

Des retombées bien réussies

European Space Agency
Agence spatiale européenne

*Preparing for
the FUTURE*

SPÉCIAL – LE BOURGET 1999

Table des matières

PUBLIE PAR:

ESA Publications Division
ESTEC, 2200 AG Noordwijk
Pays-Bas
Tel. (31) 71.5653400
Fax. (31) 71.5655433

Editeurs: Bruce Battrick & Carel Haakman

Copyright: © 1999 European Space Agency

ISBN 92-9092-630-9

Prix: Dfl 15

REMERCIEMENTS:

Réalisation: **JPA** Aerospace and Technology Ltd
en collaboration avec la Division des publications de l'ESA.
Compilation: Diane Flynn. Corédactrice en chef: Nina Hall.
Mise en page: Peter Hodgkinson. L'équipe de la rédaction
remercie tous ceux qui lui ont prêté leur concours et en
particulier le Groupe de transfert de technologie de l'ESA,
le CNES, EARTO, les membres du groupe Spacelink et
toutes les entreprises, spatiales ou autres, qui ont
contribué à cette publication.

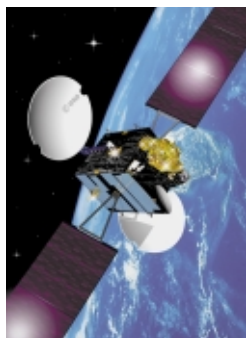


Photo de couverture:
Vue d'artiste du
satellite Artemis

editorial

- 3** Le rôle de l'ESA dans le transfert de technologie

santé

- 4** La lumière et les cellules vivantes
5 La technologie de la séparation rapproche les entreprises
6 Les recherches en astrophysique profitent aux cancéreux
7 Un revêtement spatial aide les médecins à voir plus clair
8 Des matériaux intelligents pour une bonne dentition
9 La magie des hyperfréquences
10 Des moniteurs de rayonnement spatial aident à traiter les maladies cardiaques

logiciel

- 12** Retombées virtuelles
13 Les normes de logiciel de l'ESA sont utilisées dans le monde entier
14 Un logiciel pour satellite vient en aide à la sismologie
15 Un vérificateur de logiciel réduit les défaillances

génie

- 16** Les plasmas froids font 'chauffer' de nouveaux marchés
17 Puce à vision
18 Un logiciel facilite la conception des antennes
19 Un revêtement apparenté au diamant rend les plastiques plus transparents
20 Le positionnement des lasers
21 Une meilleure coupe grâce aux moteurs spatiaux
22 L'atterrissage des pommes chips

energie

- 23** De la recherche spatiale à la voiture verte
24 La technologie des satellites voit au fond des puits

transports

- 26** De meilleurs freins
27 La modélisation de la station spatiale dans votre voiture
28 Les constructeurs automobiles adoptent la technologie de la robotique spatiale

sécurité et sûreté

- 29** Un capteur de robot spatial déjoue les pirates informatiques
30 La technologie de la combinaison spatiale sur la Terre
31 Une puce détectrice de rayonnement contribue à la sécurité du public
32 Un textile spatial prévient les dégâts causés par les flammes et la chaleur dans l'industrie
33 Un textile antivandalisme

Transfert de technologie

- 34** Activités du groupe Spacelink pour le Programme de transfert de technologie de l'ESA
35 Coordonnées des partenaires Spacelink



Le rôle de l'ESA dans le transfert de technologie

Antonio Rodotà, directeur général de l'Agence spatiale européenne

Aujourd'hui, les réussites des programmes spatiaux s'intègrent si intimement dans la vie économique, sociale et scientifique qu'on a tendance à en sous-évaluer l'importance et celle des bienfaits qu'elles apportent. Si l'Agence spatiale européenne (ESA) a lancé son programme de transfert de technologie, c'est parce qu'elle a compris qu'il importe d'aider d'autres secteurs à profiter des recherches spatiales et de ménager les ressources publiques en adaptant les technologies, les systèmes et le savoir-faire du secteur spatial pour satisfaire aux besoins de l'ensemble de la population en Europe.

En transférant à d'autres secteurs ses technologies et son savoir-faire, le secteur spatial permet aux entreprises de mettre au point de nouveaux produits plus rapidement et plus économiquement. En outre, les transferts de technologie réduisent la répétition des recherches et donnent aux spécialistes de diverses disciplines l'occasion de collaborer, ce qui augmente l'efficacité globale de la recherche scientifique en Europe. Enfin, en exposant la technologie spatiale européenne à d'autres marchés, on offre aux entreprises l'occasion de faire profiter le secteur spatial de leurs propres compétences.

Un palmarès éloquent

L'ESA évalue la réussite de son Programme de transfert de technologie (TTP), aujourd'hui dirigé par Pierre Brisson du Centre européen de recherche et de technologie (ESTEC) de l'ESA, aux Pays-Bas, depuis le début des années 90. C'est alors qu'a été créé le groupe Spacelink, consortium d'agents de transfert des Etats membres de l'ESA, pour appuyer les activités du programme. Comme en témoigne le résumé ci-dessous, le TTP, qui a bénéficié de l'appui intégral du secteur spatial européen, a un bon palmarès:

- Plus de 200 entreprises spatiales ont participé au programme;
- 400 technologies spatiales ont fait l'objet d'une commercialisation active;
- Il y a eu plus de 70 transferts de technologie, souvent transnationaux, entre le secteur spatial et d'autres secteurs;
- Les avantages commerciaux directs qu'en a retirés l'industrie européenne se chiffrent déjà en centaines de millions d'euros.

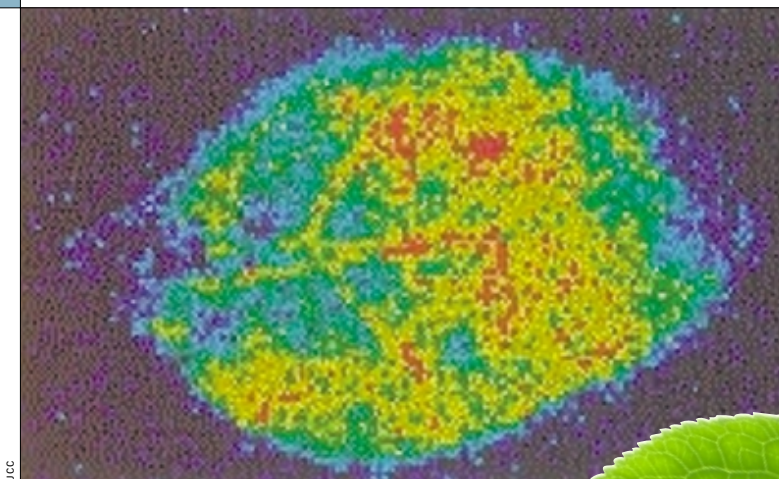
Vous trouverez ici des exemples de technologies spatiales européennes qui ont trouvé des applications commerciales. Ces transferts de technologie ont eu d'importantes retombées financières et économiques pour les entreprises qui y ont participé. Dans de nombreux cas, les transferts ont eux-mêmes contribué directement au bien-être social et matériel de la population européenne. Le nombre de transferts dans le domaine médical est particulièrement gratifiant. Comme il peut parfois s'écouler jusqu'à cinq ans entre l'introduction d'une technologie et le lancement d'un produit, certaines des innovations décrites ici offrent, par anticipation, un aperçu des perfectionnements que la recherche spatiale apportera à notre vie.

C'est avec le plus vif des plaisirs que je présente ce recueil de *Retombées de l'espace* au Salon du Bourget 99, plus grande manifestation aéronautique et aérospatiale au monde. L'ESA fait beaucoup d'efforts pour sensibiliser le public au programme spatial européen et pour en rehausser l'image. Cette publication, résultat direct du programme de transfert de technologie, n'est qu'un des moyens utilisés pour illustrer efficacement le rôle important que le secteur spatial peut jouer dans notre société.

A. Rodotà

A. Rodotà

La technologie utilisée dans l'espace pour détecter et analyser les astres faibles a été adaptée à l'observation de la signalisation chimique cellulaire des plantes et des animaux, y compris de l'homme



Les recherches biomédicales profitent des progrès de la technologie des télescopes

La lumière et les cellules vivantes



Voilà des années que les chercheurs oeuvrent à ce dont rêvent les astronomes: la mise au point d'un télescope dont l'optique est si parfaite qu'il capture, focalise et analyse le moindre photon de lumière présent, même s'il provient de corps célestes les plus éloignés.

L'un des progrès technologiques les plus remarquables dans ce domaine est la mise au point du dispositif à couplage de charge (CCD). Cette puce de silicium consiste en pixels photosensibles qui convertissent en charge électrique les photons qui viennent frapper le dispositif. Après l'avoir transférée du dispositif, on mesure et on enregistre la charge accumulée pour avoir une indication du nombre de photons qui ont frappé l'appareil. On peut ensuite convertir en image les données fournies par un réseau de CCD.

Les télescopes terrestres et spatiaux utilisent aujourd'hui les CCD, tout comme le font les caméras et de nombreux autres appareils d'optique. Les chercheurs du centre de technologie de l'ESA (ESTEC), aux Pays-Bas, sont à l'avant-garde de cette technologie, et les fruits de leurs travaux sont exploités dans les télescopes terrestres de La Palma (Canaries) et dans la chambre de prise de vues pour astres faibles du télescope spatial Hubble, contribution européenne à l'extraordinaire réussite de ce projet.

Le Programme de transfert de technologie de l'ESA a remporté l'un de ses premiers succès quand JRA Technology, partenaire britannique de Spacelink, a permis à Photek Ltd, entreprise britannique spécialisée dans la fabrication de caméras à usage biomédical, d'utiliser sous licence un élément vital du logiciel qui commande les CCD. En 1993, Photek a perfectionné encore plus cette technologie pour pouvoir détecter des matériaux bioluminescents et fluorescents incorporés dans des cellules vivantes. Ces marqueurs permettent aux chercheurs de suivre et d'analyser la structure et le fonctionnement interne d'une cellule (méthode plus 'verte' que la détection de marqueurs radioactifs). Ces recherches ont reçu l'appui du programme EU-EUREKA et de plusieurs partenaires: HiLight OptoElectronics BV aux Pays-Bas, IBH Consultants en Ecosse et le Rutherford Appleton Laboratory au Royaume-Uni.

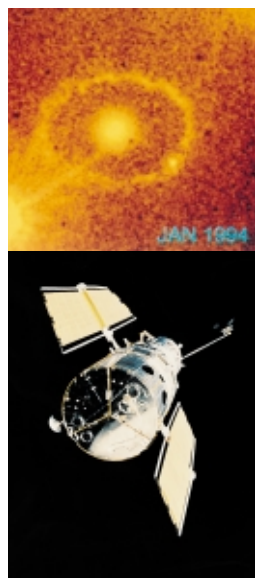
L'un des premiers à bénéficier de cette nouvelle technologie a été Tony Campbell, au Collège de médecine de l'Université du Pays de Galles. Campbell utilise une protéine bioluminescente extraite de vers luisants pour suivre le comportement de cellules vivantes. Les molécules de protéine s'attachent à des ions de calcium, que l'on sait intervenir dans le processus de signalisation cellulaire. Le détecteur de Photek permet d'observer en temps réel la réaction des cellules à un stimulus. Une des premières expériences a consisté à suivre la réaction d'un semis au contact d'un glaçon. Le grand intérêt de ces recherches est qu'elles pourraient nous aider à mieux comprendre et enrayer les maladies.

Des cellules cancéreuses qui changent de couleur

Entre-temps, la technologie progresse. Les chercheurs de l'ESTEC perfectionnent maintenant une technologie qui repose sur un dispositif original: la jonction tunnel supraconductrice (STJ). Une STJ, exploitant un phénomène quantique bizarre appelé l'effet Josephson, peut, non seulement détecter les photons, mais aussi distinguer leur longueur d'onde ou leur couleur. Ces données spectrales intéressent beaucoup les astronomes.

La STJ pourrait aussi s'avérer utile dans la recherche médicale. L'équipe de Photek met au point un dispositif capable de détecter les couleurs, qui lui permettrait d'approfondir les recherches dans des domaines génétiques intéressants comme l'étude des 'protéines arc-en-ciel'. Ces protéines sont des protéines bioluminescentes que Campbell a génétiquement modifiées pour qu'elles changent de couleur quand elles se fixent à une substance chimique donnée dans la cellule vivante. Ces travaux ont des applications fort intéressantes en pharmacologie et pour le diagnostic clinique. A titre d'exemple, une cellule qui risque de devenir cancéreuse passe du rouge au vert ou du rouge au bleu, et la génération suivante de caméras de comptage de photons pourra enregistrer ces changements et fournir aux chercheurs des données précieuses sur l'apparition de la maladie. ■

Le télescope spatial Hubble
Une technologie de comptage de photons mise au point par l'ESA est utilisée dans la chambre de prise de vues pour astres faibles, contribution européenne au télescope spatial Hubble, qui identifie les galaxies et supernovae éloignées



La technologie de la séparation rapproche les entreprises

*Une technique d'analyse
modifiée et perfectionnée
pour le secteur spatial a été
transférée à l'industrie dans le
cadre d'une prise de contrôle*

L'électrophorèse sur colonne capillaire à haute performance (HPCE) est une méthode d'analyse extrêmement efficace, largement utilisée par les hôpitaux, les entreprises pharmaceutiques et le secteur chimique. Elle sert à séparer des composés individuels, comme des protéines, du milieu biologique dans lequel ils se trouvent. Au nombre des applications médicales, citons les analyses d'urine et de sang pour le dépistage de désordres métaboliques, et la surveillance des concentrations d'anticancéreux et d'anesthésiques dans le corps. La technique consiste à faire passer un échantillon du mélange dans un tube capillaire sous l'influence d'un champ électrique. Chaque type de molécule se déplace à une vitesse différente, en fonction de ses propriétés électriques. Une fois qu'on a séparé les composants du mélange, on peut en faire l'identification chimique à l'aide de la spectroscopie standard et d'autres techniques. Avec le minimum de préparation, l'HPCE, qui n'a besoin que de petits échantillons, permet d'analyser des substances chargées ou neutres, à poids moléculaire élevé ou faible.

Aux Pays-Bas, les recherches sur l'électrophorèse capillaire sont concentrées à l'université d'Eindhoven, qui a commencé, il y a plusieurs années, à examiner l'application possible de l'HPCE dans les laboratoires spatiaux. Un aspect important des missions de la navette spatiale et des stations spatiales est de profiter à diverses fins de la microgravité, par exemple pour préparer et analyser des matériaux présentant un grand intérêt biologique. A titre d'exemple, il est extrêmement difficile de produire sur terre des cristaux de protéine assez grands et assez parfaits pour l'analyse, et ce, en partie, en raison des effets de la gravité. Ces matériaux ont souvent une stabilité limitée, ce qui veut dire qu'il faut en analyser la structure rapidement, autrement dit dans l'espace.

Un système d'analyse pour l'espace

C'est dans ce but que les chercheurs d'Eindhoven et un consortium industriel comprenant les entreprises Comprimo BV et Lauerlabs BV ont commencé à mettre au point une gamme de petits systèmes HPCE modulaires et entièrement automatiques, dont certains se prêtent à des opérations manuelles, par exemple pour suivre les modifications physiologiques des liquides organiques des astronautes. Ces systèmes seraient utilisés, pour commencer, dans les missions de la navette spatiale liées à Spacelab, et, peut-être plus tard, à bord du module Columbus pour la Station spatiale internationale.



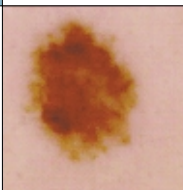
Unité modulaire
d'électrophorèse sur
colonne capillaire à
haute performance

En 1994, Spacelink a commencé à promouvoir, dans le catalogue de technologie de l'ESA, l'utilisation non spatiale de ces systèmes modulaires, qui étaient alors fabriqués par Lauerlabs BV. Helena Laboratories, entreprise britannique qui fabrique des instruments d'analyse pour le secteur de la santé et l'industrie pharmaceutique, a immédiatement repéré les possibilités de synergie avec sa propre gamme de produits. L'entreprise a également pensé que des appareils automatiques portatifs lui permettraient d'améliorer le service de soutien d'analyse qu'elle offre à ses clients. Elle n'a pas tardé à décider que le meilleur moyen de réaliser le transfert de technologie serait d'acheter Lauerlabs, ce qu'elle a fait en janvier 1995, et c'est ainsi que les secteurs européens de la pharmacie et de la santé profitent aujourd'hui des retombées d'un important programme de recherche spatiale. ■

Les astronautes ont utilisé des
unités d'électrophorèse sur
colonne capillaire à haute
performance pour leurs
recherches sur la microgravité
dans les missions Spacelab



Le système MELDOQ aide les médecins à diagnostiquer le mélanome de la peau



Les recherches en astrophysique profitent aux cancéreux

Une méthode mathématique qui sert à analyser les données du satellite détecteur de rayons X ROSAT offre maintenant un nouveau moyen de détecter les premiers stades du cancer de la peau

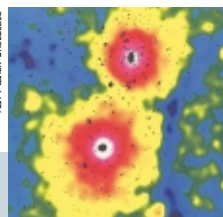
La méthode d'indice d'échelle (SIM), algorithme mis au point à l'Institut Max Planck de physique extraterrestre (MPE), permet d'extraire des renseignements utiles des ensembles de données radiographiques recueillis par le satellite ROSAT. Elle parvient à détecter des signaux extrêmement faibles dans le bruit de fond erratique, signaux qui, autrement, passeraient peut-être inaperçus. La SIM peut également aider à détecter des sources ponctuelles et étendues de rayons X et peut caractériser quantitativement des structures fines dans des sources astrophysiques comme les restes de supernova.

Les chercheurs du MPE se sont rendu compte que la SIM pourrait s'appliquer à d'autres ensembles de données, où les renseignements utiles peuvent être noyés dans le bruit de fond. L'équipe de développement a cherché des partenaires dans les universités et instituts en vue d'exploiter les applications possibles de l'algorithme. A l'Université technique de Munich, un groupe de l'Institut de statistique médicale et d'épidémiologie a proposé plusieurs idées, dont l'une a mené au projet MELDOQ (système de diagnostic, de documentation et d'assurance de la qualité pour le traitement du mélanome), financé par l'agence spatiale allemande. Plusieurs autres instituts allemands ont participé



La méthode d'indice d'échelle (SIM) a servi à analyser les données fournies par la caméra pour rayons X (à droite) du satellite ROSAT. La dermatoscopie (ci-dessus) profite de la capacité qu'a la SIM de détecter des signaux faibles

Amas galactique A3528
Radiographie de ROSAT du plus grand objet confiné de l'univers. Les deux sous-amas colorés, qui se joindront dans une centaine de millions d'années, renseignent les chercheurs sur les débuts de l'univers



Le satellite ROSAT

Fruit d'une collaboration entre l'Allemagne, les Etats-Unis

et le Royaume-Uni, et conçu, construit et exploité par l'institut de recherche allemand DLR, le satellite ROSAT avait pour mission d'étudier les sources de rayons X dans l'univers. Cette mission vient de se terminer après huit années fructueuses pendant lesquelles le satellite a détecté des signaux provenant souvent de sources éloignées ou faibles de rayons X. Pour maximiser les résultats scientifiques de ce projet, il faudra mettre en oeuvre des méthodes élaborées pour traiter ces données.

