications en Prototypage Rapide Aluminium



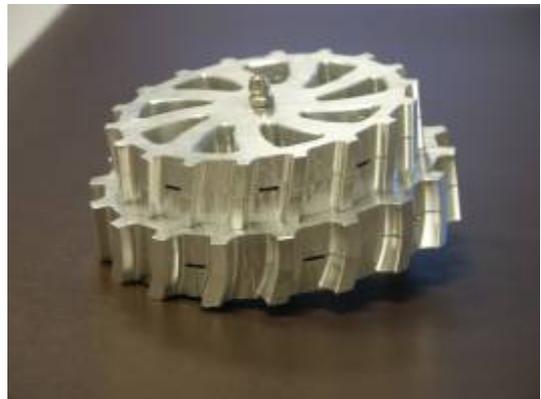
Bielle (Aluminium)



Carter de boîte de vitesse (Aluminium)



Poignée outillage électroportatif (Aluminium)



Roue d'engrenage (Aluminium)



Prototype fonctionnel d'un Carter (Aluminium)



Prototype fonctionnel d'une turbine

Exemples d'applications en Outillage Rapide



Modèle nature de fonderie



*Plaque modèle de fonderie
Valéo*



*Boîte à noyau
Fonderie sable – Saint-Gobain PAM*



Modèle pour fonderie sable – Saint-Gobain PAM



*Electrode d'enfonçage
en graphite*



*Outillage de thermoformage
Mallette*

Exemples d'applications en Outillage Rapide



*Outillage de coulée de béton
Grappe de Raisin - Birkenmeyer*



*Maître modèle pour pièce en pâte de verre
Daum*

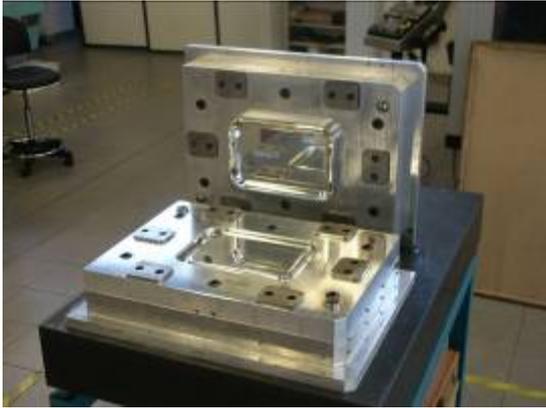


*Outillage pour moulage contact
Balayeuse de rue
Mathieu-Yno*



*Outillage pour moulage contact
Ramasseuse d'herbe
Mathieu-Yno*

Exemples d'applications en Outillage Rapide Aluminium



Outillage Rapide aluminium
pour application SMC
MEA



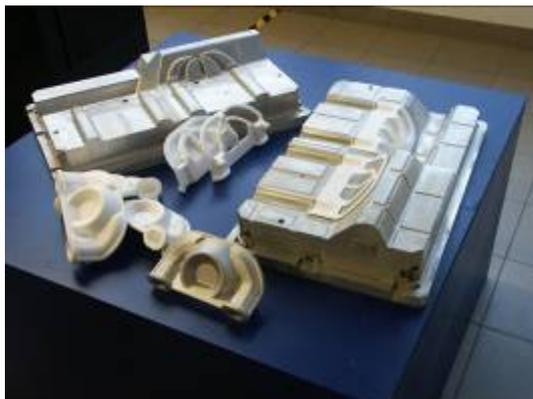
Outillage rapide aluminium
pour injection polystyrène - Application PMP
PSA



Outillage de thermoformage aluminium
Boîtier de lunettes



Outillage rapide d'injection soufflage en aluminium
Nestlé Waters



Outillage rapide aluminium
pour injection polystyrène - Application PMP
CATOIRE SEMI



Outillage rapide d'extrusion soufflage en aluminium
PAS

9. Etudes de cas

Exemple d'application au procédé de soufflage de bouteilles PET.

