

Rapport annuel 2002

Orientations prioritaires
et
sélection de projets
réalisés en 2002



Pour
la recherche
et
les essais

Editeur

Laboratoire fédéral d'essai
des matériaux et de recherche

CH-8600 Dübendorf
CH-9014 St-Gall
CH-3602 Thoune

Rédaction

Rémy Nideröst
Martina Peter
Sabine Voser
Hans R. Moning, Dr. Hans R. Moning AG

Conception/maquette

Dominik Meyer
Anton Koster
André Niederer

Impression

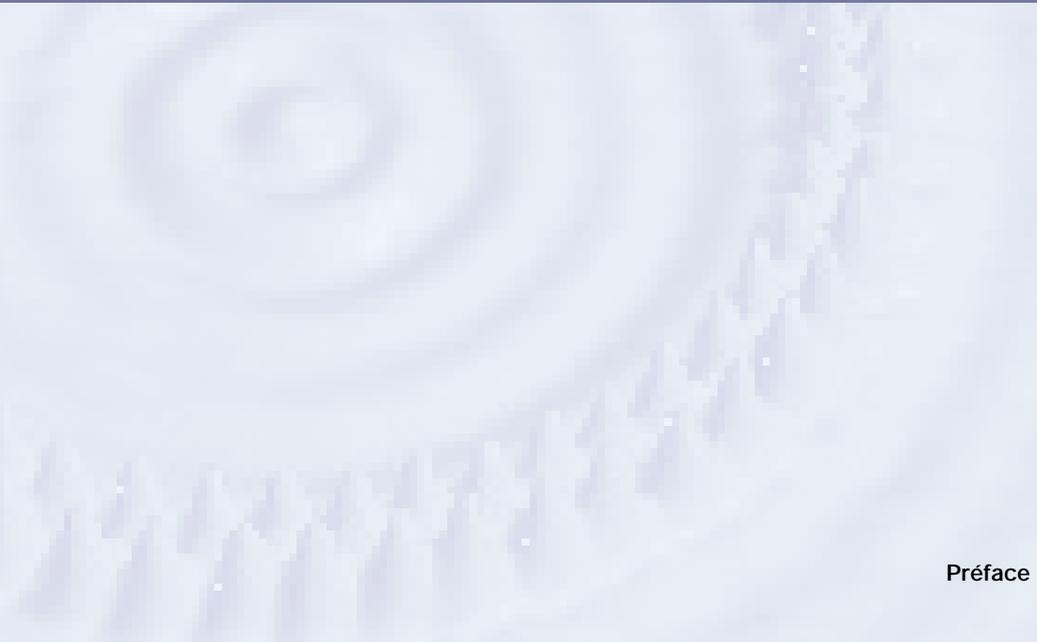
Stämpfli AG Bern

© Empa

ISSN 1660-2285 Rapp. annu.-EMPA



Empa
Rapport
annuel
2002



Préface 4

Programmes de recherche 7

Success Stories 15

Sélection de projets 25

Empa inside 41

Empa en chiffres 47

Empa organisation 53

Rapport annuel 2002

Orientations prioritaires
et
sélection de projets
réalisés en 2002

Créer du savoir et assurer sa transposition à la pratique

Qu'attendent les citoyennes et les citoyens d'un petit pays industrialisé avec un niveau de vie élevé des institutions publiques du domaine de la formation, de la recherche et de la technologie?

- Un accroissement du savoir, pour atteindre et conserver un niveau d'excellence sur le plan international,
- des innovations grâce au transfert du savoir pour la résolution de problèmes et le développement de produits durables,



Louis Schlapbach

- la formation de la prochaine génération de dirigeants et de preneurs de décisions,
- l'acquisition du savoir nécessaire pour reconnaître, réduire et combattre les risques découlant des éléments naturels, des activités humaines et des matériaux,
- l'élaboration des bases nécessaires pour assurer la durabilité dans la mobilité, la communication, la santé et l'alimentation

- la mise à disposition de leur compétence neutre pour la résolution de situations conflictuelles

La Suisse possède de nombreuses institutions publiques de petite, moyenne et grande taille dans les domaines de la formation, de la recherche et de la technologie. Ces institutions ne sont que peu réunies en «réseaux de savoir» et sont dispersées dans de nombreux départements différents de la Confédération. L'Empa assume le rôle d'une institution nationale dans le domaine de la science et de la technologie durable des matériaux. Nous utilisons les résultats de la recherche fondamentale nationale et internationale pour des dévelop-

pements innovateurs. En tant qu'institution neutre et grâce à notre compétence, à nos spécialistes expérimentés et à notre équipement moderne, nous sommes en mesure de relever des défis sur le plan national et international. En cela nous ne sommes pas uniquement les partenaires d'entreprises technologiques privées mais nous travaillons aussi avec des offices fédéraux qui ne disposent pas de leurs propres laboratoires et nous coopérons avec les hautes écoles spécialisées, les universités et les Ecoles polytechniques fédérales de Zurich et de Lausanne.