En fait, les résultats exceptionnels de ROSAT sont dus en partie aux techniques de pointe employées pour le pré-traitement et l'analyse des données. Pendant les huit ans que ROSAT a passés à sonder l'univers, ses moyens d'analyse des données lui ont permis de détecter plus de 120 000 nouvelles sources de rayons X. Ils ont également permis aux chercheurs de formuler des descriptions et des modèles plus précis d'une grande diversité d'objets astrophysiques : étoiles à neutrons, restes de supernovae, protoétoiles, galaxies et même comètes.

au projet, notamment la Clinique de dermatologie de Regensburg, Fachhochschule Muenchen, et l'Institut d'informatique de l'Université technique de Munich.

Le système MELDOQ

MELDOQ est un système, assisté par ordinateur, de détection précoce du mélanome, qui utilise l'analyse d'image numérique. Basé sur la dermatoscopie, processus qui balaie la surface de la peau et la représente avec un grossissement de 10, le système utilise la SIM pour distinguer des différences subtiles dans la couleur des tissus et quantifie la répartition des composants structuraux associés à la croissance cellulaire irrégulière des mélanomes malins. On utilise des mesures de complexité pour quantifier les cotes dermatoscopiques ABCD, qui décrivent divers critères d'un mélanome : asymétrie, bordure, couleur et structures différentielles. On analyse et on combine ces cotes pour faire du système un atelier dermatoscopique qui représente une aide précieuse pour le médecin dans le diagnostic des mélanomes malins du premier stade.

MELDOQ offre un système de classification des résultats qu'il est facile de suivre. Il permet au médecin de faire des comparaisons avec des cas de référence et l'aide à prononcer un diagnostic fiable. Par ailleurs, le système comprend des modèles logiciels qui enseignent aux étudiants en médecine à diagnostiquer le cancer de la peau à l'aide de cette méthode. Qui plus est, MELDOQ aide les médecins, qui, parfois, n'ont pas de connaissances spécialisées en dermatologie, à faire un diagnostic d'expert. Cela peut mener à une détection plus précoce du cancer et, en général, à un diagnostic plus précis. Cette année, la Clinique de dermatologie de Regensburg fera l'essai du système sur plate-forme Ol. ■

*Un traitement
céramique d'oxyde,
utilisé à l'origine pour
réduire la diffusion de
la lumière dans les
caméras spatiales, sert
aujourd'hui à enduire
les endoscopes à usage
médical et industriel*



Endoscope de
l'entreprise Richard
Wolf GmbH, avec
gros plan du
système optique

Un revêtement spatial aide les médecins à voir plus clair

En Allemagne, les chercheurs de deux fabricants d'enduits industriels ont mis au point un traitement qui minimise la diffusion de la lumière. En 1993, ils ont fondé l'entreprise PTS à Iéna. Unique en son genre, le traitement produit, en couches, des surfaces noires d'une optique parfaite, sans emploi de vernis (le vernis amplifie les effets de diffusion de la lumière). Ces surfaces sont durables, ont des propriétés optiques stables et des caractéristiques uniformes de diffusion de la lumière. L'enduit, appelé Plasmocer, avait été mis au point à l'origine pour les caméras spatiales de satellites de l'ESA et de satellites russes.

Dans le cas du projet SILEX, les caméras traitées au Plasmocer permettront à l'ESA d'essayer pour la première fois de transmettre des données à l'aide d'un laser dans l'espace. La qualité améliorée de l'image prise par les caméras à enduit de Plasmocer permettra la communication optique entre des satellites en orbite géostationnaire ou en orbite basse terrestre et un télescope à miroir d'un mètre faisant office de station terrestre. En surmontant les effets de diffusion de la lumière, l'ESA et les autres contrôleurs de satellite pourront orienter le faisceau de lumière avec plus de précision que jamais auparavant et minimiser ainsi les pertes d'énergie. Cela devrait aboutir à des débits élevés de transmission de données, avec une faible consommation de courant.

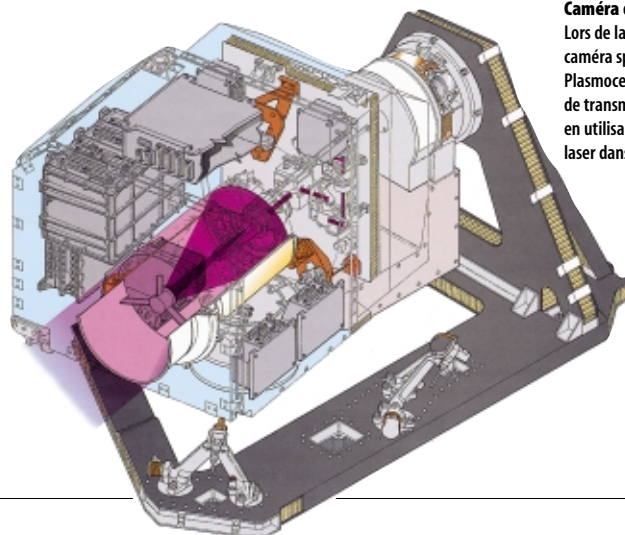
De l'espace extra-atmosphérique aux petits espaces

En 1994, MST, partenaire allemand de Spacelink, mit PTS en contact avec Richard Wolf, fabricant allemand d'endoscopes médicaux et industriels. Un endoscope est un tube flexible muni, à une extrémité, d'une caméra et d'une source lumineuse, qui permet de voir à l'intérieur de petites cavités. Un système de fibres optiques est généralement utilisé pour transmettre à un écran éloigné les images prises par l'endoscope.

En médecine, la caméra et le câble à fibres optiques de l'endoscope sont introduits par un orifice du corps pour

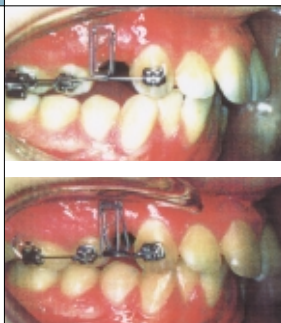
donner au médecin une image d'organes internes comme l'oesophage, l'estomac et le colon. L'endoscopie est couramment utilisée pour détecter et diagnostiquer des affections comme les tumeurs, les ulcères et la dilatation des vaisseaux sanguins. En attachant d'autres instruments à la sonde de l'endoscope, le médecin peut effectuer des diagnostics et de petites interventions comme des biopsies, qui, bien entendu, exigent une image aussi exacte que possible.

Richard Wolf cherchait une technologie qui permettrait à ses endoscopes de fournir de meilleures images en réduisant les distorsions. L'enduit de Plasmocer semblait prometteur. En 1995 et 1996, PTS effectua des essais sur des composants d'endoscope. Les résultats montrèrent que le traitement améliorerait la qualité optique de l'image en réduisant de 20 pour cent environ la diffusion de la lumière. En conséquence, Richard Wolf passa une commande à PTS pour le traitement de 3000 pièces d'endoscope. Au cours des trois années suivantes, PTS prit de l'expansion dans ce créneau du marché et trouva trois nouveaux clients pour ses services. ■



Caméra de SILEX
Lors de la mission SILEX, la
caméra spatiale traitée au
Plasmocer a fait des essais
de transmission de données
en utilisant la lumière d'un
laser dans l'espace

Ces photos 'avant' et 'après' montrent l'efficacité impressionnante avec laquelle le ressort en alliage à mémoire de forme parvient à rapprocher les dents



A partir d'alliages à mémoire de forme utilisés dans l'espace, une entreprise britannique a mis au point des appareils médicaux, y compris un nouveau ressort de redressement orthodontique

Les alliages à mémoire de forme sont des matériaux qui possèdent une propriété remarquable: soumis à un traitement thermique relativement simple, ils se 'rappellent' la forme qu'on leur avait donnée. Un peu de chaleur suffit à leur faire reprendre leur forme d'origine s'ils se déforment. Une autre propriété des alliages à mémoire de forme est leur super-élasticité: à température ambiante, on peut les étirer ou les déformer et, tout comme une bande élastique, ils retournent à leur forme d'origine.

Découverts aux Etats-Unis, ces matériaux fascinants ont d'abord été utilisés dans l'aérospatiale. Dans les années 90, l'Institut de génie biologique de l'Université Brunel, près de Londres, a commencé à expérimenter sur ces alliages en vue de les utiliser dans le programme spatial européen, notamment dans les recherches en botanique et en biologie. Comme les recherches tiennent les astronautes très occupés dans l'espace, il faut automatiser les tâches courantes le plus possible. Certaines expériences exigent le retournement ou la découpe périodique d'échantillons. On pourrait utiliser un alliage à mémoire de forme pour fabriquer des griffes ou des charnières qui retournent un échantillon quand il atteint une température donnée.

Un chercheur de l'Université Brunel, Tony Anson, se rendit compte que les alliages à mémoire de forme, en particulier les alliages de nickel-titane, pouvaient trouver dans le secteur médical des applications rivalisant avec des produits qui ont une valeur marchande non négligeable. En 1994, il fonda l'entreprise Anson Medical Ltd, pour mettre au point des produits à mémoire de forme pour ces nouveaux marchés. L'entreprise a déjà marqué des points avec des agrafes en alliage à mémoire de forme, qui, sous l'effet de la chaleur du corps, réduisent les fractures.

Le ressort de redressement orthodontique en alliage à mémoire de forme

En 1996, Anson Medical commença à collaborer avec OrTech, petit cabinet d'experts-conseils en génie dentaire de Norvège, et l'Institut de technologie du Danemark à la création d'un ressort orthodontique capable de corriger la malposition des dents. Des fils orthodontiques en alliage à mémoire de forme sont déjà produits et distribués au Royaume-Uni, aux Etats-Unis et au Japon, mais le ressort orthodontique Anson Medical/OrTech est breveté pour de nouveaux traitements, qui comprennent le mouvement linéaire des dents le long des gencives.

Le fonctionnement du ressort orthodontique est simple: il s'attache aux dents à l'aide de supports de fixation classiques et est bloqué en place sous tension. Les forces de traction rapprochent les dents en douceur pour fermer les écarts indésirables. On exploite ainsi les extraordinaires propriétés élastiques des alliages à mémoire de forme: l'appareillage agit comme un ressort qu'on peut étirer bien plus qu'un ressort ordinaire. Cela veut dire que les forces exercées sur les

Des matériaux intelligents pour une bonne dentition



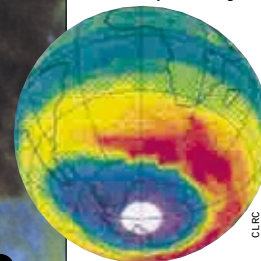
dents sont constantes, mais plus modérées.

Le ressort offre un certain nombre d'avantages au patient et au dentiste par rapport aux appareillages classiques. En plus d'être environ deux fois et demie plus rapide que dans un traitement standard, le redressement des dents est plus précis et moins douloureux pour le patient. Comme les visites chez le dentiste sont plus courtes et moins fréquentes, on peut traiter plus de patients. Pour le dentiste comme pour le patient, le gain de temps est d'autant plus grand que les ressorts sont préfabriqués et exigent donc moins de préparation lors de la mise en place.

Un quart environ de tous les enfants ont besoin d'un traitement orthodontique pendant leur enfance, et un nombre croissant d'adultes ont recours à l'orthodontie pour des raisons médicales ou esthétiques. Selon des estimations prudentes, le marché du ressort orthodontique serait de l'ordre de 5,8 millions d'euros par an. Anson Medical et OrTech pensent que le ressort sera sur le marché en 2000 ou 2001. ■

Une technique qui sert à cartographier la couche d'ozone est adaptée au diagnostic des cellules en voie de devenir cancéreuses

La spectroscopie des hyperfréquences a servi à cartographier le trou dans la couche d'ozone (ci-dessous). La même technologie pourrait aider à diagnostiquer les cellules cancéreuses à un stade précoce (à gauche)



La magie des hyperfréquences

La radiométrie à hyperfréquence est une technique d'analyse bien établie. On s'en sert pour identifier et mesurer les matériaux qui émettent et absorbent les hyperfréquences à certaines longueurs d'ondes pour donner un spectre caractéristique. Au Royaume-Uni, des chercheurs de British Aerospace Space Systems (BAe, maintenant Matra-Marconi Space, MMS) et du Rutherford Appleton Laboratory (RAL, maintenant partie du Central Laboratory for the Research Councils) ont adapté cette technique pour mesurer à distance la teneur en vapeur d'eau et en ozone de l'atmosphère.

En collaboration avec le Bureau météorologique du Royaume-Uni, BAe a mis au point le sondeur hyperfréquences de pointe (AMSU-B), instrument dont les récepteurs sont syntonisés sur les fréquences associées au spectre d'absorption des hyperfréquences de la vapeur d'eau, et qui mesure la répartition de la vapeur d'eau dans l'atmosphère terrestre. Il s'agissait du précurseur d'appareils semblables mis au point depuis, qui fournissent des données précises aux météorologistes et climatologues.

Dans une application différente, le RAL a mis au point en 1990 un appareil syntonisé sur le spectre d'absorption de l'ozone. Monté sur le satellite américain UARS, cet appareil a fourni les premières cartes des changements survenus dans l'étendue et l'épaisseur des couches d'ozone au-dessus des pôles géographiques.

Diagnostics non invasifs

Chaque cellule vivante a son propre spectre caractéristique d'émission et d'absorption des hyperfréquences. On pense qu'en détectant et évaluant les changements dans ce spectre, on pourra aussi détecter les anomalies, c'est-à-dire avoir une indication précoce de l'apparition de la maladie et de ses causes sous-jacentes.

MMS et un consortium de chercheurs du Royaume-Uni ont reçu une subvention de l'ESA pour examiner l'application possible de la technologie à ce domaine. Les résultats de ces travaux pourraient mener à la mise au point d'un scanner non invasif capable de détecter les émissions d'hyperfréquences associées aux signaux qui déclenchent dans une cellule une réaction chimique menant à la malignité. Le recours à ce genre de scanner assez tôt permettrait de se réserver un plus grand choix de traitements et entraînerait un meilleur taux de survie chez les patients. La nature non invasive des examens pourrait, en outre, inciter un plus grand nombre de patients à se soumettre à un examen de dépistage du cancer.

La technologie des hyperfréquences qui sous-tend ces réalisations a servi de tremplin au perfectionnement d'autres techniques de mesure pour des applications courantes, notamment quand on a besoin de mesures précises en temps réel.

● DÉTECTION DE L'EAU DANS LES PRODUITS ALIMENTAIRES

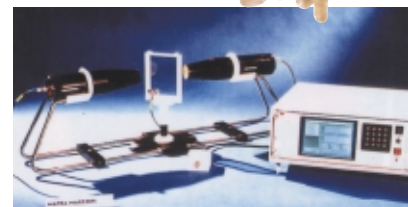
MMS a mis au point un appareil commercial qui mesure la teneur en eau des céréales. Un prototype fait l'objet d'une évaluation continue dans une fabrique britannique d'aliments secs pour animaux. Il est souvent important de connaître la teneur précise en eau d'un produit alimentaire avant sa transformation, car elle en influence la fraîcheur, la qualité et le goût, ainsi que la rentabilité. Le transport et la manutention entrent pour une grande part dans le prix de revient des céréales et d'autres produits alimentaires transformés. Si on parvient à réduire la teneur en eau à une étape quelconque de la transformation, on peut réduire le poids total du produit et faire de grandes économies.

● SÛRETÉ AÉROPORTUAIRE – DE MEILLEURS DÉTECTEURS

Les systèmes actuels de sûreté aéroportuaire utilisent des portiques de détection magnétique pour repérer les objets métalliques que peuvent porter les passagers. Avec un spectromètre, les agents du contrôle pourraient identifier, en plus d'objets métalliques, tout objet non métallique (stupéfiant ou arme à feu fabriquée en matériaux composites, par exemple), que les voyageurs pourraient avoir sur eux ou près du corps. Des systèmes à hyperfréquences passifs ou actifs permettraient de mesurer le changement des émissions provenant du portique et de produire une image qui révèle et identifie des corps étrangers dissimulés que n'auraient pas détectés les systèmes actuellement en service.

● MESURE DU PÉTROLE ET DE L'EAU DANS L'EXPLOITATION OFFSHORE
Pour le secteur de l'offshore, il est important, non seulement de minimiser ses coûts, mais aussi de récupérer le maximum de pétrole d'un réservoir tout en respectant les normes de protection de l'environnement. La nouvelle technologie des hyperfréquences offre aux compagnies pétrolières un moyen plus précis de mesurer la proportion de pétrole et d'eau dans le pipeline de distribution. Cela leur permet d'ajuster leurs techniques de récupération en temps réel et de réaliser de grandes économies. ■

L'appareil de mesure d'humidité à hyperfréquences de MMS sert à mesurer la teneur en eau des céréales



Prototype du dosimètre miniature qui sera utilisé dans les essais de curiethérapie endovasculaire en laboratoire

REM



Un institut de recherche italien se sert de capteurs de rayonnement mis au point pour l'ESA pour le monitoring d'une technique médicale qui maintient ouvertes les artères débloquées

Des moniteurs de rayonnement spatial aident à traiter les maladies cardiaques

Entre 1975 et 1978, Radiation Experiments and Monitors (REM), entreprise basée à Oxford, au Royaume-Uni, a mis au point le transistor radiosensible à effet de champ (RADFET) pour l'ESA. L'appareil fonctionne en dosimètre en contrôlant la dose cumulative ou intégrée de rayonnement à laquelle l'équipement a été exposé dans l'espace. On l'a utilisé dans des missions spatiales sans équipage, notamment sur le satellite météorologique Météosat-3 et sur le télescope Hubble.

La puce de silicium de conception simple comporte une couche d'oxyde thermique, qui a été sensibilisée aux rayonnements ionisants (rayons gamma, rayons X durs et mous, particules de haute énergie). Les rayons qui frappent le capteur altèrent de façon irréversible la couche de silice, de sorte que celle-ci constitue un relevé des rayonnements

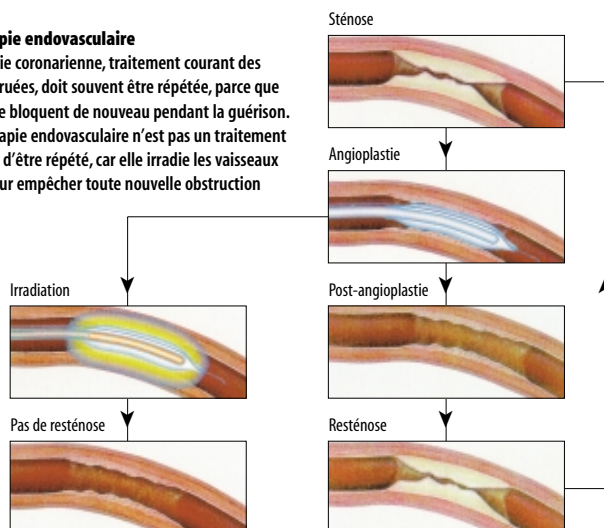
reçus. La puce peut alors émettre un signal pour transmettre en temps réel à un moniteur à distance les données sur les doses de rayonnement.