Le premier outillage rapide de soufflage bi-étirage en Stratoconception® a été réalisé dans le cadre d'un partenariat de recherche avec la société NESTLE WATERS (VITTEL). Devant l'importance des effets thermiques dans les procédés de soufflage, les empreintes ont été réalisées en strates d'aluminium. Des canaux aux formes et aux contours optimisés ont également été intégrés dans les strates. Suite à ces travaux, d'autres outillages du même type ont été réalisés.



Outil en situation - image de l'outil achevé - quelques strates - une bouteille produite



Outillage Rapide de soufflage réalisé par Stratoconception® aluminium

« Bouteille 1507 » CIRTES / Vegetal&Mineral Water / Ville de Saint-Dié-des-Vosges

Exemple d'application au procédé de mise en forme du polystyrène.

Depuis 2001, le CIRTES a établi un contrat de recherche avec le groupe PSA. Dans ce contexte, le CIRTES a mené, en partenariat avec le service DPTA de PSA à La Garenne Colombes, des travaux de Recherche et Développement sur l'application du procédé de Stratoconception® à la réalisation d'outillages d'injection de polystyrène destinés à la fonderie à modèles perdus.

En 2002, le CIRTES a réalisé un premier outillage d'injection polystyrène en aluminium 5083 par le procédé de Stratoconception®. Cet outillage, testé par les transformateurs, fournisseurs de PSA, a donné des résultats très intéressants.



strate avec le passage vapeur intégré



Outillage d'injection polystyrène réalisé en Stratoconception® aluminium

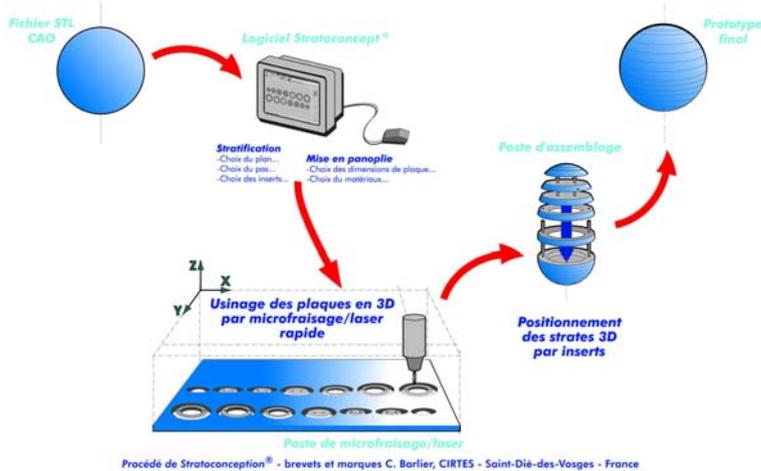
Des pièces entièrement transparentes et fonctionnelles par le procédé de prototypage rapide de Stratoconception®.

L'équipe R&D du CIRTES innove en optimisant son procédé original breveté de Stratoconception® pour la réalisation de pièces prototypes transparentes et homogènes.

Basé sur l'assemblage de strates successives, la Stratoconception® trouve dans le polyméthyl méthacrylate ou polyméthacrylate de méthyle (PMMA), un matériau parfait pour obtenir des pièces prototypes transparentes et fonctionnelles.

A partir du modèle CAO et de son fichier STL, le logiciel Stratoconception® III développé par le CIRTES, tranche et prépare automatiquement le modèle numérique 3D pour le découpage des strates sur la station de prototypage rapide de Stratoconception®.

Le procédé mis au point utilise le PMMA en plaques et permet au final de reconstituer une pièce homogène avec la transparence du cristal.