Alors que l'Empa profite de son appartenance au Domaine des EPF, le Domaine des EPF profite lui aussi de l'Empa. Le présent rapport annuel vous donne un aperçu de nos activités et des résultats obtenus dans nos travaux. Notre nouvelle orientation, avec une distribution de nos activités en 60% de recherche, 30 % d'essais de haut niveau et 10 % d'enseignement et de gestion du savoir, s'est déjà concrétisée dans les faits: Nous avons davantage de doctorants et de doctorantes, davantage de collaborateurs et collaboratrices scientifiques, davantage de publications dans des revues à comité de lecture, davantage de fonds de tiers que l'année précédente – et cela sans augmentation de notre budget. Nos «sucess stories», nos programmes prioritaires, tels que la nanotechnologie ou les

matériaux adaptatifs, ainsi que les distinctions reçues sont le reflet marquant de cette nouvelle orientation. Des présentations plus scientifiques avec des références détaillées sur l'ensemble de nos travaux sont données dans notre publication en anglais «Empa Activities 2002». Bonne lecture!

Pour la direction

Louis Schlapbach



Programmes de recherche

Nanotechnologie
Matériaux et systèmes adaptatifs
Technosphère - Atmosphère
Durabilité dans la société de l'information
Protection, confort et santé du corps humain
Ecoinvent

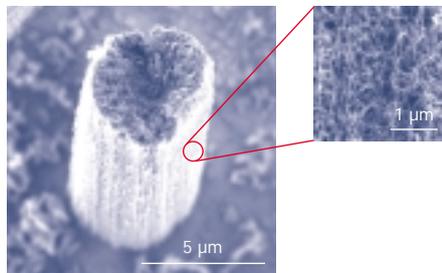
Une ouverture sur le «nanomonde»

En 2002, l'Empa s'est consacrée activement à la réalisation de son objectif ambitieux qu'est la création d'un centre national de nanotechnologie. Les premiers signes visibles sont la création d'un nouveau laboratoire de nanotechnologie à Thoune et un développement rapide de son infrastructure dans ce domaine.

La nanotechnologie, qui est souvent considérée comme la technologie du 21^e siècle, sous-entend la compétence de concevoir, développer et réaliser des objets dans le domaine du nanomètre. Cette compétence nous permettra dans un avenir proche de construire des structures complexes de nanocomposants (agrégats moléculaires/supramoléculaires) sur mesure pour créer de nouvelles fonctionnalités. En nanotechnologie, le meilleur indice de la durabilité du succès se mesure à l'engagement de l'industrie. L'utilisation des nanotubes de carbone comme source froide d'électrons semble un domaine particulièrement prometteur. Les capacités reconnues de nos chercheuses et chercheurs dans l'utilisation des émissions d'électrons de nanotubes isolés ou de films de nanotubes a déjà débouché sur des coopérations avec des entreprises renommées nationales et internationales, entre autres pour le développement de nouveaux tubes à rayons X, d'amplificateurs d'hyperfréquences et d'écrans plats.

Il en va de même pour le développement de nanocomposites, soit de matrices en maté-

riaux spéciaux renfermant des particules étrangères définies. Ces nanocomposites permettent de réaliser par exemple des revêtements superficiels fonctionnels innovateurs mais aussi des matériaux présentant des caractéristiques optiques, thermiques et mécaniques particulières soit à partir de nanopoudres ou par formation dirigée de nanoclusters par voie chimique ou physique. Deux installations pilotes ont été construites pour la production de nanopoudres à l'échelle du kg/h dont l'une utilise la synthèse de flamme (poudres oxydiques) et l'autre la synthèse plasma (poudres non oxydiques).



Micrographie d'un faisceau compact d'électrodes composé d'innombrables nanotubes.