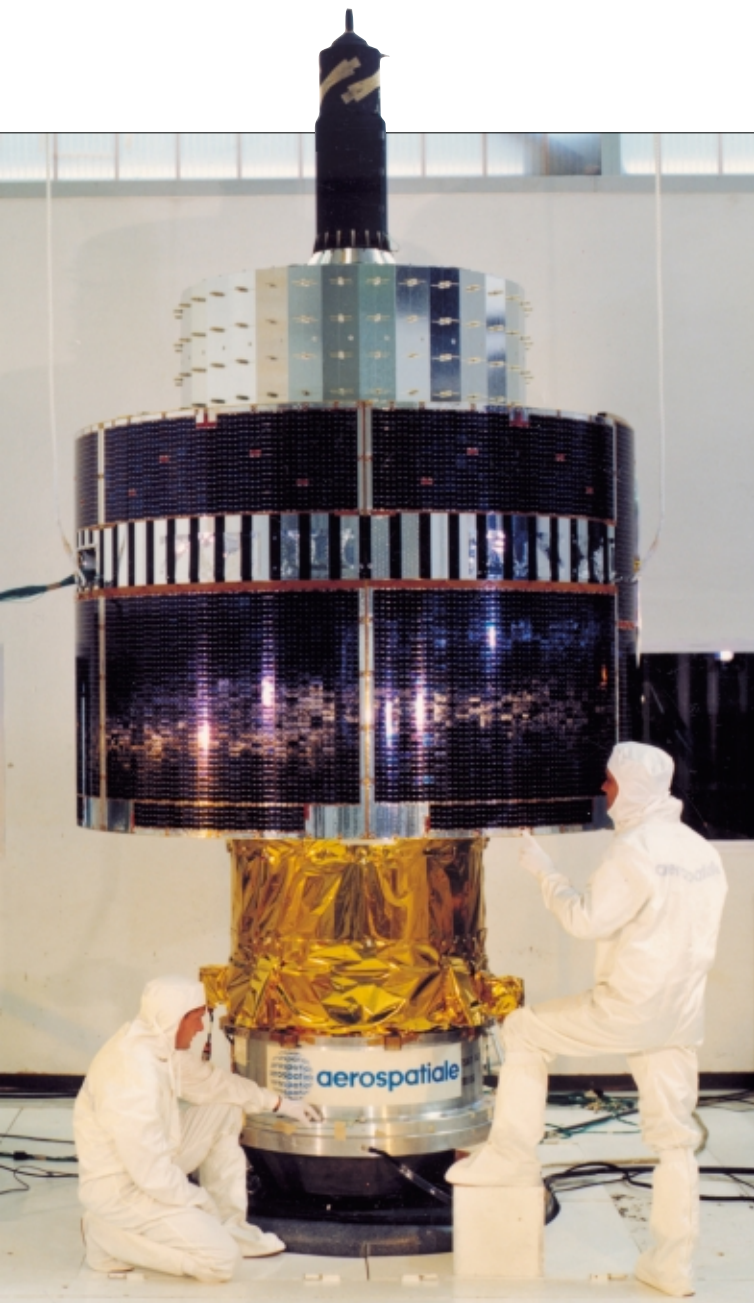
Un grand avantage du RADFET est qu'il s'agit d'un dispositif microélectronique qui peut transmettre son signal de 'dose intégrée' par l'intermédiaire d'un câble ou d'une liaison hertzienne, et qu'on peut donc utiliser à distance. Sur terre, on pourrait donc s'en servir dans des domaines comme la sûreté nucléaire, la défense civile, les processus industriels, l'énergie, l'environnement et la médecine. Mais il a d'autres avantages. Il ne coûte pas cher: moins d'un euro avant l'emballage. Il est très petit: un millimètre carré seulement. Enfin, il peut détecter de nombreux types de rayons sur une large bande de niveaux d'énergie: de 0,1 rad à 100 mégarads. Des milliers de puces RADFET peuvent être fabriquées dans une seule série de production qui coûte quelque 17 000 euros. L'encapsulation de protection fait appel aux méthodes de production en grande série perfectionnées dans l'industrie des semi-conducteurs.

Sur le plan médical, dans un projet financé par le gouvernement, l'Ecole de médecine d'Harvard aux Etats-Unis a examiné la possibilité d'utiliser le dosimètre pour le monitoring in vivo du rayonnement dans le traitement du cancer. Après avoir été réduit, le capteur a été inséré à l'aide d'une aiguille dans des tumeurs chez des souris. Malgré la portée limitée de ces essais, les résultats ont incité REM à examiner d'autres applications médicales possibles, en particulier les cas où le rayonnement doit être minutieusement repéré sur une petite superficie. En 1997, D'Appolonia, partenaire italien de Spacelink, a communiqué avec l'Istituto Scientifico Tumori (IST), prestigieux institut italien de recherche sur le cancer, pour le pressentir comme partenaire potentiel de REM. Reconnaisant les possibilités de miniaturisation du dosimètre, Luciano Andreucci, directeur de la Biophysique à l'IST, a trouvé au RADFET une nouvelle application médicale dans un traitement appelé curiethérapie endovasculaire.

Curiothérapie endovasculaire

L'angioplastie coronarienne, traitement courant des artères obstruées, doit souvent être répétée, parce que les artères se bloquent de nouveau pendant la guérison. La curiethérapie endovasculaire n'est pas un traitement qui a besoin d'être répété, car elle irradie les vaisseaux sanguins pour empêcher toute nouvelle obstruction





Rayonnement spatial

Dans l'espace, le rayonnement ambiant (solaire et cosmique) est un problème environnemental dont doivent tenir compte les concepteurs d'engins spatiaux et les directeurs de mission pour ce qui est de la durée de vie de l'équipement envoyé dans l'espace. Certains types de rayonnement, notamment les électrons et protons à haute énergie que l'on trouve couramment dans les ceintures autour de la Terre et de Jupiter, endommagent la structure moléculaire des matériaux, en particulier celle des matériaux utilisés dans les composants optiques et électroniques. Des particules de rayonnement peuvent déloger des électrons ou même le noyau des atomes des matériaux. En conséquence, les panneaux solaires perdent de leur efficacité, il se produit des courants anormaux qui peuvent provoquer un recalage imprévu des ordinateurs de l'engin spatial (perturbations isolées) ou il peut y avoir une panne catastrophique des circuits numériques.

Plusieurs solutions peuvent être appliquées à ce problème: on peut blinder l'engin spatial pour le protéger contre le rayonnement et surveiller le rayonnement. Malheureusement, le blindage est une technique peu efficace qui, souvent, ajoute au poids de l'engin spatial, ce qui augmente les coûts de lancement et limite la quantité d'équipement qui peut être embarqué. Par ailleurs, les composants qui tolèrent le rayonnement coûtent cher. Le monitoring du rayonnement pendant la phase du développement peut aider à établir la durée de vie que les systèmes pourront avoir, en fonction du rayonnement auquel ils seront exposés pendant la mission. Il permet aussi de réduire le poids de l'engin spatial en plaçant l'équipement radiosensible là où le rayonnement n'est pas fortement concentré ou en appliquant un blindage ponctuel plus économique, uniquement sur les parties sensibles de l'engin.

Le RADFET a servi au monitoring du rayonnement spatial auquel a été exposé le satellite Météosat 3 de l'ESA

mesures en temps réel ou n'étaient pas assez petits pour entrer dans une sonde ou être utilisés dans le corps. Jusqu'à présent, les chercheurs avaient dû s'en remettre à des modèles artificiels pour leurs calculs.

La solution mise au point par REM et l'IST consiste à monter un capteur RADFET dans la sonde pour pouvoir surveiller les points susceptibles d'être irradiés. L'objectif est de transmettre un signal indiquant le niveau cumulé de rayonnement à des instruments que l'équipe médicale peut consulter pendant le traitement. Comme le RADFET ne coûte pas cher à produire en grandes quantités (moins d'un pour cent du coût total du traitement), on peut le mettre au rebut après chaque intervention.

Les bienfaits du RADFET

Les essais de curiethérapie endovasculaire sur des animaux sont bien avancés et on procède maintenant aux essais sur des personnes. Il faudra probablement attendre plusieurs années avant de voir le dosimètre RADFET utilisé couramment dans cette opération. Andreucci oeuvre actuellement à la création d'une unité de curiethérapie endovasculaire et collabore avec plusieurs entreprises à la mise au point des aspects techniques.

On estime qu'un million environ de patients par an dans le monde entier pourraient bénéficier de la curiethérapie endovasculaire. Si on utilise un nouveau capteur pour chaque opération, cela veut dire que le marché potentiel du dosimètre RADFET dans cette application représente quelque 30 millions d'euros par an. ■

Désobstruction des artères

En présence de plaques ou d'accumulations de cholestérol sur la tunique interne des artères (artériosclérose), les médecins ont souvent recours à l'angioplastie coronarienne pour traiter leurs patients. Une sonde à ballonnet est introduite dans l'artère pour ouvrir les vaisseaux sanguins et prévenir les problèmes coronariens comme les crises cardiaques. Dans 45 pour cent environ des cas, l'artère se bloque de nouveau pendant la guérison (resténose), et le patient doit subir une nouvelle opération.

Des recherches récentes ont montré que l'irradiation peut empêcher les artères de se bloquer de nouveau. L'intervention consiste à introduire une sonde dans le vaisseau sanguin, qui est alors exposé à un rayonnement gamma (l'iridium-192 est généralement le radio-isotope utilisé) ou bêta (généralement le phosphore-32). Ce traitement porte le nom de curiethérapie endovasculaire.

Pour contrôler le degré d'irradiation afin d'éviter d'endommager les tissus environnants tout en optimisant le traitement, il est nécessaire de surveiller avec précision le rayonnement dans chaque couche des tissus. Toutefois, aucun dosimètre ne convenait à cette fonction. Les dispositifs disponibles coûtaient trop cher, ne pouvaient donner de

Le logiciel de réalité virtuelle a servi à visualiser le satellite ERS-2 (médaille). On l'a également utilisé pour la simulation animée des mouvements de l'ouragan Andrew (à droite)

Retombées virtuelles

Un ingénieur de l'ESTEC spécialisé dans la simulation sur ordinateur des opérations d'engin spatial a créé une spin-off pour offrir la même technologie à l'industrie automobile et à d'autres secteurs

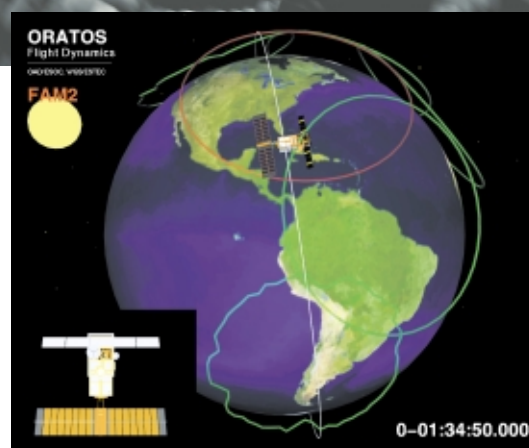
Les techniques de réalité virtuelle permettent de visualiser en temps réel les lancements Ariane-5



Pendant 10 ans, soit jusqu'en 1996, Frank Bagiana a travaillé dans les laboratoires de l'ESTEC aux Pays-Bas, où ses recherches sur le logiciel de visualisation et de simulation tridimensionnelles visaient à produire des outils capables d'appuyer des activités comme la formation des astronautes, les tâches télécommandées (y compris des opérations médicales) qui exigent des liaisons vidéo, et la simulation de missions futures de satellite.

Dans cette dernière application, le logiciel a servi à visualiser en temps réel le déploiement des antennes et des panneaux solaires du satellite ERS-2 après son lancement. On l'a également utilisé pour la visualisation (en trois dimensions) et la simulation animée des mouvements de l'ouragan Andrew sur une période de quatre jours, en 1994, à partir des images infrarouges et des données sur la vapeur d'eau reçues du satellite Météosat en orbite haute au-dessus des Antilles. La séquence animée a fourni aux météorologistes un aperçu inégalable de la formation et du comportement de l'ouragan.

En 1996, quand il a fallu que l'ESA rationalise certains secteurs de recherche de l'ESTEC, Bagiana vit la possibilité d'offrir ses compétences à l'industrie européenne en créant sa propre entreprise. A l'aide de fonds fournis par le Régime social de l'ESA (établi pour appuyer de telles initiatives), et après avoir obtenu de l'ESA la permission d'utiliser les outils logiciels qu'il avait aidé à mettre au point, Bagiana fonda



Silicon Worlds à Paris. Son objectif était d'offrir des compétences en réalité virtuelle et d'autres services à une grande variété de marchés, depuis l'industrie automobile jusqu'aux médias.

Aujourd'hui, trois ans plus tard, Silicon Worlds compte 10 employés et a un chiffre d'affaires d'un million d'euros. Après d'autres perfectionnements, le logiciel a été vendu comme produit à Arianespace pour la visualisation en temps réel des lancements Ariane 5, depuis le décollage jusqu'à la séparation de la charge utile. La visualisation graphique de l'infortuné vol Ariane 501 a été enregistrée et remise au comité chargé d'enquêter sur l'accident.

Plus important encore, en collaboration avec des partenaires français et allemand, l'entreprise contribue aujourd'hui au programme EU-ESPRIT. L'objectif de ce programme, qui dispose d'un budget de 6,3 millions d'euros, est de produire un outil informatique commercial (appelé 'outil distribué de simulation d'instruments') pour l'industrie dans son ensemble. Le rôle de Silicon Worlds consiste à fournir l'élément de visualisation tridimensionnelle de la simulation. L'une des applications de cet outil est la visualisation des vibrations et des données acoustiques obtenues quand on soumet les panneaux de carrosserie à des essais. ■



Les normes de logiciel de l'ESA s'appliquent à la production, à l'intégration et à l'essai du logiciel. Pour le secteur spatial, elles représentent un genre d'étalon, mais elles ont aussi été publiées sous une forme plus générale pour pouvoir être utilisées dans d'autres secteurs

Les normes de logiciel de l'ESA sont utilisées dans le monde entier

Le développement de logiciels, notamment pour les grands projets spatiaux à volets multiples, est une affaire complexe. Si l'on veut éviter des défaillances critiques qui peuvent coûter cher, il est essentiel de s'assurer de la communauté des spécifications, de la conception, de la validation, des essais et de la documentation, et d'accorder l'attention la plus rigoureuse au contrôle de la configuration. L'ESA a été l'une des premières organisations à saisir les avantages d'une normalisation détaillée des logiciels. Des projets comme Ariane et celui du satellite ERS ont d'immenses besoins en logiciel, avec des interfaces qui s'étendent à un grand nombre de systèmes d'engins spatiaux et d'entreprises dans toute l'Europe. Dans de telles conditions, un modèle exécutoire de développement du logiciel est essentiel à la réussite du projet.

Le même genre de situation se présente dans de nombreux autres secteurs qui ont recours aux technologies de pointe. A mesure que se perfectionnent les technologies de l'informatique et des communications, le marché mondial se rapetisse. Des entreprises et employés de diverses régions collaborent à des projets qui finissent par être intégrés et mis en oeuvre en un point central. Ces organisations ont besoin de savoir avec certitude que leur logiciel est conforme à des règles universelles.

Des normes pour tous

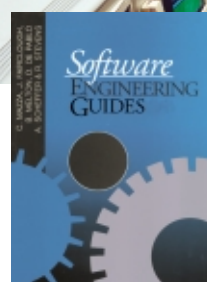
C'est en 1984 que l'ESA a rédigé et publié pour la première fois un ensemble de normes techniques de logiciel. Très rapidement, ces normes ont servi d'étalon dans tous les programmes de l'ESA où intervient le logiciel, et elles ont été mises à jour périodiquement. De nombreuses entreprises du secteur spatial les ont adoptées, même pour leurs programmes non spatiaux, et c'est ainsi que furent semées les graines du transfert de technologie dans ce domaine.

Quand les entreprises spatiales se mirent à appliquer ces normes à d'autres projets, on commença un peu partout à en vanter les avantages, et la publication devint de plus en plus populaire auprès d'entreprises d'autres secteurs. En 1994, la maison d'édition Prentice-Hall commença à imprimer

et distribuer les *Software Engineering Standards* et les *Software Engineering Guides* pour satisfaire la demande mondiale.

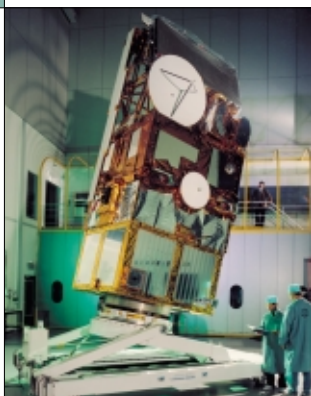
Au cours des quatre dernières années, Prentice-Hall a vendu plus de 8000 exemplaires des guides à des entreprises de nombreux pays européens et d'autres régions du globe, dont les Etats-Unis et l'Australie. Les utilisateurs comprennent des organisations comme La Défense Evaluation and Research Agency du Royaume-Uni, qui ont bénéficié de l'approche logique et systématique avec laquelle les normes abordent des projets complexes. L'ESA peut, à juste titre, se vanter d'avoir eu une influence considérable sur la normalisation efficace du logiciel en Europe. ■

Les projets de l'ESA ont d'énormes besoins en logiciel, qui doivent se conformer à des règles universelles



Prentice-Hall a vendu à l'industrie plus de 8 000 exemplaires des nouveaux guides

Le satellite ERS-1 utilise l'interférométrie radar pour prendre des images de la Terre



Un progiciel conçu pour produire des données interférométriques à partir de satellites-radar sert à détecter les changements de la surface de la terre

Un logiciel pour satellite vient en aide à la sismologie

Aujourd'hui, on peut cartographier la surface de la Terre à l'aide d'images fournies par satellite-radar. Les changements, même petits, de la surface peuvent être surveillés sur une certaine période. On a, pour cela, recours à l'interférométrie, technique qui consiste à combiner et donc à comparer deux signaux radar obtenus d'une même position géographique (plus ou moins), à des moments différents. Si les signaux sont identiques, la forme d'onde du signal combiné reste la même. S'il y a eu des changements à la surface, les formes d'onde sont légèrement différentes l'une de l'autre et il y a interférence quand on les combine (de la même façon que certaines ondes s'annulent partiellement ou se renforcent mutuellement quand elles entrent en interaction). En analysant cette interférence sur ordinateur, on peut identifier tout changement

topographique et cartographier de petits déplacements.

Pendant longtemps, l'interférométrie a reposé sur des mesures prises simultanément par deux instruments ou plus situés dans des points différents. Il est toutefois possible d'obtenir des données interférométriques avec un seul satellite, si les mesures sont prises et enregistrées comme il le faut lors de passes consécutives au-dessus d'un même endroit. Cette technique a été perfectionnée dans les années 80, dès qu'on a disposé de logiciel capable de calculer numériquement et de façon reproductible les données radar.