Ceci ouvre d'intéressantes perspectives en termes d'utilisation des pièces prototypes. De plus, le PMMA existe dans de multiples teintes translucides. Il est maintenant possible d'être très proche de la réalité pour le prototypage de bouteilles, de flacons ou de produits des arts de la table... Mais c'est aussi l'accès à la réalisation de pièces mécaniques transparentes qui permettent de voir l'intérieur d'un mécanisme ou l'écoulement d'un fluide. Ainsi, les carters deviennent « invisibles », les habillages et les tubulures dévoilent leur intérieur parfois complexe.



Strat'Emball, la nouvelle application du procédé de Stratoconception® dédiée à l'Emballage et au Conditionnement

Strat'Emball, brevets et marques déposés : Claude Barlier – CIRTES – France

La dernière innovation majeure de l'équipe de R&D du CIRTES consiste à optimiser son procédé original breveté de **Stratoconception®** à la conception et la réalisation directe d'emballages en couche pour la protection et le transport d'un produit.

A partir d'un modèle CAO ou d'un nuage de points issu de numérisation du produit, l'applicatif **Strat'Emball** propose :

- la **conception automatique de la contre-forme** virtuelle destinée à loger ou à caler le produit,
- le **tranchage de cette contre-forme**,
- la **génération automatique des parcours de découpe 2D ou 3D** de chacune de ces tranches dans le matériau retenu.

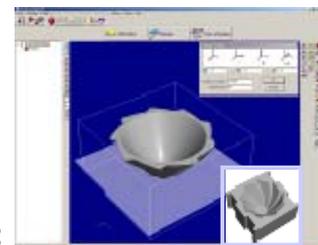
Ce matériau peut être du **polystyrène**, du **carton** ou tout autre **matériau recyclable en plaque à base de fibres naturelles**. Il est également possible de choisir la machine qui réalisera la découpe des plaques : **découpe laser, jet d'eau, fil chaud ou micro-fraisage**.

Ces différentes couches ainsi réalisées sont positionnées et assemblées entre elles grâce à des inserts, ou alors directement, grâce à un conditionnement extérieur (boîte américaine).

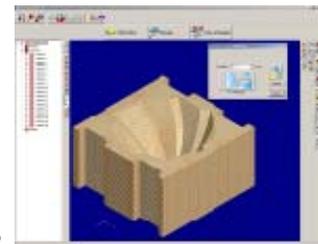
Ce procédé est particulièrement adapté pour l'emballage et le conditionnement de **produits à forte valeur ajoutée**, uniques ou fabriqués en petite quantité comme par exemple dans les secteurs de **l'automobile, de l'aéronautique, du médical, de l'art, de la cristallerie**, Il n'est, en effet, pas nécessaire ici de concevoir et de fabriquer un outillage coûteux pour la fabrication de l'emballage comme il en est question pour tout emballage en polystyrène injecté. Ceci confère au procédé **Strat'Emball** une grande flexibilité qui lui permet de répondre à la problématique de l'emballage du produit à faible coût et avec une réactivité exceptionnelle.



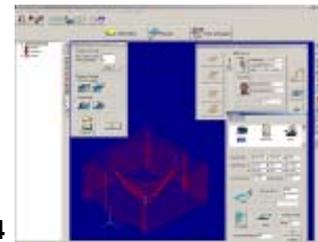
1



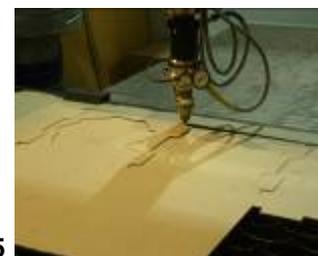
2



3



4



5



6

Strat'Emball : les étapes du procédé

1. Produit à emballer,
2. Importation de la DFN du produit dans l'applicatif et création automatique de la contre forme,
3. Choix de l'axe de stratification, du matériau et de son épaisseur
4. Choix du procédé de découpe, de la machine et réglage des paramètres de découpe
5. Mise en panoplie automatique et découpe des couches
6. Emballage rapide dédié au produit à emballer