Nano-laboratoire sur le site de Thoune

Le nouveau laboratoire «nanotech@surfaces», mettra à profit son excellente infrastructure de recherche principalement dans deux domaines:

- Electronique moléculaire (utilisation de l'auto-organisation de molécules en agrégats supramoléculaires pour le développement d'éléments électroniques)
- Technologie des nanotubes de carbone (sources froides d'électrons miniaturisées)

Des collaborations dans ces domaines ont déjà été établies avec des instituts de recherche européens renommés tels que le Max-Planck-Institut für Polymerforschung à Mainz ou le CSEM à Neuchâtel. D'une manière générale, une accentuation de la recherche fondamentale est prévue à long terme dans le cadre des «Pôles de recherche nationaux». Le second nouveau laboratoire de l'Empa, le laboratoire «Polymères fonctionnels», s'engagera lui aussi dans le domaine de la nanotechnique. Les premiers projets lancés concernent la fonctionnalisation de nanoparticules pour leur utilisation dans des matrices polymères et l'utilisation de nanoclusters pour la réalisation de papiers photographiques hautes performances.

Contact: Walter Muster

E-mail: walter.muster@empa.ch

Un potentiel dans de nombreuses disciplines

Les matériaux et les systèmes adaptatifs sont en mesure de réagir par eux-mêmes aux modifications de leur environnement à la manière des systèmes biologiques. Ce programme de recherche est destiné à promouvoir le passage à la pratique des résultats de la recherche fondamentale et à soutenir l'industrie dans la recherche appliquée.

Le développement de matériaux et de systèmes adaptatifs exige de larges connaissances dans les domaines des capteurs, des actionneurs, de la transmission des signaux, de la technique d'asservissement ainsi que des composites multifonctions et de leur caractérisation. Depuis le début de ce programme, l'Empa a acquis dans ces domaines un vaste savoir-faire qui lui permet de mener à bien des travaux de recherche sur ce thème au niveau international.

Ils bougent vraiment!

Les composites à fibres actives (CFA) formés de fibres piézo-électriques noyées dans une matrice polymère développés par l'Empa pour des applications comme actionneurs «bougent» depuis l'automne 2002 en suivant à la lettre les ordres programmés par leurs concepteurs. Il en va de même pour les systèmes de polymères électro-actifs (PEA). Ces deux systèmes présentent toutefois des différences importantes dans leurs caractéristiques: Alors que les CFA engendrent des forces importantes avec de faibles déformations, les PEA



Le pont Erasme à Rotterdam. En haut à droite: Amortisseurs visqueux passifs installés pour réduire les vibrations des câbles.

produisent de grandes déformations avec de faibles forces.

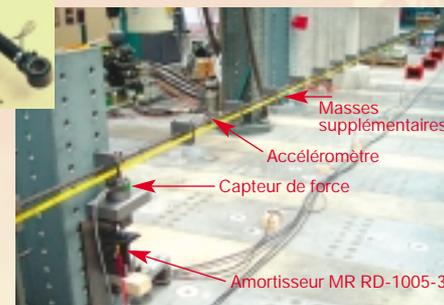
L'objectif fixé «ils doivent pouvoir bouger» a pu être atteint sans grand problème dans les deux cas.

Des applications recherchées

L'Empa a fait oeuvre de pionnier ces dernières années dans le domaine de la modélisation vibro-acoustique et de l'optimisation de l'isolation acoustique des vitrages. Elle est parvenue maintenant à modéliser les systèmes à réglage actif par la méthode des éléments finis. La concordance entre modèle calculé et modèle expérimental est impressionnante.



Amortisseur MR RD-1005-3



Amortissement adaptatif des vibrations avec amortisseurs magnétorhéologiques (amortisseurs MR) sur banc d'essai à l'Empa Dübendorf.

De plus, elle travaille aussi sur les systèmes adaptatifs en physique du bâtiment, p. ex. pour la régulation thermique et hydrique des façades ou encore dans le domaine des ouvrages d'art avec l'amortissement actif des vibrations des câbles des ponts à haubans et aussi dans le développement de matériaux (fibres piézo-électriques, composites électro-actifs).

Un triangle de recherche

Depuis plusieurs années déjà, l'Empa collabore étroitement avec le Prof. Manfred Morari de l'Institut d'automatique de l'EPF de Zurich. Une nouvelle collaboration s'est établie avec le Prof. Paolo Ermanni du Centre de technologie des structures. Ce triangle d'instituts aux compétences complémentaires s'est engagé dans la recherche sur l'«Active Control via Shunted Embedded Piezoelectric Fibres», un thème à l'avenir très prometteur.