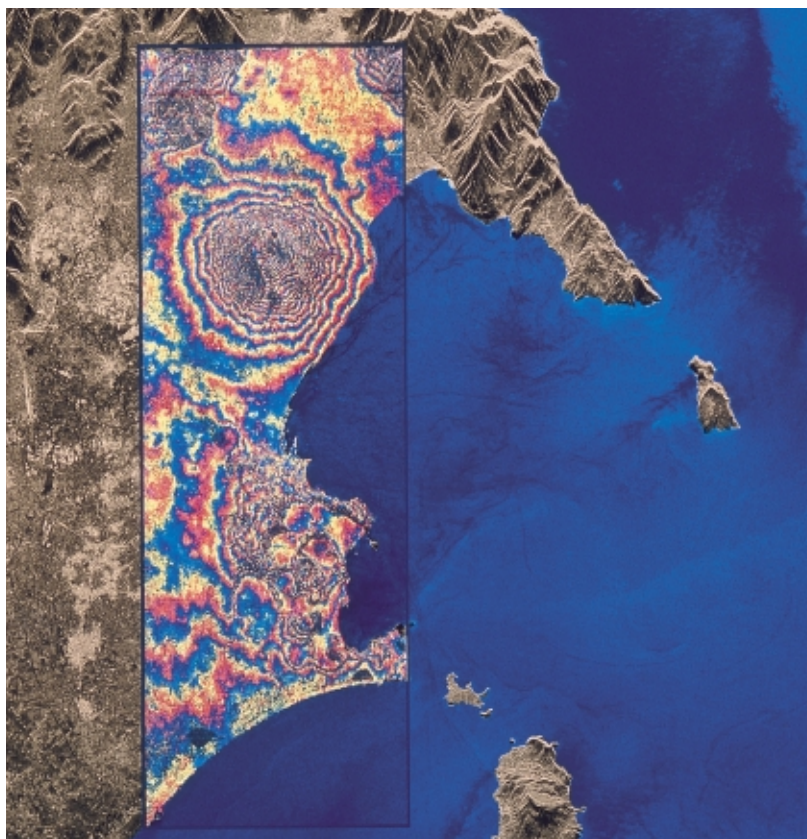
Misant sur ses compétences dans ce domaine, le Centre national d'études spatiales (CNES), l'agence spatiale française, a mis au point un progiciel appelé Diapason pour des satellites-radar comme ERS-1 de l'ESA, qui prend des images de la Terre à des fins de contrôle des changements environnementaux. En plus d'offrir des moyens de calcul efficaces et quasi-automatiques, le logiciel est d'un emploi très facile. Dans certains cas, Diapason peut détecter des changements de quelques millimètres sur des sections d'un kilomètre de la surface terrestre. Il peut notamment remarquer de très petits déplacements de la surface, qui contribuent à identifier les changements qui précèdent les éruptions volcaniques ou, peut-être, les séismes.

Applications terrestres de l'imagerie de la Terre

Conscient de la facilité d'emploi de Diapason (qui n'exige aucune connaissance spécialisée du radar), le CNES a commencé à envisager la vente en dehors du secteur spatial, notamment à des clients potentiels comme les grands laboratoires et les géophysiciens. Ces utilisateurs achètent généralement des données radar aux gouvernements qui ont des satellites-radar, puis doivent trouver un moyen d'en tirer des résultats utiles.

Le CNES a mis sur pied un programme de formation qui aide les chercheurs à apprendre à se servir de Diapason et qui est axé sur le fait que le logiciel traduit automatiquement les données radar en informations que les chercheurs peuvent facilement comprendre et utiliser. A la suite de ces efforts, le logiciel a été adopté par un grand nombre de laboratoires en Europe et aux États-Unis, principalement dans des applications non commerciales, pour la détection précoce des séismes et d'autres mouvements tectoniques. Le CNES a également été contacté par deux entreprises françaises qui aimeraient commercialiser Diapason sous licence. ■

Image radar qui a permis de détecter de petits déplacements géographiques causés par un volcan



L'essai et la vérification de la conception des systèmes de commande et de mise en oeuvre de processus cruciaux, souvent critiqués du point de vue de la sécurité, qu'il s'agisse d'engins spatiaux, d'armes, de procédés chimiques ou d'autres procédés industriels, ont toujours fait l'objet de la plus grande rigueur. Depuis quelques années, le logiciel joue un rôle de plus en plus important dans la composition des systèmes de commande. De par leur nature même, les systèmes logiciels sont plus difficiles à vérifier que le matériel, et, à mesure que le logiciel augmente en complexité, il faut mettre au point de meilleures techniques pour vérifier l'intégrité du processus de commande, ainsi que la sécurité et la fiabilité du système commandé.

C'est peut-être à bord d'un engin spatial que se trouvent concentrés le plus grand nombre de systèmes de sécurité et de systèmes essentiels à la mission, et leur commande repose de plus en plus sur le logiciel. Pour surmonter les difficultés que présente la vérification du logiciel dans de telles applications, Logikkonsult NP de Suède a mis au point NP-Tools en se basant sur une nouvelle méthode d'analyse et de validation des systèmes.

NP-Tools utilise une nouvelle méthode brevetée de ce qu'on appelle la vérification formelle. Les méthodes formelles permettent à un créateur de logiciel de prouver mathématiquement les propriétés et la véracité du logiciel qui commande de grands systèmes complexes. Le tout repose sur une approche d'analyse puissante appelée logique propositionnelle, qui permet de modéliser, à des fins de vérification ultérieure, tout système logiciel où les variables sont finies et définissables.

Dans le cas de NP-Tools, la méthodologie a été mise en oeuvre dans le matériel et le logiciel, à l'aide d'une interface de poste de travail graphique qui peut analyser rapidement des systèmes complexes. Il est possible de vérifier des aspects types comme l'insensibilité aux défaillances, la sécurité et la fiabilité des systèmes et la robustesse (capacité à parvenir au bon résultat en dépit d'informations partiellement erronées), ce qui permet de réduire les délais de contrôle et de certification et d'avoir davantage confiance dans le système.



NP-Tools est largement utilisé pour vérifier les systèmes des engins spatiaux, et de nombreux programmes récents en ont bénéficié

Applications

Depuis que sa disponibilité a fait l'objet d'une plus grande publicité dans le catalogue TEST de l'ESA, NP-Tools a été utilisé avec succès dans d'autres applications où la sécurité est un facteur critique. En voici deux exemples.

● Certification de centrale nucléaire

Dans une centrale nucléaire suédoise, le système de refroidissement de secours comporte un sous-système particulier qui commande la chasse des grilles de prise d'eau pour en éliminer les débris. Une régulation précise de la chasse, autrement dit de l'arrivée d'eau de refroidissement au réacteur, est critique, et les autorités de certification suédoises ont choisi NP-Tools pour vérifier le système à l'aide d'une analyse rigoureuse.

● Signalisation ferroviaire

L'emploi du logiciel pour commander et coordonner la signalisation ferroviaire représente un parfait exemple de son application à un domaine courant où la sécurité constitue un facteur critique. Pour vérifier la sécurité de son logiciel de signalisation, ABB Signal en Suède a mis au point une version individualisée de NP-Tools. Aucune défaillance due au logiciel ne s'est produite depuis son adoption.

La multiplication potentielle des applications de NP-Tools s'est accélérée depuis que le logiciel a paru dans le catalogue TEST de l'ESA. CISE, qui se spécialise dans la conception et la manufacture de systèmes de régulation de l'énergie, a évalué l'application possible du logiciel au secteur de l'énergie

sous les auspices du programme EACRO (maintenant EARTO), qui appuie le programme de transfert de technologie de l'ESA coordonné par Bertin en France. Logikkonsult et CISE (qui fait maintenant partie de la compagnie nationale d'électricité de l'Italie, ENEL) développent conjointement le logiciel NP-Tools pour l'appliquer au secteur de l'énergie, dans le cadre d'ESPRIT, programme de 2,3 millions d'euros appuyé par l'UE. ■



NP-Tools sert à confirmer l'intégrité des systèmes d'engins spatiaux qui sont critiques sur le plan de la sécurité (ci-dessus). NP-Tools a servi à vérifier des systèmes de commande par logiciel dans des centrales nucléaires (à gauche)

Une autre application de NP-Tools a été la vérification du logiciel de commande de la signalisation ferroviaire

Un vérificateur de logiciel réduit les défaillances

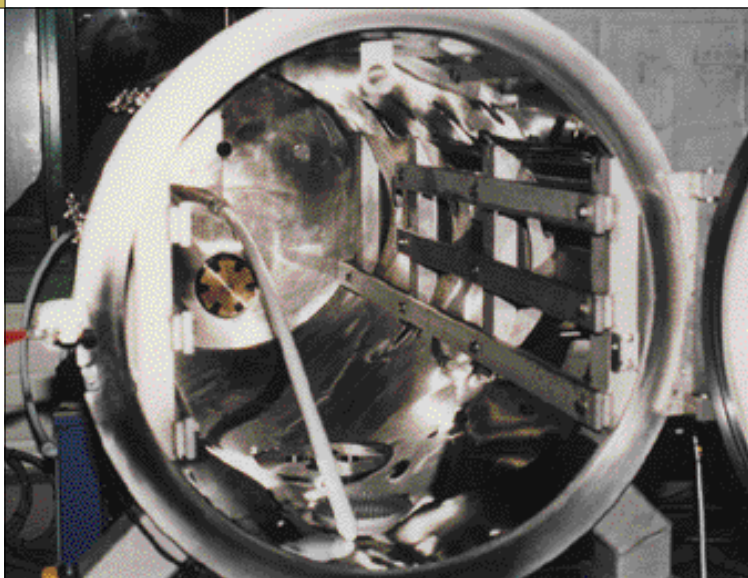
Un nouvel outil qui sert à vérifier le logiciel qui commande les systèmes de sécurité des engins spatiaux et les systèmes essentiels à leur mission a trouvé un emploi tout aussi crucial dans les centrales nucléaires et la signalisation ferroviaire



La machine de traitement plasmique de SNPE à St-Médard (à droite) est utilisée par une entreprise allemande pour fixer des joints à des corps de soupape (ci-dessous)



SNPE



Une entreprise française qui se sert de la technologie des plasmas froids pour fixer des matériaux à l'intérieur des bâtis de propulseurs de fusée ouvre les portes de son usine à d'autres utilisateurs industriels

Les plasmas froids font 'chauffer' de nouveaux marchés

Depuis le début des années 90, SNPE Propulsion de St-Médard, en France, cherche des moyens d'exploiter la technologie des plasmas froids pour remplacer la méthode purement chimique utilisée pour revêtir l'intérieur des propulseurs de fusée d'une couche thermique de protection, processus qui exige normalement une préparation longue et minutieuse. En 1993, SNPE a mis au point un prototype de machine de traitement du plasma et l'a soumis à des essais pour s'assurer que la nouvelle technologie pouvait remplacer efficacement l'ancien procédé. Les essais ont donné

de si bons résultats que SNPE a mis sur pied des installations d'échelle industrielle pour applications de propulsion spatiale.

Toutefois, comme ces applications n'utilisaient pas la pleine capacité de son usine, SNPE s'est associé à l'Université de Bordeaux et a obtenu un financement de l'UE pour chercher des utilisateurs dans d'autres secteurs. Cette collaboration garantit l'exécution des travaux de recherche sous-traités par l'université et met à la disposition de l'entreprise des compétences universitaires complémentaires.

Science de la technologie des plasmas froids

Un plasma, qui est un gaz ionisé contenant des particules chargées (électrons et ions), ainsi que des atomes et molécules neutres, constitue un support efficace pour l'initiation d'interactions sur des surfaces, y compris réactions chimiques, fusion et évaporation. Les plasmas technologiques ont une grande variété d'applications, depuis le soudage jusqu'à la pose de revêtements extra-durs.

Le moyen le plus simple de produire un plasma est de faire passer un courant électrique dans un gaz. Les propriétés du plasma, et donc ses usages, dépendent du processus utilisé. Les plasmas thermiques, obtenus par décharge en arc (température de 10 000°C environ), peuvent fournir une chaleur très intense aux surfaces. Dans le cas des plasmas froids à faible pression, obtenus par décharge à radiofréquences, les électrons sont à une température très élevée (100 000°C), mais les ions, les particules neutres et toute surface avoisinante restent à une température qui n'est que légèrement supérieure à la température ambiante normale. Les électrons énergétiques dans le plasma froid peuvent servir à ioniser ou à désassembler les molécules de tout gaz présent, provoquant une réaction chimique entre le gaz et la surface. Il est ainsi possible de revêtir un matériau d'une fine couche d'adhésif ou de peinture, par exemple. Comme la température de la surface traitée s'élève à peine, la majeure partie du matériau n'est pas altérée.

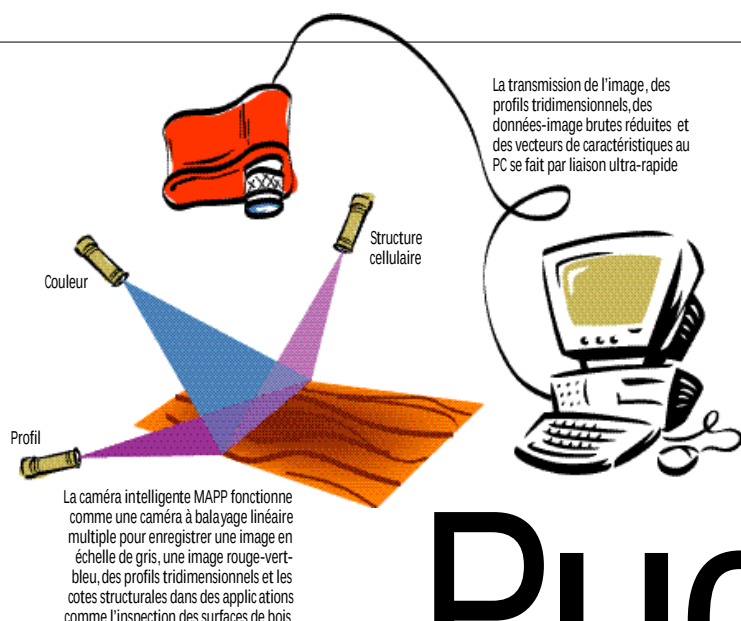
Les avantages de ce type de traitement au plasma froid est qu'il ne pollue pas, qu'on peut l'automatiser, qu'il exige peu de consommables et qu'il est très rapide (un cycle type de traitement dure entre 15 et 30 minutes). En plus de permettre des économies considérables, le plasma peut augmenter de façon spectaculaire l'efficacité de liaison de matériaux techniquement utiles comme la silicone.

Utilisation de la capacité

En 1995 et 1996, une campagne promotionnelle lancée par les deux partenaires à l'intention des petites entreprises locales leur a permis de trouver sept clients et deux nouvelles sources de cofinancement. Aujourd'hui, les installations exécutent des travaux sur prototype ou des traitements de surface en petites séries pour ces entreprises.

SNPE a également étendu la portée de ses activités pour offrir à d'autres secteurs le même genre de services et de produits qu'à ses grands clients du secteur spatial. L'entreprise doit réaliser une étude de validation pour un important fabricant français d'appareils électroménagers qui envisage de mettre sur pied ses propres installations pour tester l'emploi des traitements de surface au plasma sur ses produits. Il s'agirait de fixer des couvercles ou des poignées de polypropylène au verre et de préparer les appareils pour la peinture ou le marquage. Les installations de SNPE ont également attiré un fabricant allemand de tuyauterie industrielle, qui cherchait un meilleur moyen de fixer les joints d'étanchéité aux corps de soupape.

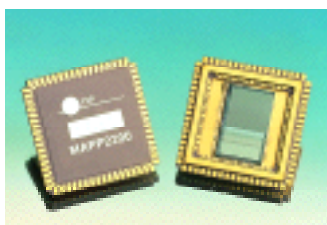
Chef de file dans l'application de la technologie des plasmas froids en France, SNPE va maintenant oeuvrer à un projet financé par l'UE et qui consiste à dresser un ensemble de lignes directrices à l'intention des utilisateurs futurs de la technologie des plasmas froids, plus particulièrement à l'intention des petites entreprises. ■



Une entreprise suédoise vend une puce utilisée pour positionner les satellites à des fabricants qui recherchent une plus grande précision dans l'inspection visuelle des produits finis

Puce à vision

Le système intelligent de détection optique mis au point par l'entreprise suédoise Integrated Vision Products (IVP) a d'unique le fait qu'il s'agit d'un système complet de manipulation d'image sur une seule puce. Ses circuits comprennent des capteurs optiques, des convertisseurs analogique-numérique, une mémoire et un processeur pour le traitement des données-image. Vu que la puce elle-même n'est guère plus grande qu'un ongle et peut être montée sur une caméra miniature, elle est particulièrement utile dans le domaine spatial, où l'équipement doit être le plus léger et le plus compact possible.



A titre d'exemple, le système permet actuellement de détecter

les défauts superficiels des carreaux de céramique, des textiles, des produits en contreplaqué et des fruits en conserve plus rapidement et plus efficacement que par les méthodes classiques. On peut notamment enregistrer en même temps des images en échelle de gris, des images rouge-vert-bleu et des profils tridimensionnels d'une surface de bois en dotant le système de vision d'une source laser multiple et de filtres rouge-vert-bleu.

Dans le domaine des transports, le système sert à dresser, en temps réel, le profil tridimensionnel de rails pour trains à grande vitesse, afin d'identifier tout état de la voie qui risque d'être dangereux. Le système d'IVP est également utilisé pour la modélisation tridimensionnelle du pied (ou d'autres parties du corps humain) à des fins orthopédiques, par exemple pour la confection de chaussures sur mesure. ■

Les puces d'imagerie d'IVP (à gauche) permettent aux satellites de se mettre en position par rapport à la Terre. Le système de caméra intelligente (ci-dessous) peut détecter des défauts dans les produits alimentaires

A l'origine, le système avait été mis au point par IVP pour des applications terrestres, mais CelsiusTech Electronics de Suède et l'ESA n'ont pas tardé à lui trouver un emploi dans les programmes de satellites de communication de l'ESA. Le système permet aux satellites de se positionner par rapport à la Terre. Le capteur optique 'regarde' la surface de la Terre et compare les images obtenues à celles qui ont été programmées dans la puce. La comparaison constante entre les deux ensembles d'images permet au système de maintenir le satellite et son antenne dans la position correcte.

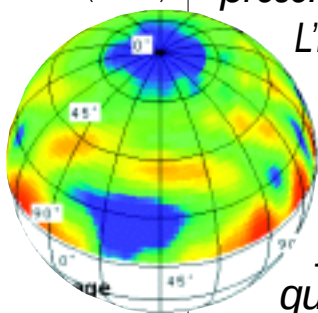
Fort de sa réussite dans le secteur spatial, IVP a continué à chercher des applications terrestres à son système intelligent de détection optique. L'architecture de la puce offre de nombreux avantages: elle est souple et le système de vision peut être configuré de façon simple; la manipulation de l'image peut s'opérer directement sur la puce, y compris la numérisation, le filtrage, la détection de contours, le seuillage et le calcul de l'axe. Enfin, l'architecture parallèle de la puce permet un traitement de données bien plus rapide que dans les systèmes optiques classiques.

Caméras intelligentes

Cette puce optique intelligente a trouvé une application importante dans les caméras intelligentes, qui combinent en temps réel les images provenant de capteurs multiples. Du fait de ses faibles dimensions et de la rapidité de son traitement des images (jusqu'à 4000 images par seconde), on peut utiliser le système dans 90 pour cent de toutes les applications industrielles qui ont recours au traitement des images.