Contact: Prof. Urs Meier

E-mail: urs.meier@empa.ch

Déceler et supprimer les sources de polluants

Les flux de matières anthropogènes dans l'atmosphère conduisent à la pollution des couches basses de cette dernière ainsi qu'à son enrichissement en gaz à effet de serre. De nombreux polluants parviennent dans le sol et les eaux après leur transport dans l'atmosphère. Avec son programme, l'Empa recherche à caractériser les flux de polluants à l'interface entre la technosphère et l'atmosphère en vue de leur réduction.

Comment les COP parviennent-ils dans les filets de perche ?

Les composés organiques persistants (COP) sont des composés toxiques émis par les matériaux et les processus techniques. Comme ils ne se dégradent qu'extrêmement difficilement dans la nature, ils sont transportés dans l'atmosphère sur de très longues distances et on décèle leur présence même dans l'Antarctique. Du fait de leur liposolubilité, ils s'enrichissent dans la chaîne alimentaire. Une étude sur l'enrichissement des diphényléthers polybromés (utilisés comme agents

ignifugeants) dans les perches des lacs suisses a montré que les concentrations sont d'autant plus élevées que la surface du lac est grande et son volume faible. Ceci indique que l'apport dans les eaux se produit à travers l'atmosphère.

Moteurs à méthane pour des gaz d'échappement «propres»

Le remplacement de l'essence et du carburant diesel par des carburants à base de méthane permettrait de diminuer sensiblement les émissions de CO₂ du trafic routier. Dans son projet «Clean Engine Vehicle», l'Empa a développé en collaboration avec l'EPFZ un moteur à méthane pour voitures de tourisme. Il est apparu que sur le moteur à méthane – au contraire du moteur à essence – il est possible d'associer un taux de compression élevé à une suralimentation par turbocompresseur. En association avec une régulation du moteur techniquement sophistiquée et un catalyseur proche du moteur, les émissions des gaz d'échappement deviennent proches de zéro. Avec ce projet, les conditions



Le Clean Engine Vehicle sur banc d'essai.

pour un passage des carburants conventionnels au méthane deviennent réalité.

Mesures des polluants par satellite

La mesure des polluants par satellite, associée aux mesures à proximité du sol, permet d'obtenir en recourant à des modèles météorologiques une image détaillée des émissions, du transport et de la dispersion des émissions de polluants. L'agence spatiale européenne (ESA) a développé des applications qui permettent d'utiliser les données recueillies par satellites pour la protection de l'air. L'Empa a utilisé les données de mesures troposphériques préparées par l'Université de Brème dans un projet qui a permis de démontrer que le transport transfrontalier joue un rôle tout aussi important que les sources régionales suisses dans l'apparition des situations de niveau de pollution élevé sur les stations de mesure de haute montagne et de montagne.



Le satellite Envisat. (photo ESA)

Contact: Dr Peter Hofer

E-mail: peter.hofer@empa.ch

L'ICT au service de l'environnement

Le programme de recherche «Durabilité dans la société de l'information» (SIS, Sustainability in the Information Society) est consacré à l'étude des chances et des risques de la technologie de l'information et de la communication (ICT) pour le développement durable.

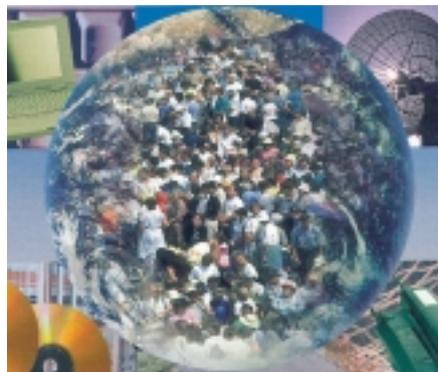
L'Empa a réalisé pour le Centre d'évaluation des choix technologiques le projet «Principe de la prévention dans la société de l'information – risques de l'omniprésence de l'informatique pour la santé et l'environnement». Les résultats sont formulés sous forme de propositions de mesures visant à minimiser les risques de l'invasion imperceptible de la vie quotidienne par les techniques informatiques. Dans le domaine de l'application de l'ICT à la gestion des matières premières renouvelables, l'Empa a créé un laboratoire des systèmes d'information géographique (GIS) et de détection à distance. Ce laboratoire dispose de matériels et de logiciels et surtout du savoir-faire de ses collaborateurs pour la réalisation de projets demandant une évaluation de données recueillies par satellite et de visualisation de données environnementales.