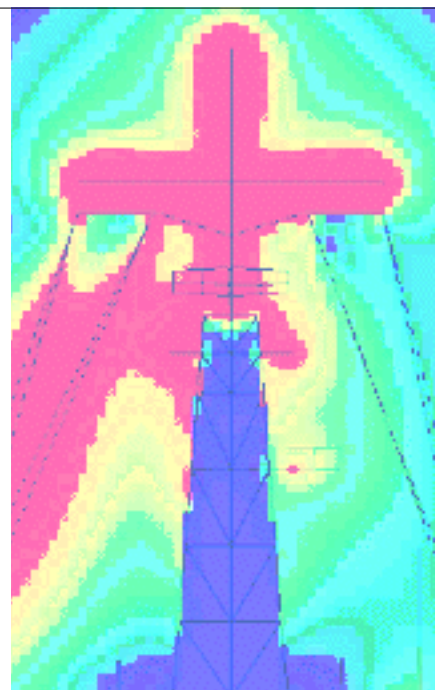


Modélisation d'antennes de navire montrant la couverture de rayonnement et l'analyse des risques (à droite).
Modélisation d'antenne de satellite montrant la couverture mondiale (ci-dessous)



Le positionnement des antennes sur les engins spatiaux et la vérification de leur performance présentent de grandes difficultés.

L'ESA a collaboré avec une équipe européenne de concepteurs d'antenne pour mettre au point un jeu d'outils informatiques qui simplifient cette tâche



Un logiciel facilite la conception des antennes

Les facteurs dont il faut tenir compte dans la conception ou le positionnement des antennes, qu'elles soient sur un engin spatial ou ailleurs, comprennent le rendement, l'empreinte, le masquage, la sécurité de rayonnement et la compatibilité électromagnétique. Autrement dit, les concepteurs doivent s'assurer que la puissance d'émission et la couverture sont suffisantes, que les émissions ne sont pas masquées par des ouvrages adjacents, qu'elles ne mettent pas la vie en danger et qu'elles ne brouillent pas d'autres systèmes ou appareils électroniques: bref, un ensemble relativement complexe de contraintes.

Depuis le début des années 80, la Division navale de l'entreprise italienne Ingegneria Dei Sistemi SpA (IDS), de Pise, cherche à résoudre le problème en mettant au point des méthodes informatiques capables d'évaluer ces facteurs. En 1993, l'entreprise a commencé à collaborer avec l'ESA pour contribuer à la mise au point d'un jeu intégré d'outils logiciels susceptibles d'aider à concevoir des antennes d'engin spatial. Thomson CSF/RCM (France), TICRA (Danemark), EPFL - LEMA (Suisse) et CIRMA (Italie) ont également participé à ce programme.

Ces travaux ont abouti à la mise au point d'un logiciel-cadre de conception d'antenne (ADF), qui offre toutes les fonctions dont on a besoin pour modéliser des antennes, que ce soit isolément ou sur un engin spatial. ADF utilise

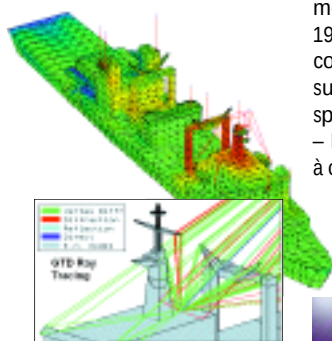
des outils logiciels qui fonctionnent dans un milieu graphique distribué et qui peuvent fournir une évaluation détaillée de tous les problèmes qu'un concepteur peut avoir à résoudre. Ces outils modélisent la sortie électromagnétique de l'antenne et utilisent une visualisation en trois dimensions pour illustrer la couverture de l'antenne, l'intensité des émissions et les interactions avec des systèmes électroniques ou des ouvrages voisins, ainsi que tous les dangers ou mauvais fonctionnements qui risquent d'en découler.

ADF offre en outre aux concepteurs un sous-programme de servitude qui leur permet, au besoin, de tenir un relevé chronologique des travaux de conception et des optimisations, ce qui représente un grand progrès par rapport aux procédures non intégrées actuelles. Pour amplifier la capacité du logiciel ADF, il suffit de lui ajouter les outils commerciaux voulus.

Retombées maritimes

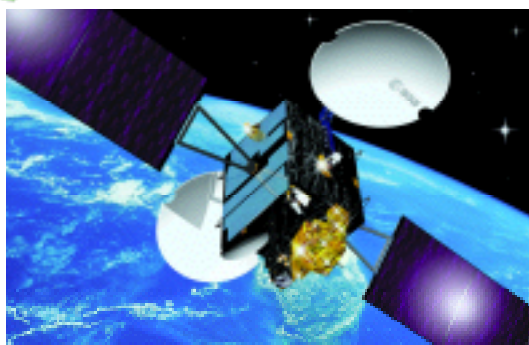
Spacelink a fait une grande publicité aux applications non spatiales du logiciel ADF dans le catalogue TEST. Après avoir contribué à ce programme les compétences et l'expérience acquises avec l'appui de la marine italienne, IDS fut en mesure de faire profiter les milieux maritimes des progrès réalisés dans le programme ADF de l'ESA.

L'entreprise oeuvre parallèlement à la mise au point d'un cadre de conception électromagnétique, qui remplira les mêmes fonctions pour la conception des antennes de navire. Un des premiers avantages commerciaux qu'IDS a retirés du programme a été l'octroi d'un important contrat par le ministère de la Défense britannique pour l'évaluation de la conception et du positionnement des antennes d'un navire de guerre. On prévoit que cet outil pourrait être appelé à jouer un rôle important dans la conception et la mise en service de la nouvelle génération de navires européens de surface actuellement à l'étude, en plus d'aider les concepteurs d'engins spatiaux à aborder leurs tâches de façon mieux structurée. ■



Modélisation d'antennes de navire

Le logiciel ADF sert à concevoir et positionner les antennes de satellite



Un revêtement qui sert à minimiser le frottement dans les paliers des pompes à combustible de la navette spatiale permet aussi d'augmenter la production et la qualité des feuilles de plastique

Un revêtement apparenté au diamant rend les plastiques plus transparents



On peut avoir recours au revêtement diamantin sur les vis sans fin de calandres comme celle-ci pour produire un plastique plus transparent

Quand deux composants d'un système entrent en contact, il se produit un frottement qui peut causer l'usure des composants et la surchauffe du système. MAT, entreprise allemande de Dresde, a mis au point un revêtement spécial qui s'apparente au diamant pour réduire le frottement dans les paliers des pompes à combustible de la navette spatiale. Fait d'un matériau à base de carbone, ce revêtement a une structure moléculaire qui ressemble à celle du diamant. Les avantages de ce revêtement est qu'il résiste à l'usure et aux égratignures, qu'il est chimiquement stable et qu'il minimise le frottement dans les systèmes mécaniques.

Dans le cadre de sa participation au programme de transfert de technologie de l'ESA, MST, partenaire allemand de Spacelink, organise périodiquement des tribunes de transfert de technologie pour les entreprises du secteur spatial et d'autres secteurs. En 1996, à l'une de ces tribunes, MST fut contacté par Kalle Pentaplast, entreprise allemande qui domine le marché mondial des pellicules et emballages plastiques, et qui avait alors des problèmes de fabrication: des résidus causés par le frottement se déposaient sur les feuilles de plastique pendant la production. Voyant la possibilité de résoudre ce problème à l'aide du revêtement de réduction du frottement, MST organisa un transfert de technologie entre MAT et Kalle Pentaplast.

Les feuilles de plastique sont produites dans un grand laminoir appelé calandre. Les principaux éléments de la calandre sont la filière d'extrusion, qui mélange le polymère, et une série de cylindres, qui transforment la matière plastique en feuilles. Dans la filière d'extrusion, les granules de plastique sont chauffés jusqu'au point de fusion pour se coaguler en une bande de feuille. Un élément-clé de la filière d'extrusion est une vis sans fin, qui mélange le matériau pendant ce processus.

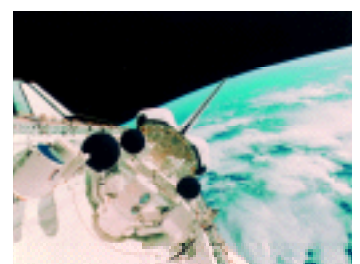
Avant qu'on n'ait recours au revêtement spécial, le plastique avait tendance à adhérer à la vis sans fin pendant le malaxage, parce que celle-ci avait une surface rugueuse. Le plastique collé à la vis chaude se carbonisait puis s'émiettait dans le mélange pour former ensuite des particules noires dans les feuilles de plastique finies. Kalle Pentaplast avait tenté de réduire ce problème en revêtant la vis sans fin de divers matériaux, dont des céramiques au titane enduites de Téflon, mais aucun traitement n'était parvenu à réduire les dépôts de particules à un niveau acceptable. Les réclamations des clients qui se plaignaient de la qualité du plastique coûtaient de l'argent à Kalle Pentaplast, notamment quand il lui fallait reprendre une commande pour satisfaire les spécifications des clients.

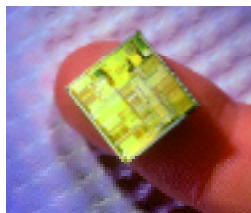
Des résultats de diamant

En enduisant la vis sans fin du revêtement diamantin spécial, on est parvenu à réduire sensiblement la formation de résidus. Ces améliorations ont permis à l'entreprise d'économiser 85 000 euros par calandre par an. Comme Kalle Pentaplast utilise 36 calandres, les économies réalisées pourraient dépasser 3 millions d'euros par an.

L'entreprise a profité d'une autre façon du revêtement spécial: la réduction du frottement entre la vis sans fin et le plastique a entraîné une augmentation du débit du plastique dans la filière d'extrusion, parce qu'il y a maintenant moins de traînée. Chaque calandre peut maintenant produire entre 10 et 15 pour cent de plus qu'avant. Quand toutes les calandres auront été revêtues, le potentiel de production supplémentaire représentera pour Kalle Pentaplast 126 millions d'euros par an. ■

Les paliers des pompes à combustible de la navette spatiale sont enduits d'un revêtement diamantin qui réduit le frottement





La technologie des structures de flexion a contribué à la miniaturisation de nombreux dispositifs électroniques

Une nouvelle technologie utilisée pour le positionnement précis des lasers dans l'espace sert maintenant à fabriquer la prochaine génération de puces

Le positionnement des lasers

Les systèmes classiques de positionnement mécanique utilisés sur les engins spatiaux souffrent de problèmes qu'il est difficile d'éliminer, par exemple les erreurs causées par le frottement, le battement dû aux tolérances produites par l'assemblage de plusieurs composants, et l'usure. Ces problèmes font que la précision des systèmes est inférieure à celle dont on a besoin pour braquer les émetteurs laser et les capteurs optiques dans les vastes étendues de l'espace.

Un moyen d'obtenir un positionnement mécanique plus précis, avec des variations de moins d'un micromètre, consiste à substituer aux éléments cinétiques classiques, qui comprennent souvent un certain nombre de composants liés entre eux, des structures homogènes flexibles et sans frottement, qui permettent des mouvements de translation et de rotation dans toutes les directions, en se basant sur des liens purement élastiques pour le guidage et la transmission. Autrement dit, les structures ont le minimum de pièces séparées reliées entre elles (technologie des structures de flexion). Une variété de structures flexibles peuvent être conçues avec précision et être optimisées sur ordinateur. On

peut alors les refaçonner (principalement en aluminium ou alliage de béryllium-cuivre) pour leur donner la forme précise voulue, par l'une de plusieurs méthodes, dont l'électroérosion.

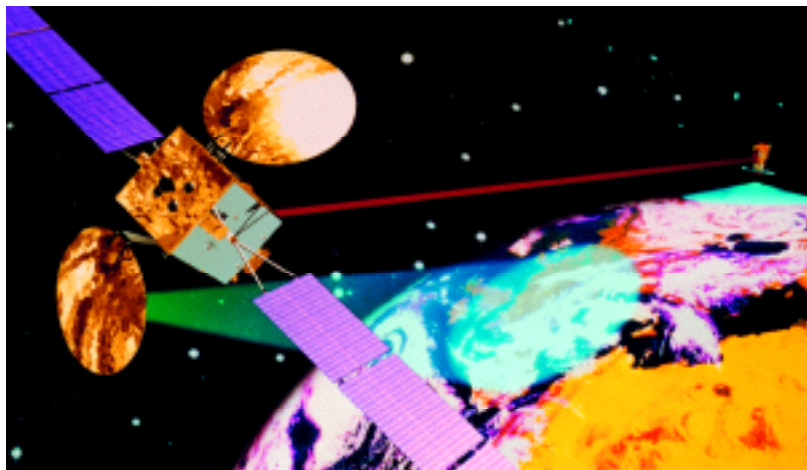
Cette technologie peut s'appliquer à une grande variété de satellites de communications et d'observation scientifique, où elle permet de positionner avec précision les émetteurs et récepteurs de communication laser, les instruments de télédétection et les suiveurs solaires et stellaires. CSEM, entreprise suisse d'avant-garde dans le développement et l'application de cette technologie, a appliqué la technologie des structures de flexion aux instruments de transmission des données optiques d'Artemis, qui, quand il sera lancé en 2000, contribuera un apport important au lancement des communications mondiales de données optiques. Artemis est conçu spécialement pour examiner un moyen révolutionnaire de transmission de données entre satellites: l'emploi de faisceaux laser.

Plus récemment, on a appliqué la même technologie sur terre, au secteur de l'électronique, où les lasers ont trouvé de nombreux emplois. Un exemple est le transfert de texte à l'aide de la reconnaissance optique de caractères par scanner monté sur ordinateur, qui exige une optique laser de très grande précision. En 1995, CSEM a signé un contrat avec Lumonics, fabricant canadien d'équipement de balayage optique, pour la mise au point d'un système laser incorporant la technologie des structures de flexion.

L'entreprise a livré un prototype à la filiale de Lumonics au Royaume-Uni et prévoit produire plusieurs centaines de systèmes par an.

Une autre application est la production de composants électroniques de plus en plus petits pour la dernière génération de téléphones mobiles miniatures, de caméras CCD et d'autres produits utilisant des puces. Le processus qui crée de très petits circuits sur une puce utilise des lasers. Les faisceaux laser doivent être positionnés avec une extrême précision: de l'ordre de 10 nanomètres (milliard-ièmes de mètre). ■

La technologie des structures de flexion sert à concevoir des systèmes de pointage d'antennes pour le satellite-relais de données Artemis



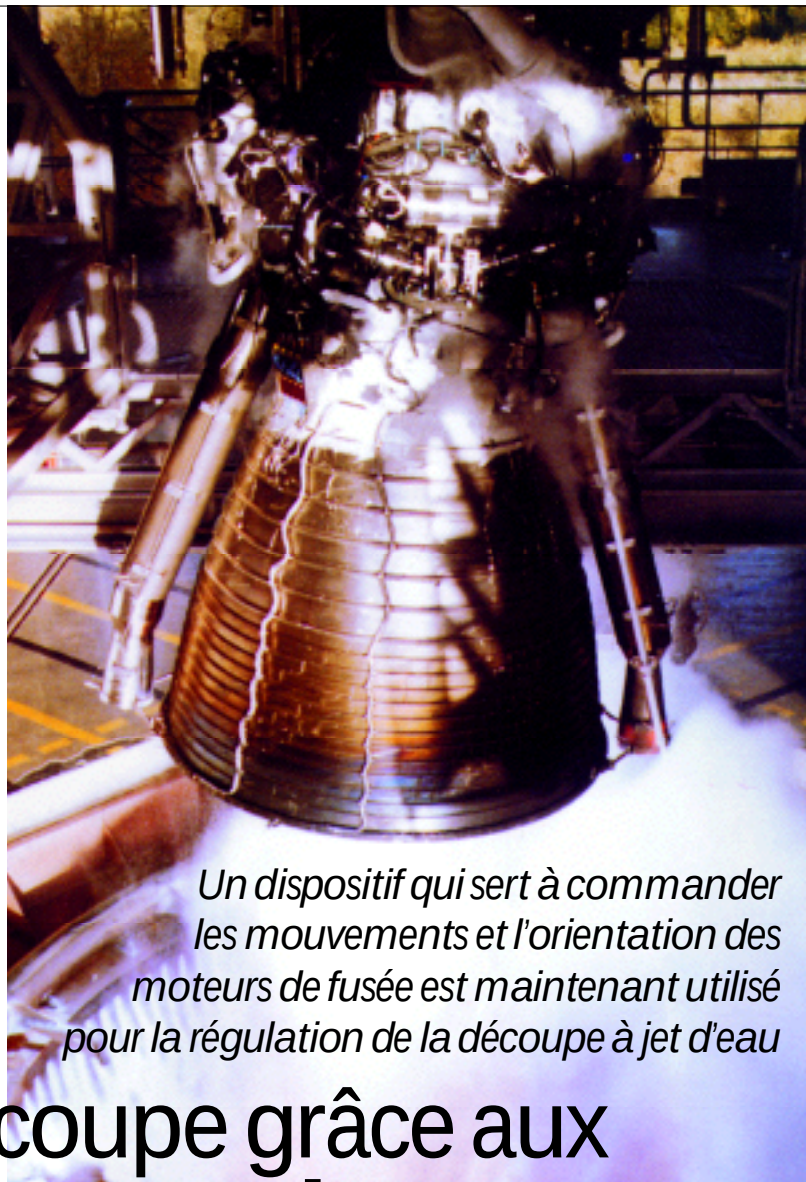
Les propulseurs des engins spatiaux ont besoin de systèmes rapides et précis de commande pour contrôler la poussée de la fusée à son lancement. Dans une étude réalisée pour l'ESA au début des années 90, PHASE Spa, en Italie, a examiné la mise au point d'actionneurs linéaires électriques de grande puissance pour cette tâche. L'entreprise a produit des prototypes qui pèsent moins de 7 kilogrammes, mais peuvent exercer des forces de 26 000 kilonewtons avec une précision d'alignement de 20 micromètres sur de courtes distances. Les actionneurs sont entraînés par un servomoteur intégral sans balai (13 kilowatts) et commandés par un système d'entraînement électronique triphasé, à une fréquence qui dépasse 60 hertz. Pour leur poids, ils offrent des performances avec lesquelles ne peut rivaliser aucun système hydraulique ou pneumatique équivalent.

En 1994, les spécifications impressionnantes du moteur linéaire ont attiré l'attention de l'entreprise D'Appolonia, partenaire italien de Spacelink, qui fit la promotion de la technologie dans le catalogue TEST 3 de l'ESA. Environ au même moment, le British Hydrodynamics Research Group (BHR) du Royaume-Uni cherchait à améliorer les performances d'outils de coupe industriels qui utilisent le jet d'eau à haute pression comme mécanisme de coupe.

Une technologie de pointe

Le jet à haute pression est un moyen de coupe efficace pour une variété de matériaux dont l'aluminium, l'acier inoxydable et les composites à matrice métallique, un avantage qui le distingue de technologies rivales comme l'usinage au laser et l'électroérosion. Utilisé correctement, un fin jet d'eau propulsé à des vitesses supersoniques et chargé de particules abrasives peut couper, profiler, façonner, gouger, nettoyer et décalaminer. Contrairement à de nombreuses autres techniques, il s'agit d'un processus à froid: comme il ne produit aucune chaleur dans la zone de coupe, il n'endommage pas le matériau environnant.

Par contre, les machines de coupe à jet d'eau de la génération actuelle ont un inconvénient: elles laissent parfois



Un dispositif qui sert à commander les mouvements et l'orientation des moteurs de fusée est maintenant utilisé pour la régulation de la découpe à jet d'eau

Une meilleure coupe grâce aux moteurs spatiaux

Les moteurs linéaires ont été conçus pour contrôler la poussée directionnelle des fusées pendant le lancement

dans le matériau coupé des marques de vibration superficielles dues à de petites variations de la pression d'eau, qui modifient la répartition angulaire du jet. A l'heure actuelle, on obtient et on maintient les très fortes pressions d'eau nécessaires à l'aide d'intensificateurs: de gros pistons à commande pneumatique, qui fonctionnent par paires en séquence. Conscient depuis un certain temps que ce genre de régulation ne produisait pas un débit suffisamment uniforme, BHR a immédiatement repéré les possibilités offertes par le moteur de PHASE pour une régulation bien plus précise de la pression d'eau et la production d'un jet plus fin.

BHR a ensuite abordé la question du coût de développement de cette application avec le concours de partenaires européens et l'aide financière de l'UE. En 1996, cinq organisations formèrent un consortium avec PHASE et Diajet, filiale de BHR: Bohler Hochdrucktechnik GmbH (Autriche), qui fabrique de l'équipement à haute pression, Masijet Oy (Finlande) et TIRAC (Irlande), qui offrent des services de coupe par jet, l'Université de Hanovre

(Allemagne), qui a des compétences spécialisées dans ce domaine, et Shorts, une unité de Bombardier Aerospace en Irlande du Nord, qui évalue l'emploi possible de la technologie pour le formage de précision de structures composites pour l'industrie aérospatiale.

Le programme Brite-Euram de l'UE a fourni une aide financière de 2,6 millions d'euros, et la phase de développement de la technologie est maintenant presque terminée. La plus grande précision de traitement des matériaux que ce transfert de technologie a permis d'obtenir devrait rendre les entreprises européennes plus compétitives sur cet important marché mondial en pleine expansion.

Si, comme on s'y attend, Bombardier Aerospace trouve un moyen d'utiliser la technologie améliorée dans la découpe et le formage de structures d'avions de pointe, le moteur linéaire PHASE aura été un autre exemple de retombées technologiques d'un segment de l'aérospatiale qui reviennent à un autre segment de ce même secteur sous forme de composant-clé. ■

Des actionneurs linéaires servent à la régulation du jet d'eau à haute pression dans des machines à couper comme celle-ci





Les compétences d'une petite entreprise allemande dans l'aérodynamique des engins spatiaux ont contribué à la mise au point d'une nouvelle machine de conditionnement



Les études aérodynamiques se réalisent dans des souffleries comme celle-ci

L'atterrissage des pommes chips

Hypersonic Technology (HTG) est une entreprise de Grottening, en Allemagne, qui se spécialise dans la résolution des problèmes d'écoulement aérodynamique pour des projets spatiaux comme l'initiative ELITE de l'ESA, qui examine les caractéristiques de vol des lanceurs européens. En observant la façon dont les maquettes se comportent en soufflerie, HTG peut calculer les effets d'un écoulement d'air extrêmement rapide sur les mouvements, la température et les propriétés physiques d'engins spatiaux. Ces expériences aident les concepteurs à choisir les meilleurs matériaux pour la construction des engins spatiaux et à calculer l'angle et la vitesse auxquels un engin peut rentrer dans l'atmosphère terrestre et atterrir en toute sécurité.

L'aérodynamique des aliments

En 1998, un constructeur allemand de machines de conditionnement, ROVEMA, présenta un problème à MST, partenaire allemand de Spacelink: mettre au point une machine capable d'empaqueter rapidement des produits alimentaires légers comme les pommes chips, sans les briser. Chef de file dans le secteur des machines de conditionnement, le Groupe ROVEMA a des filiales en Autriche, en Espagne, en Italie, aux Pays-Bas, au Royaume-Uni et aux Etats-Unis. Bien qu'elle produise une variété de machines de conditionnement, l'entreprise doit ajouter de nouvelles machines à sa gamme tous les deux à trois ans pour rester concurrentielle. C'est cette recherche constante du perfectionnement de ses machines qui amena ROVEMA à se tourner vers les technologies et le savoir-faire de l'astronautique.

Après s'être penché

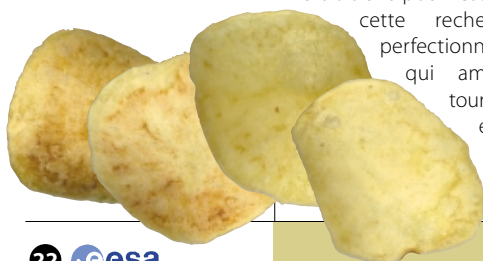
sur le problème, MST se rendit compte que, d'un point de vue conceptuel, le problème scientifique que représente la chute sans bris de pommes chips dans un sac s'apparentait à l'atterrissage sécuritaire d'un engin spatial. Dans les deux cas, il faut tenir compte de la vitesse optimale compatible avec la sécurité de la descente et examiner les effets de l'écoulement d'air sur la température, la structure, la vitesse et la direction de l'objet en chute. Connaissant les compétences de HTG dans la résolution de problèmes de ce genre, MST présenta l'entreprise à ROVEMA en vue d'un partenariat pour la conception et la mise au point de nouveaux systèmes.

Misant sur les compétences en modélisation, en calcul et en prise de mesures élaborées dans ses travaux sur les projets de l'ESA, HTG fut capable de mettre au point un système d'ensachage que ROVEMA pourrait intégrer dans une nouvelle machine de conditionnement. La machine peut conditionner les produits alimentaires à une vitesse qui est de 30 à 50 pour cent supérieure à celle des machines ordinaires. HTG a également collaboré avec ROVEMA aux essais opérationnels de la machine, en ajustant le système jusqu'à ce qu'il atteigne l'équilibre optimal entre la vitesse et le bris des aliments.

ROVEMA a fait les essais d'un prototype et compte pouvoir commencer à produire la nouvelle machine en série en 1999. La machine a été présentée en public pour la première fois à INTERPACK, grande foire internationale de l'emballage, à Dusseldorf, en Allemagne, en mai 1999. Cette machine novatrice devrait rapporter 30 millions d'euros par an à ROVEMA. ■



Faire atterrir un engin spatial sur la Terre ou la sonde Huygens de l'ESA sur Titan, lune de Saturne, comme on le voit ici, c'est un peu comme laisser tomber une pomme chips dans un sac



De la recherche spatiale à la voiture verte

La technologie des piles à combustible perfectionnée par le secteur spatial européen a été adaptée à la propulsion de la voiture de demain



La N-car de Mercedes utilisera une pile à combustible comme source d'énergie

Mercedes-Benz

Tout le monde connaît les inconvénients des combustibles solides et liquides à base d'hydrocarbures: ils proviennent de combustibles fossiles dont les réserves s'amenuisent, ils ont un faible rendement et ils produisent du gaz carbonique et d'autres émissions qui nuisent à l'environnement. L'hydrogène, par contre, a un excellent rendement énergétique et, en réaction avec l'oxygène, peut produire de grandes quantités d'énergie sans aucune émission nocive (le seul produit résiduel est l'eau).

Pour les concepteurs d'engins spatiaux en particulier, l'hydrogène a un énorme avantage: il est léger et, sur le plan du rapport puissance/poids, a un énorme potentiel pour la propulsion. Les principaux inconvénients sont que l'hydrogène n'est pas présent en grandes quantités dans la nature et qu'il est extrêmement volatil et explosif, comme l'ont découvert les exploitants des premiers dirigeables à l'hydrogène. Les chercheurs sont toutefois parvenus à mettre au point un moyen efficace de tirer de l'énergie de l'hydrogène: il s'agit de la pile à combustible.

Comment fonctionne une pile à combustible

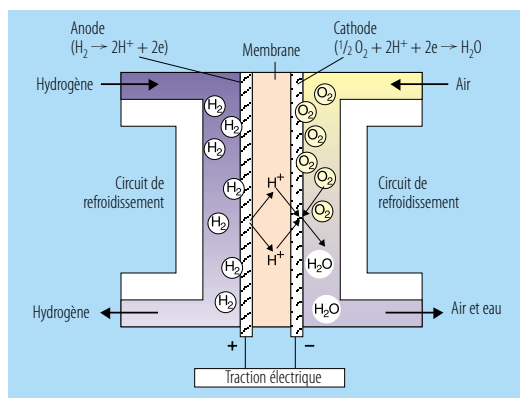
Une pile à combustible s'apparente à un accumulateur en ce sens qu'elle produit un courant électrique externe par réaction électrochimique de certains matériaux aux électrodes de la pile. Toutefois, alors qu'un accumulateur dépend d'une source finie de substances chimiques, une pile à combustible est alimentée continuellement. Les plus simples des piles à combustible utilisent l'hydrogène et l'oxygène présents dans l'air et les amènent séparément à des électrodes revêtues d'un catalyseur de platine. Au contact de l'électrode, les molécules d'hydrogène se séparent en ions d'hydrogène (protons) et en électrons (qui produisent l'énergie de propulsion). Les protons passent ensuite par une membrane d'échange ionique, qui leur permet de se déplacer entre les électrodes tout en maintenant les gaz séparés. Quand ils atteignent l'électrode d'oxygène, les protons se combinent à l'oxygène pour former de l'eau.

Les piles à combustible produisent de l'énergie efficacement à des températures relativement basses (il se

produit de la chaleur), avec peu de bruit et de vibrations et sans aucune émission nocive. De plus, elles ont très peu de pièces mobiles et sont extrêmement fiables.

Dornier, entreprise aéronautique allemande, qui fait maintenant partie de DaimlerChrysler, cherche depuis un certain temps à produire une pile à hydrogène fiable qui puisse être utilisée dans l'espace, plus particulièrement dans les programmes Spacelab et Hermès (ce dernier a maintenant été abandonné).

Quand Dornier a été incorporé à DaimlerChrysler en 1996, les divisions automobiles de cette grande multinationale ont eu accès à sa technologie des piles à combustible. Mercedes-Benz, en particulier, s'est servi de ce savoir-faire pour mettre au point ses propres piles à combustible. La première Mercedes à être propulsée par pile à combustible sera la N-car, qui devrait être sur le marché dans quatre ou cinq ans. La N-car sera une version de la classe A actuelle et utilisera de l'hydrogène liquide stocké dans des bouteilles de type thermos. L'électricité produite servira à entraîner un moteur électrique. La N-car aura une autonomie supérieure de 40 pour cent à celle d'une voiture électrique à accumulateurs. Elle atteindra une vitesse de 150 km à l'heure et pourra transporter cinq personnes et leurs bagages sur près de 450 km. ■



Pile à hydrogène

La plus simple de toutes les piles à combustible utilise l'hydrogène et l'oxygène de l'air, qui vont à des électrodes séparées, revêtues d'un catalyseur de platine

Une entreprise britannique a utilisé les technologies d'imagerie des satellites de l'ESA pour concevoir une caméra capable de voir dans le pétrole

La technologie des satellites voit au fond des puits

En 1997, John Hother a fondé l'entreprise Proneta au Royaume-Uni pour concevoir des systèmes électroniques et des capteurs et pour offrir des services de consultation en gestion du génie et en marketing. Son équipe professionnelle d'ingénieurs, de physiciens et de gestionnaires de projet se spécialise dans le transfert des techniques optimales d'un secteur à un autre et s'attache en particulier à tirer le plus grand parti de ses compétences dans les domaines de l'électronique, de l'avionique, du radar, des systèmes de traitement en temps réel, des réseaux et de l'aéronautique.

En 1997, Hother a participé à un séminaire organisé par l'ESA pour les secteurs de l'aérospatiale et du pétrole offshore. Ce dernier lui a posé un problème: trouver un moyen de voir dans un puits de pétrole. On utilise fréquemment des caméras vidéo classiques pour diagnostiquer les problèmes de forage, de complétion et de reconditionnement, mais ces caméras ne peuvent voir dans le pétrole, de sorte qu'il faut vidanger le pétrole du tubage à l'aide d'une arrivée continue de saumure avant de pouvoir les utiliser. Ce balayage coûte extrêmement cher et, très souvent, les retards que cause le transport des pompes et des filtres jusqu'au puits font décider de ne pas utiliser une caméra fond-de-trou.

Proneta décida de se pencher sur le problème et parvint à obtenir que la Commission européenne parraine en partie les recherches initiales. L'appui d'un groupe d'organisations fut obtenu: Conoco fournit des échantillons de pétrole pour les expériences, et University College de Londres effectua des essais sur le pétrole pour Proneta, là où l'entreprise n'avait pas l'équipement nécessaire.



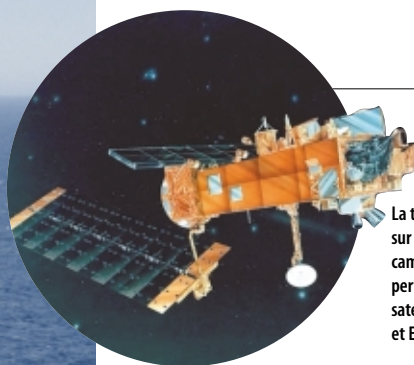
La technologie de l'imagerie terrestre appliquée à l'industrie pétrolière

Les essais exploratoires ont permis aux chercheurs de Proneta d'identifier les caractéristiques spéciales du pétrole. Du fait de son expérience du secteur spatial et plus particulièrement de la conception d'instruments électro-optiques, l'équipe savait que des capteurs capables de voir dans le pétrole avaient déjà été mis au point pour des satellites météorologiques comme ceux des missions ENVISAT et ERS de l'ESA. Ces satellites surveillent l'environnement, le climat et les changements du niveau de la mer.

A partir de la technologie de l'imagerie par satellite et des résultats des essais sur le pétrole, Proneta put établir, non seulement que sa caméra pouvait prendre des images utiles dans le pétrole, mais aussi qu'on pourrait la perfectionner pour l'adapter au milieu hostile dans lequel elle serait utilisée, et se plier aux contraintes rigoureuses du point de vue des dimensions et de la longueur de bande. Proneta déposa des brevets pour la nouvelle technologie, mais il lui fallait aussi montrer aux compagnies de pétrole que cette technologie pouvait donner de bons résultats au-delà des calculs sur papier et de la modélisation sur ordinateur.

Avec le co-parrainage de l'ESA, Proneta construisit un banc d'essai dans son laboratoire pour produire des images qui pourraient être montrées aux compagnies de pétrole et à d'autres parrains en perspective. Cette installation fonctionne bien et produit des images utilisables.

Pour Proneta, la prochaine phase consistera à construire des installations de démonstration grandeur nature, où on pourra voir la caméra fonctionner avec de vraies cibles.



La technologie d'imagerie sur laquelle repose la caméra de Proneta a été perfectionnée pour les satellites Envisat (à gauche) et ERS-2 (ci-contre)

On utilisera la nouvelle caméra 'fond-de-trou' pour diagnostiquer, en cours de production, les problèmes de puits de pétrole offshore comme celui-ci

L'entreprise construira un réservoir vertical qui aura 30 centimètres de diamètre et 3 mètres de hauteur, et qu'elle remplira de pétrole brut. La caméra sera descendue dans ce réservoir, où il y aura des pièces de tubage ordinaire et du matériel tubulaire (les cibles). Cette installation permettra à Proneta d'établir la bonne configuration optique et de faire des démonstrations à des parrains en perspective pour la phase suivante: la mise au point d'un appareil d'essai qui peut prendre des images dans un puits de pétrole.

Pendant la phase de perfectionnement technique, Proneta collaborera avec une entreprise qui fabrique déjà des caméras vidéo fond-de-trou classiques et, peut-être avec une grande compagnie de services de pétrole et de gaz. Une fois perfectionnée, la caméra fera l'objet d'essais dans des puits en service, pendant les périodes de reconditionnement. De grandes compagnies de pétrole ont déjà offert l'utilisation de leurs puits, et, maintenant, Proneta cherche activement des fonds pour la phase de démonstration. ■

Initiative des milieux hostiles de l'ESA

C'est parce qu'elle avait conscience qu'il fallait aider l'industrie à trouver de nouvelles solutions commerciales en s'inspirant des technologies et du savoir-faire du secteur spatial que l'ESA a lancé son Programme de transfert de technologie. Récemment, elle a concentré ses efforts sur les entreprises qui oeuvrent dans des milieux hostiles et en particulier le secteur du gaz et du pétrole offshore, dont les besoins opérationnels et technologiques s'apparentent de près à ceux du secteur spatial. En juillet 1997, l'ESA a affecté 1,8 million d'euros, répartis sur une période de deux ans, à la poursuite de l'Initiative des milieux hostiles (HEI), en collaboration avec l'organisation C-CORE du Canada.

L'HEI offre aux membres du secteur spatial l'occasion de prendre connaissance des défis actuels et futurs dans les secteurs du pétrole, de l'exploitation minière, du percement de tunnels et de l'exploitation forestière. Avec le concours de C-CORE, l'ESA a organisé une série d'ateliers, où des représentants d'entreprises qui oeuvrent dans des milieux hostiles parlent des problèmes technologiques particuliers qu'il leur faudra résoudre pour rester concurrentiels. En janvier 1999, un atelier a réuni des représentants d'entreprises européennes, canadiennes et américaines du secteur spatial et d'autres secteurs et a fait ressortir les besoins technologiques, depuis une meilleure simulation des systèmes et l'emploi plus fréquent de la téléopération jusqu'à l'amélioration des moyens utilisés pour localiser l'équipement et les produits dans des milieux inconnus et hostiles.

L'ESA espère que les entreprises qui travaillent en milieu hostile sauront utiliser les technologies de la télédétection, de la réalité virtuelle, de la manipulation des données, des matériaux et de la robotique perfectionnées dans le cadre du programme spatial européen et de ses missions, ainsi que le savoir-faire acquis à cette occasion. A l'appui des transferts potentiels, l'ESA offre de petites subventions pour la réalisation d'études de faisabilité des nouvelles solutions technologiques.

Pour de plus amples renseignements sur l'initiative HEI, contacter Bob Robinson, C-CORE, Université Memorial de Terre-Neuve, à l'adresse électronique suivante:

hei@morgan.ucs.mun.ca

Pour se procurer une brochure décrivant les besoins technologiques du secteur de l'offshore, contacter JRA Technology à l'adresse électronique suivante:
mail@jratech.co.uk

Toutes les quatre secondes, il atterrit quelque part au monde un avion comme cet Airbus, équipé de freins au carbone



Une entreprise aérospatiale française a mis au point des composites de pointe au carbone pour systèmes de freinage d'automobiles et d'avions

De meilleurs freins

Les matériaux composites faits d'une matrice de carbone renforcée par de longues fibres de carbone peuvent supporter des températures extrêmes et sont très résistants à l'usure. Les freins faits de ces composites sont plus fiables que les freins classiques, font moins vibrer le véhicule et causent moins de pollution.

La Société européenne de propulsion (SEP), qui est maintenant une division de Snecma et qui a construit les moteurs de la fusée Ariane, a commencé à mettre au point ces nouveaux matériaux de pointe pour les utiliser dans les

tuyères de moteur-fusée à poudre en 1969. Elle a créé une nouvelle entreprise pour produire des freins à disque au carbone pour avions et automobiles, et, en 1992, a acheté Carbone Industrie, entreprise française de Lyon spécialisée dans les composites au carbone. Plus de 90 pour cent de l'activité de la division Carbone Industrie de Messier-Bugatti a été liée au secteur de l'aérospatiale. Ensemble, la SEP et Messier-Bugatti ont mis au point de nouveaux freins en composites au carbone appelés Sepcarb, qui coûtent très peu à produire.

Les freins Sepcarb sont actuellement utilisés sur des avions comme Airbus, Boeing, Rafale, Falcon et Mirage. Par ailleurs, plus de 80 pour cent des voitures de formule 1 et GT ont des freins Sepcarb, parce que les freins classiques n'offrent pas les mêmes performances mécaniques et ne sont pas aussi légers que les freins en composites au carbone. Carbone Industrie est le principal fournisseur de ce type de freins pour voitures de course.

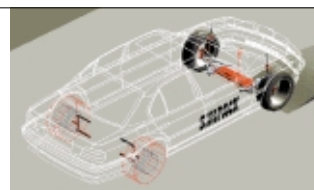
Expansion dans de nouveaux marchés

Le groupe Snecma espère trouver d'autres marchés pour ses freins en composites au carbone et recherche la clientèle de constructeurs de voitures de luxe et de sport comme Mercedes et Porsche. ■

Les voitures de luxe et de sport, comme cette Porsche, sont les nouveaux marchés visés par les fabricants de freins en composites au carbone. Porsche a récemment installé des freins au carbone de Carbone Industrie, division de Messier-Bugatti, sur un autre de ses modèles, la RUF-CTR2



Pour simuler la dynamique des véhicules, les constructeurs automobiles se servent du même logiciel que celui qu'a utilisé l'ESA dans la conception du module Columbus de la Station spatiale internationale



Des constructeurs automobiles comme BMW et Rover utilisent le logiciel SIMPACK pour produire des modèles virtuels d'automobiles

La modélisation de la station spatiale dans votre voiture

Dans des projets spatiaux comme la construction de la Station spatiale internationale (ISS), il est important que les constructeurs comprennent, avant l'assemblage du système, la façon dont les composants individuels seront assemblés et les interactions entre eux. Les mouvements et les vibrations, tant à l'intérieur de chaque module qu'entre les modules, peuvent compromettre la stabilité de l'ouvrage à long terme, et les coûts à engager pour résoudre les problèmes après le lancement et l'assemblage sont exorbitants. Par ailleurs, les mesures de prévention garantissent un milieu plus habitable et plus productif aux astronautes qui devront vivre dans la station.

Le logiciel SIMPACK est le fruit d'un projet conjoint lancé en 1987 par l'institut de recherche allemand DLR et l'entreprise allemande MAN. L'ESA l'a utilisé dans la mise au point de son module Columbus. Le logiciel simule des systèmes mécaniques comportant plus d'une pièce mobile, comme les grands ouvrages et les grandes plateformes utilisés dans le Columbus et l'ISS, ainsi que des pièces et systèmes mécaniques plus petits.

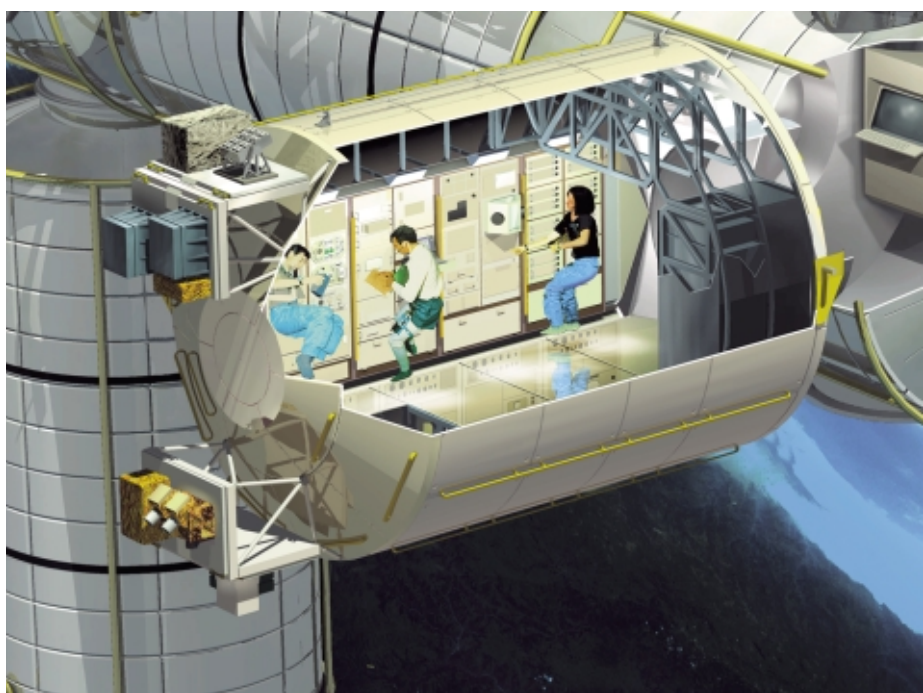
Dans sa simulation de l'ensemble du système, l'ESA a utilisé le logiciel SIMPACK pour analyser les mouvements, grands et petits, comme les modes de vibrations de l'ISS, afin que les concepteurs puissent tenir compte de ces mouvements dans la conception finale du module Columbus. Un des grands avantages du logiciel est qu'il permet d'évaluer le comportement du système à toutes les étapes de sa conception, avant la construction du prototype. Cela veut dire que la phase du perfectionnement est moins longue et coûte moins cher.

Transfert de technologie et essaimage

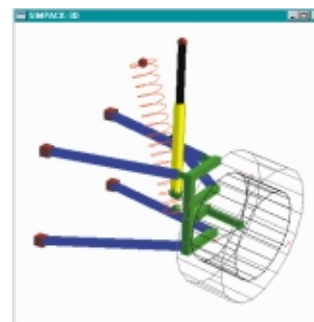
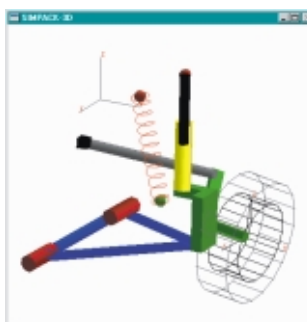
En 1993, DLR a créé une nouvelle entreprise, Ingenieurbüro für neue Technologien (Intec), pour promouvoir le logiciel SIMPACK sur d'autres marchés. Les clients en perspective comprennent tous les secteurs où la sécurité et la fiabilité d'un produit reposent sur des pièces mobiles, petites ou grandes, notamment ceux des transports routiers et ferroviaires, de la robotique, de la biomécanique, de l'impression et de l'emballage.

La campagne de promotion, y compris la présentation du logiciel dans des foires de technologie, a porté SIMPACK à l'attention de constructeurs et fournisseurs de voitures et de camions comme BMW, DaimlerChrysler, Rover, MAN, Iveco, Bosch et Wabco. Aujourd'hui, ces entreprises utilisent SIMPACK pour mettre au point des prototypes virtuels de véhicules entiers sur ordinateur, ce qui les aide à concevoir de nouveaux modèles.

Entre 1996 et 1999, Intec a octroyé plus de 100 licences commerciales du logiciel. On s'attend à ce que le marché global de la simulation progresse de 25 pour cent par an, ce qui, pour Intec, pourrait se traduire en un taux de croissance annuel de 40 pour cent. ■



SIMPACK a servi à concevoir le module Columbus de l'ESA, qui fera partie de la Station spatiale internationale



Gros plans de la modélisation SIMPACK de pneus

Les constructeurs automobiles adoptent la

technologie de la robotique spatiale

Les constructeurs automobiles utilisent aujourd'hui sur leurs chaînes de production automatisées un système conçu pour garantir la prévisibilité des mouvements de robots spatiaux

Pour s'assurer des performances des robots spatiaux pendant une mission, on leur fait subir des essais approfondis. Les robots sont d'abord programmés hors ligne avec les données de positionnement. On produit ensuite un modèle logiciel du robot et du milieu où il sera appelé à travailler et, enfin, on étalonne le modèle. Pendant cette dernière phase, on fait l'essai du robot et on le compare au modèle logiciel pour détecter toute erreur de performance, afin de corriger au besoin les données programmées.

L'ESA offre un contrat à l'entreprise belge Krypton Electronic Engineering pour collaborer avec une autre entreprise belge et une entreprise suisse à l'étude des moyens d'améliorer la précision de l'étalonnage des robots. Il s'agissait de mettre au point des systèmes de mesure et des méthodes d'essai pour quantifier la performance d'un robot et l'améliorer par le biais de l'étalonnage. L'objectif était d'éliminer tous les écarts entre les robots 'parfaits' dans le monde 'parfait' de la modélisation CAD et les robots réels dans l'atelier. Pour corriger tout écart important, il faut pouvoir prendre des mesures prises et modéliser

suffisamment bien le comportement des robots. On s'assure ainsi que les robots pourront, avec le minimum d'intervention humaine, exécuter dans l'espace les tâches qu'on aura planifiées sur terre.

Rodym, le système mis au point par ces entreprises, utilise des caméras multiples pour mesurer les mouvements de marqueurs à DEL infrarouge attachés au robot. Le système fournit les coordonnées tridimensionnelles du robot (sur les axes x , y et z) à mesure que celui-ci se déplace. Ces mesures en temps réel sont extrêmement prises et peuvent expliquer les erreurs aléatoires, les erreurs prévisibles (par exemple, les erreurs dues aux fluctuations de température) et les erreurs systématiques. On utilise un modèle mathématique mis au point spécialement à cette fin pour ajuster la programmation du robot en tenant compte des écarts entre les données réelles et les données hypothétiques utilisées pour programmer le robot au départ. Cet ajustement garantit que le robot sera toujours dans la position et l'orientation voulues pendant la mission.

Krypton a également mis au point une sonde manuelle qu'on peut utiliser en conjonction avec le système Rodym pour étalonner le positionnement d'outils manipulés par des bras robotiques. En utilisant un système semblable de caméras et de marqueurs à DEL, on peut évaluer et corriger le positionnement de la pointe de l'outil qui interagit avec d'autres objets dans le milieu de travail.

Une plus grande précision sur les chaînes de production

Les robots étalonnés à l'aide du système de positionnement et de compensation Rodym sont dix fois plus performants que les autres. Les constructeurs automobiles se sont montrés fort intéressés à adopter cette technologie pour les robots de leurs chaînes de production. Une performance plus précise des robots pourrait accélérer la production et améliorer la qualité. Très récemment, BMW a décidé d'incorporer le système Rodym dans toutes ses chaînes de production. Cette année, Krypton s'attend à ce que les ventes de Rodym dans ce secteur atteignent 2,5 millions d'euros. ■

Les chaînes de production qui utilisent des robots, comme celles de la construction automobile, représentent un marché prometteur pour le système Rodym



Dans le cadre d'un contrat avec l'Agence spatiale canadienne (CSA), l'entreprise canadienne Kinetic Sciences Inc. (KSI) a mis au point un capteur de proximité qui peut fournir à la fois des caractéristiques d'image et des données de distance très près de la surface du capteur. Comme le capteur fonctionne sans lentille classique, les risques de distorsion de l'image sont réduits.

Cette technologie repose sur un concept formulé dans le cadre de recherches sur les capteurs tactiles et de proximité financées par la CSA pour le Système d'entretien mobile (SEM), contribution canadienne à la Station spatiale internationale. Ce système utilise la technologie de la robotique pour assembler et transporter les charges utiles et les maintenir en orbite. Un composant-clé du SEM est un robot à deux bras qui a les moyens tactiles d'effectuer les tâches d'entretien et de réparation normalement exécutées par les astronautes dans des sorties dans l'espace. Lors de discussions des capteurs dont avait besoin le SEM et plus particulièrement ce



Un capteur de robot spatial déjoue les pirates informatiques

robot, l'équipe de projet a constaté qu'il n'existait aucun réseau de capteurs (série de capteurs agissant ensemble) qui puisse être utilisé très près de l'extrémité des doigts du robot.

Dans de nombreux systèmes robotiques, il est important d'obtenir des mesures de proximité (qui indiquent la distance entre deux objets) des caractéristiques d'un objet à mesure que s'en rapproche l'extrémité des doigts ou des pinces du robot. Dans ce genre de cas, le captage visuel normal tend à être obscurci, et cela peut empêcher le robot de bien saisir des objets ou exécuter des tâches. Ce qu'il fallait, et ce que KSI a mis au point, c'était un capteur de proximité quasi-tactile capable de fournir des données détaillées sur la distance et l'orientation d'un objet par rapport à un autre, à une distance de l'extrémité des doigts du robot variant entre un centimètre et un millimètre.

Du bout des doigts de robot aux empreintes digitales

KSI a transformé son capteur de proximité en un produit appelé Vision Skin™, capteur biométrique d'empreintes digitales humaines, qui a un énorme marché potentiel dans les domaines de la police et de la sécurité. En mai 1997, l'entreprise a signé une licence pour la commercialisation d'identificateurs d'empreintes digitales en Asie (à l'exception du Japon). Aux termes de cette licence, KSI recevra des fonds de développement de 365 000 euros et les redevances sur les ventes à venir.

KSI recherche actuellement des capitaux de risque pour lancer la vente du lecteur d'empreintes digitales en Amérique du Nord. En plus de la police et du secteur de la lutte contre le crime, le secteur de l'informatique est un important marché visé par l'entreprise. Au lieu d'utiliser un mot de passe pour avoir accès à un ordinateur, il serait possible de faire identifier une empreinte digitale par un lecteur. Cela ajouterait de beaucoup à la sécurité de l'ordinateur et rendrait l'accès par les pirates plus difficile. ■

Un capteur mis au point pour aider les robots à établir la proximité d'un objet sert maintenant à reconnaître les empreintes digitales

Lecteur d'empreintes digitales

La technologie des capteurs mise au point pour le Système d'entretien mobile sert maintenant à identifier les empreintes digitales à des fins de sécurité, notamment pour remplacer les mots de passe en informatique





L'entreprise espagnole qui a contribué à la conception de la tenue spatiale européenne mise sur ses connaissances pour mettre au point des combinaisons de protection climatisées destinées à être utilisées sur terre

La technologie de la combinaison spatiale sur la Terre

Dans le cadre d'un projet EU-Eureka, l'entreprise Zodiac a collaboré avec une autre petite entreprise espagnole, une petite entreprise belge et une université belge à la mise au point d'une combinaison de protection qui empêchera la personne qui la porte de trop s'échauffer. Elles ont, pour cela, eu recours à leurs compétences dans les domaines de la conception de tenues spatiales, de l'électronique spatiale et des transferts thermiques chez l'homme, compétences qui, dans de nombreux cas, avaient été acquises lors de la mise au point d'une tenue spatiale européenne pour l'ESA.

La tenue de protection est un système modulaire avec, à la base, un sous-vêtement qui peut être porté seul ou avec le reste de la tenue. Ce sous-vêtement tire parti du mécanisme de refroidissement naturel du corps, c'est-à-dire de l'évaporation de la sueur sur la peau, en utilisant un système qui souffle de l'air refroidi sur la peau. Le système dans le sous-vêtement est léger et à base d'éléments Peletier, qui n'ont aucune pièce mobile. Il est alimenté par bloc-pile rechargeable, ce qui donne à l'utilisateur une grande autonomie de mouvement. Zodiac et ses partenaires examinent la possibilité d'utiliser d'autres sources d'énergie, par exemple des panneaux solaires.

Les travaux réalisés sur la combinaison spatiale européenne ont permis à Zodiac de concevoir une tenue de protection à usage terrestre. Les policiers pourront porter le sous-vêtement 'climatisé' sous leur gilet pare-balles

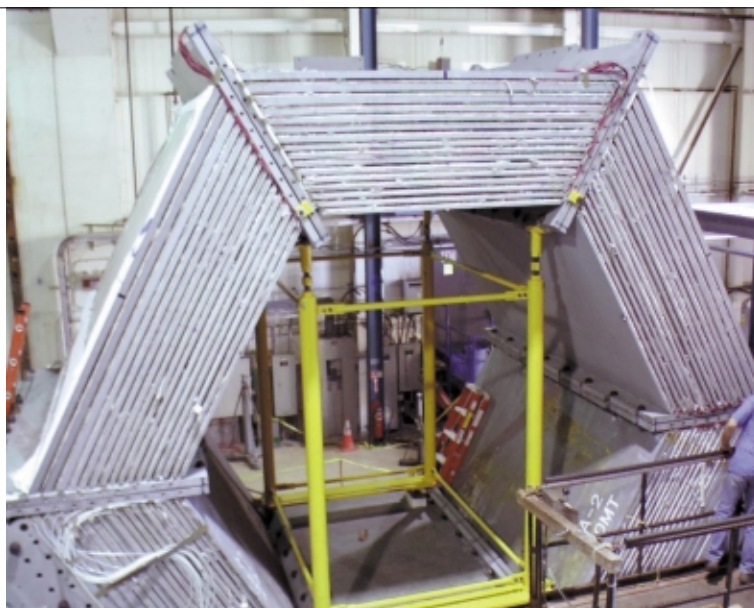


Combinaison spatiale européenne

Le sous-vêtement peut être utilisé seul là où l'utilisateur, sans travailler dans des conditions dangereuses, peut être exposé à des températures élevées. Les boulangers et les motocyclistes pourraient trouver avantageux de le porter. La police de Londres examine son emploi possible sous les gilets pare-balles que portent les policiers.

Pour les travailleurs qu'il faut protéger des risques que présente leur milieu de travail, par exemple les pompiers, les éboueurs de déchets toxiques et biologiques et les spécialistes de la fumigation, les chercheurs ont mis au point un modèle de pointe de la tenue de protection. Le vêtement enveloppe l'ensemble du corps, et le refroidissement est basé sur l'un de deux systèmes. Le premier fait circuler à l'intérieur du vêtement de l'air refroidi par un échangeur thermique dans le système de refroidissement. Le deuxième pompe un liquide réfrigérant dans des tubes à l'intérieur du vêtement et fait aussi circuler un petit débit d'air. Zodiac a également mis au point des systèmes de respiration qui peuvent utiliser l'air extérieur ou faire partie d'une unité autonome à l'intérieur de la tenue. Ici encore, tous les systèmes sont alimentés par bloc-pile, éliminant la nécessité d'une source de courant externe et l'emploi d'un cordon ombilical qui limiterait la liberté de mouvement. ■





Les puces RADFET contrôlent le rayonnement auquel est exposé l'équipement dans les installations d'essai BaBar

SLAC

Une puce détectrice de rayonnement contribue à la sécurité du public

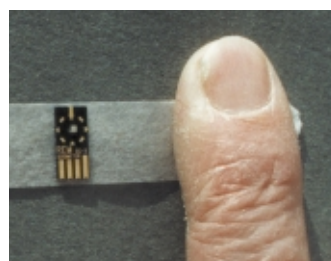
Le dosimètre RADFET, décrit dans l'article 'Des moniteurs de rayonnement spatial aident à traiter les maladies cardiaques', a des avantages manifestes à offrir au secteur médical, vu ses dimensions réduites et son faible coût. D'autres avantages que son emploi dans l'espace a mis en évidence et qui pourraient être transférés à des applications terrestres comprennent sa faible consommation de courant et sa transmission commode de données.

Les applications qui exploitent les avantages combinés du RADFET pourraient comprendre la distribution de milliers de dosimètres en cas d'explosion ou de catastrophe nucléaire. Les organismes de défense civile ou de gestion des opérations en cas de catastrophe pourraient alors surveiller les niveaux résiduels de rayonnement et tenir le public au courant de la sécurité de la région touchée. Dans le secteur industriel, le RADFET pourrait avertir à temps des rejets accidentels, là où des matériaux radioactifs sont utilisés dans les travaux courants. Il est également possible d'utiliser le dosimètre pour certifier les produits alimentaires qui ont été stérilisés par irradiation.

Le dispositif a également été utilisé dans des recherches sur le 'big bang' au Stanford Linear Accelerator Center (SLAC), centre américain de recherche sur la physique des particules, en Californie. Dans une nouvelle expérience appelée BaBar, le SLAC fait entrer en collision des électrons et des positrons (électrons positifs) pour produire des particules subatomiques appelées mésons B. Ces particules sont détectées par des réseaux de cristaux de scintillation disposés dans un détecteur en forme de baril. Le milieu expérimental, quant à lui, s'apparente à l'espace, car il s'y trouve un rayonnement ambiant (provenant des collisions de particules), qu'il n'est pas possible d'éviter, et les instruments extrêmement

Le dosimètre de rayonnement spatial qui a trouvé de nouvelles applications en médecine peut également servir à vérifier les niveaux de rayonnement dans les milieux délicats

Puce RADFET
Grâce aux petites dimensions de la puce, à sa faible consommation de courant et à la commodité avec laquelle elle permet de transmettre les données, des réseaux de RADFET représentent une solution fiable et peu coûteuse au monitoring du rayonnement sur la Terre



REM

sophistiqués doivent pouvoir fonctionner pendant de nombreuses années. Les détecteurs à cristaux sont particulièrement sensibles au rayonnement. L'Université Brunel, près de Londres, qui participe aux expériences, a reçu des fonds du Particle Physics and Astronomy Research Council du Royaume-Uni pour installer un réseau de 130 RADFET dans la salle souterraine des expériences, pour détecter les problèmes de rayonnement et avertir des risques d'endommagement des instruments. ■

Les textiles

Un textile ininflammable mis au point pour les fusées Ariane est utilisé dans des applications terrestres de prévention incendie et de protection thermique



Un textile spatial prévient les dégâts causés par les flammes et la chaleur dans l'industrie

Fondée en 1941, la Société ariégeoise de bonneterie (SAB), entreprise familiale de textile de Montferrier, en France, s'est longtemps spécialisée dans la confection, notamment dans les sous-vêtements. Mais, en 1990, l'Aérospatiale, architecte industriel de la fusée Ariane, et la Société européenne de propulsion (SEP), qui construit les moteurs Ariane, ont contacté la SAB parce qu'elles avaient des difficultés à mettre au point des matériaux ininflammables pouvant être utilisés dans les fusées.

Avec plus de 40 ans d'expérience et de compétences dans le tricot et l'apprêtage des textiles, la SAB fut en mesure de fournir à l'Aérospatiale et à la SEP un textile très spécial, le Flamebreak. En plus d'empêcher un incendie de se propager et de consommer des matériaux, ce textile peut aussi réduire les transferts de chaleur. Ce sont là des qualités importantes pour les constructeurs de fusée, parce qu'il est nécessaire de capturer et de maintenir l'énergie de la flamme de la fusée tout en l'empêchant de brûler ou de faire fondre l'équipement qui se trouve à proximité.

Les principales fibres qui composent le textile sont à base d'oxyde de polyacrylonitrile et de polyparaphénylène-téréphthalamide (Kevlar). La SAB utilise une technique de tricot spéciale pour créer une structure qui fonctionne comme un filtre optique et bloque jusqu'à 90 pour cent du rayonnement infrarouge à des températures allant de 200 à 1150°C, laissant le côté ignifugé du textile à une température de 100°C environ. En laissant un vide d'air entre les feuilles de Flamebreak, on peut éliminer presque tout transfert thermique.

Flamebreak a été modifié légèrement pour pouvoir être utilisé par Arianespace dans les fusées Ariane. La SAB a utilisé ses connaissances de l'apprêtage pour imprégner les feuilles

de Flamebreak d'un produit spécial de silicium produit par Aérospatiale. Quatre de ces feuilles sont ensuite laminées en couches épaisses de cinq millimètres. Ce textile est utilisé dans les fusées Ariane-4 pour protéger les câbles électriques contre la flamme du moteur. Flamebreak est utilisé dans le moteur de fusée Vulcain, mis au point par la SEP pour la fusée Ariane-5, ainsi que pour la protection des installations d'essai de la SEP dans le nord de la France.

De l'espace au stade de sports

Flamebreak a trouvé de nombreuses applications terrestres, d'autant plus qu'il y a dans le secteur du textile ignifugé peu de concurrents capables de fournir un matériau de qualité comparable. Des études effectuées au Centre d'études de Cadarache (CEA) en France offrent un parfait exemple de l'emploi de ce textile. Le Centre examine depuis un certain temps le comportement du cœur d'un réacteur quand le système de refroidissement tombe en panne, comme cela s'est produit à Tchernobyl dans les années 80. Flamebreak protège les employés contre la chaleur et les gouttes de métal pendant les expériences à température très élevée (2100 à 2500°C), et des écrans transparents faits de Flamebreak permettent aux chercheurs d'observer les essais sur place.

Dans les secteurs de la métallurgie et du travail du verre, des entreprises comme Pechiney SA et Saint-Gobain SA, en France, utilisent elles aussi Flamebreak pour protéger leurs employés contre la chaleur dégagée pendant la production. Enfin, Flamebreak a été incorporé dans le revêtement des sièges d'édifices publics et de véhicules. Récemment, il a servi à recouvrir 7000 sièges dans le stade Skydome de Toronto au Canada. ■

Au Canada, Flamebreak a été utilisé comme revêtement ignifugé sur les sièges (ci-dessus, à droite) du stade Skydome de Toronto (ci-dessous)



transférables

*Un fabricant français de textiles
qui a mis au point un textile
inflammable pour les fusées Ariane
s'est joint à un consortium pour
mettre au point un textile antivol*

Un textile antivandalisme



Après le succès rencontré par ses textiles inflammables utilisés sur les fusées Ariane, la Société ariégeoise de bonneterie (SAB) a modifié sa technique de tricot pour produire un textile en fil d'acier qu'il est extrêmement difficile de couper en raison de la façon dont il est tissé. Bien qu'il n'ait pas été utilisé à l'origine dans l'espace, ce textile a attiré l'attention de Novespace, partenaire français de Spacelink, quand un article à son sujet a paru dans les journaux.

Dans le cadre de ses travaux parrainés par l'ESA, le groupe Spacelink examine les besoins technologiques d'entreprises non spatiales et publie un bulletin qui est diffusé dans le secteur spatial européen. Peu avant la parution de l'article sur le textile, Créaction, partenaire belge de Spacelink, avait indiqué dans la publication qu'il était à la recherche d'un textile antivandalisme.

Echec au vandalisme

Au début de 1996, deux petites entreprises, un constructeur français de conteneurs et de remorques rail-route, et un fabricant belge de plastiques et de matériaux composites, ont collaboré avec un grand transporteur rail-route belge à la mise au point d'un nouveau système de panneaux latéraux pour conteneurs. Les conteneurs bâchés vont souvent non accompagnés de l'expéditeur au client et restent sans surveillance pendant de longues périodes dans les baies de chargement ou les entrepôts. Les cas de vandalisme et d'attaque deviennent de plus en plus fréquents (voir encadré), et les voleurs coupent souvent la bâche au couteau pour avoir accès à la cargaison.

Le consortium contacta Créaction et proposa de procéder à une étude de faisabilité technique et de marché, qui constituerait la première phase d'un projet CRAFT auquel l'UE affecterait 600 000 euros. Les résultats de cette première phase ont indiqué que le consortium devrait se concentrer sur la mise au point d'un textile flexible et léger qui puisse être utilisé dans des panneaux coulissants antivandalisme,

plutôt que sur des panneaux rigides classiques en contreplaqué. Le consortium a cherché de nouveaux partenaires ayant des compétences dans la confection de textiles spéciaux, le revêtement des panneaux coulissants et la fabrication de systèmes d'attache et de panneaux coulissants. Avec une autre entreprise française et une entreprise hollandaise, la SAB fut invitée à se joindre au consortium après lui avoir été présentée par l'intermédiaire du groupe Spacelink.

Pendant la deuxième phase du projet CRAFT, le nouveau consortium mettra au point des panneaux coulissants pour conteneurs de transport. En plus de satisfaire aux mêmes critères standard que les bâches actuellement utilisées (utiliser les mêmes attaches, avoir le même poids, c'est-à-dire 900 à 950 grammes par mètre carré, être aussi faciles à utiliser et se prêter autant à la décoration et au nettoyage), les écrans coulissants doivent pouvoir résister aux outils tranchants utilisés par des voleurs potentiels et empêcher la cargaison de se déverser.

On estime que le marché européen actuel des conteneurs et des remorques est de 120 000 unités par an, et que les bâches de chaque unité coûtent entre 850 et 900 euros. Le consortium espère pouvoir pénétrer ce marché de 100 millions d'euros vers la fin de l'an 2000. ■

Textiles d'avant-garde

Un fabricant français a mis au point le textile Flamebreak, qui protège le câblage et l'équipement contre la chaleur dans les fusées Ariane et les moteurs de fusée Vulcain. La même entreprise met actuellement au point un écran antivandalisme pour les camions

Les camions comme celui-ci, aux côtés bâchés, seront moins vulnérables au vandalisme quand les rideaux antivol auront été installés



Vols de cargaisons en Europe

Le vol des cargaisons en Europe est un problème grave et coûteux. Les données pour 1998 indiquent que le nombre annuel de vols signalés dans des camions bâchés était de 1200 en France, 1700 en Belgique et 3000 au Royaume-Uni. On estime par ailleurs que les 15 000 camions garés dans des entrepôts du Luxembourg sont vandalisés deux fois par an.

Les assureurs de ces conteneurs et cargaisons peuvent s'attendre à avoir à verser quelque 85 millions d'euros par an pour compenser ces attaques et ces vols.



Pierre Brisson
responsable du TTP de
l'ESA

Depuis son lancement en 1991, le Programme de transfert de technologie de l'ESA s'est appuyé sur le groupe d'entreprises Spacelink. Ce consortium identifie les technologies spatiales qui pourraient avoir des applications commerciales plus vastes et aide à les transférer à des entreprises d'autres secteurs

Activités du groupe Spacelink pour le Programme de transfert de l'ESA

Spacelink, réseau de transfert de technologie établi par l'ESA, est constitué d'entreprises-clés basées en Allemagne, en France, au Royaume-Uni et en Italie. Ces entreprises oeuvrent à l'échelon national et gèrent un réseau de partenaires-correspondants dans chaque pays membre de l'ESA, et le Canada. Chaque partenaire aide Spacelink et l'ESA à promouvoir les transferts de technologie dans son propre pays et a recours aux organismes nationaux et locaux d'aide à l'entreprise pour mettre en oeuvre l'approche de commercialisation, à la fois très large et orientée, auprès des industries non spatiales.

Processus de transfert de technologie

Pour identifier les technologies qui se prêtent à un transfert à d'autres secteurs, Spacelink aide les entreprises qui perfectionnent de nouvelles technologies spatiales à effectuer des recensements analytiques des technologies. Les critères qui dictent le choix des technologies sont l'innovation, la protection de la propriété intellectuelle, la maturité, l'applicabilité et l'envergure du marché potentiel.

L'un des principaux moyens auxquels Spacelink a recours pour attirer des partenaires est le catalogue TEST (technologies spatiales européennes transférables), dont sept éditions ont déjà paru. TEST est publié en cinq langues

Les catalogues TEST servent à promouvoir les technologies spatiales et à attirer des partenaires d'autres secteurs



européennes et est diffusé à 40 000 entreprises à l'extérieur du secteur spatial.

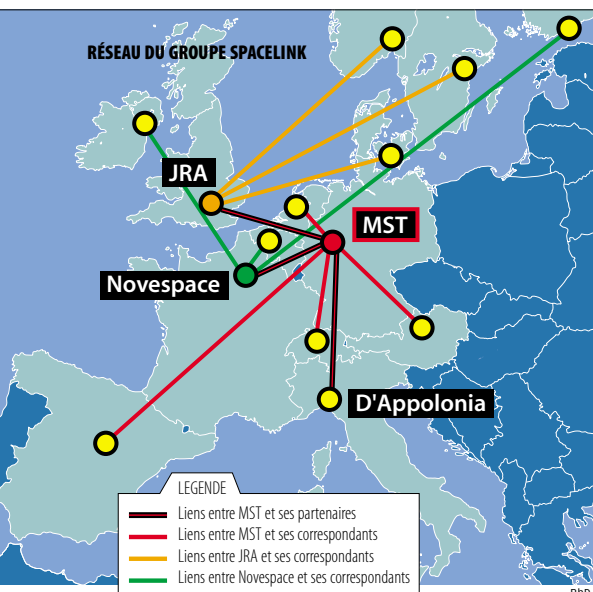
Jusqu'à la réalisation du transfert, Spacelink collabore avec les entreprises en organisant des réunions, en offrant son aide et ses conseils et, souvent, en aidant à trouver et obtenir des fonds de développement. Quand l'adaptation de technologies à des applications particulières exige des connaissances spécialisées, Spacelink met l'entreprise en question en contact avec l'Association européenne des organisations de recherche et de technologie, EARTO.

Identification des besoins du marché

Pour mieux comprendre de quelles technologies de pointe ont besoin les entreprises d'autres secteurs, Spacelink procède périodiquement à des sondages et en présente les résultats aux spécialistes de la recherche spatiale de toute l'Europe afin de stimuler encore plus la coopération et l'interaction entre les secteurs.

Les activités de Spacelink ont abouti à plus de 70 transferts de technologies spatiales. Dans de nombreux cas, il s'agissait de transferts transnationaux mettant en jeu plusieurs pays européens. Vingt autres transferts sont en cours. En outre, les nombreux contacts établis entre des entreprises spatiales et d'autres entreprises dans le cadre des initiatives de Spacelink ont souvent abouti à des collaborations fructueuses à propos de technologies et de savoir-faire externes à la recherche spatiale. Il est pour ainsi dire impossible de quantifier les avantages que l'industrie européenne et la société en général ont tirés de ces collaborations. L'expansion de l'activité commerciale qui en a découlé se chiffre déjà en centaines de millions d'euros. Les retombées sur la vie quotidienne des Européens ont, elles aussi, été considérables et font honneur à l'équipe ESA/Spacelink. ■

Pierre Brisson
Pierre Brisson



Pour de plus amples renseignements sur le catalogue de transfert de technologie de l'ESA, visitez le site Web des publications de l'ESA: <http://esapub.esrin.it>

Pour de plus amples renseignements sur le Programme de transfert de technologie de l'ESA, communiquez avec: Pierre Brisson responsable du TTP de l'ESA ESTEC

Keplerlaan 1 – PO Box 299
2200 AG Noordwijk
Pays-Bas
Téléphone: +31 71 565 4929
Télécopieur: +31 71 565 3854
E-mail: pbrisson@estec.esa.nl

ou avec l'un des partenaires Spacelink qui figurent ci-contre.

de technologie



Coordonnées des partenaires Spacelink

TechnoZ Salzburg
Schiller Strasse 30
A-5020 Salzburg
AUTRICHE
Téléphone: +43 662 13 27 30
Télécopieur: +43 662 13 27 11
E-mail: hafe@tzs.co.at

Créaction
Rue des Déportés 140
6700 Arlon
BELGIQUE
Téléphone: +32 63 23 50 50
Télécopieur: +32 63 23 50 40
E-mail: creaction@skynet.be

ADR Spacelink
2426 Georgina Drive
Suite B
Ottawa, Ontario
K2B 7M7
CANADA
Téléphone: +1 613 596 6032
Télécopieur: +1 613 596 2986
E-mail: alwend@home.com
URL: <http://adr.on.ca>

Danish Technology Transfer
Egestien 10
DK-2950 Vedbaek
DANEMARK
Téléphone: +45 45 66 12 10
Télécopieur: +45 45 66 25 10
E-mail: dtechtra@mail.teledanmark.dk

JRA Technology
CED House
Taylors Close
Marlow
Bucks SL7 1PR
GB
Téléphone: +44 (0) 1628 891 105
Télécopieur: +44 (0) 1628 890 519
Email: mail@jratech.co.uk
URL: http://www.jratech.co.uk/tech_bank

Finntech
P O Box 402
02151 Espoo
FINLANDE
Téléphone: +358 9 456 4282
Télécopieur: +358 9 456 7007
E-mail: ingman@innopoli.fi

Novespace S.A.
15 rue des Halles
F-75001
Paris
FRANCE
Téléphone: +33 1 42 33 41 41
Télécopieur: +33 1 40 26 08 60
E-mail: espace@novespace.fr

MST Aerospace GmbH
Eupener Strasse 150
D-50933 Köln
ALLEMAGNE
Téléphone: +49 221 94 98 920
Télécopieur: +49 221 49 12 443
E-mail: office@mst-aerospace.de
URL: <http://www.mst-aerospace.de>

Enterprise Ireland
Glasnevin
Dublin 9
IRLANDE
Téléphone: +353 1 8082754
Télécopieur: +353 1 8082331
E-mail: mcbreeno@forbairt.ie

D'Appollonia SpA
Via San Nazaro 19
I-16145 Genova
ITALIE
Téléphone: +39 010 36 28 148
Télécopieur: +39 010 36 21 078
E-mail: dappollonia@PN.itnet.it

AAE
Postbus 12
NL-5527 ZG Maasbommel
PAYS-BAS
<http://www.aadvise.nl>
Téléphone: +31 487 562661
Télécopieur: +31 487 562633
E-mail: aadvise@wxs.nl

SINTEF Teknologiledelse
Virksomhetsutvikling
Strindveien 4
7034 Trondheim
NORVÈGE
Téléphone: +47 73 59 4454
Télécopieur: +47 73 59 1299
E-mail: bjorn.lukkedal@indman.sintef.no

TGI
C/Velazquez, 50
E-28001 Madrid
ESPAGNE
Téléphone: +34 91 39 64.905
Télécopieur: +34 91 39 64.841
E-mail: cviguera@tgi.es

IVF
Argongatan 30
S-431 53 Mölndal
SUÈDE
Téléphone: +46 31 706 60 00
Télécopieur: +46 31 27 61 30
E-mail: max.maupoix@ivf.se

VSM
Kirchweg 4
CH-8032 Zurich
SUISSE
Téléphone: +41 1 384 48 44
Télécopieur: +41 1 384 48 48
E-mail: marianne.zuend@vsm.ch

Association européenne des organisations de recherche et de technologie (EARTO)
53, Avenue des Arts
B-1000 Brussels
BELGIQUE
Téléphone: +32 2 502 86 98
Télécopieur: +32 2 502 86 93
E-mail: info@earto.org
URL: <http://www.earto.org>



The Spacelink Group

***European Space Agency
Agence spatiale européenne***



ESA Publications Division

c/o ESTEC, PO Box 299, 2200 AG Noordwijk, The Netherlands
Tel. (31) 71 565 3400 – Fax (31) 71 565 5433