Le projet CTI «Solutions informatiques pour l'industrie des transports» a développé un outil informatique pour l'optimisation des transports routiers qui, grâce à une évaluation optimale des informations disponibles, permet d'éviter largement les voyages à vide. Ce

projet a été réalisé avec les Hautes écoles spécialisées de Soleure, de la Suisse centrale et des deux-Bâles.

Perfectionnement de méthodes

Une nouvelle approche a été développée pour la détermination d'unités fonctionnelles dans l'analyse du cycle de vie des produits. Cette méthode est utilisée dans une thèse de doctorat commune avec l'EPF de Lausanne



L'ICT favorise la globalisation et crée ainsi aussi bien des chances que des risques pour un développement durable.

consacrée à la minimisation des nuisances pour l'environnement provoquées par l'utilisation et l'élimination des téléphones mobiles.

Création d'une banque de données

Le projet «Ecoinvent» consacré à la création d'une banque de données globale suisse pour les inventaires écologiques a atteint une étape décisive l'année écoulée avec son premier test d'exploitation. Sa mise en exploitation est prévue dans le courant de l'année 2003 (voir page 13).

Autres activités

Dans le cadre du 6e programme cadre de recherche de l'UE, l'Empa a lancé la création d'un «réseau d'excellence» en vue de structurer et de coordonner la recherche européenne en matière d'informatique environnementale. De plus elle collabore aussi par l'intermédiaire du Groupe de travail ICT de l'Académie suisse des sciences techniques aux préparatifs du Sommet mondial sur la société de l'information (SMSI) de l'ONU qui aura lieu en décembre 2003 à Genève.

Les thèmes du programme SIS ont aussi fait leur entrée dans l'enseignement universitaire. Des cours interdisciplinaires dans ce domaine sont offerts à l'Université de Bâle (Homme, société et environnement) et à la Webster University à Genève.

Contact: Prof. Dr Lorenz Hilty
E-mail: lorenz.hilty@empa.ch

L'homme au centre des préoccupations

La protection des personnes, l'amélioration et la conservation de la santé et l'accroissement des capacités fonctionnelles sont des facteurs qui prennent une importance croissante du fait de l'augmentation de l'espérance de vie dans les pays industrialisés.

Quels sont les dangers d'un vêtement qui s'enflamme?

Le projet «BREMA» a apporté une réponse à cette question en étudiant sur un mannequin équipé de 120 capteurs thermiques quel est le transfert de chaleur à la peau décisif pour l'apparition de brûlures lors de la combustion d'un vêtement. Différents paramètres tels que l'humidité ambiante, le traitement préalable et le vieillissement du matériau ont été pris en compte dans cette étude. Les résultats montrent que les tissus très minces en cellulose qui brûlent extrêmement rapidement peuvent eux aussi tout de même provoquer des brûlures.

Une possibilité de réduire l'inflammabilité des tissus réside dans le développement de nouvelles fibres ou dans la modification des fibres conventionnelles. L'Empa a construit en collaboration avec le centre de recherche de Karlsruhe une installation permettant une telle modification par application d'un revêtement superficiel. Cette installation a déjà permis de produire à l'échelle du laboratoire des fils présentant une conductibilité électrique élevée et



Mesure des effets de l'inflammation des vêtements par simulation sur le mannequin «Henry». Sur la photo, Henry subit un redoutable «surface flash».

une bonne résistance mécanique pour des applications sur des textiles antibactériels et antistatiques.

De nouveaux matériaux médicaux

Les polymères produits par synthèse bactérienne présentent une compatibilité biologique qui les prédestine pour des usages médicaux (voir aussi page 32). D'autres travaux sont consacrés au comportement de cellules vivantes (division, multiplication, spécialisation, vitalité) à l'interface avec des matériaux. Les résultats obtenus serviront au développement

de matériaux favorisant la reconstruction des tissus malades ou blessés.

Sécurité et confort dans la vie quotidienne

En Suisse, le nombre de décès provoqués par des chutes est supérieur à celui des décès dus aux accidents de la route. C'est la raison pour laquelle l'Empa effectue des travaux de recherche sur les risques de chute que présentent les différents revêtements de sol. Pour cela, elle étudie l'influence des interfaces entre revêtements de sol et chaussures et de la microstructure superficielle des revêtements de sol sur l'adhérence lors de la marche. Elle pratique ainsi une prévention active contre les accidents en aidant l'industrie à améliorer ses produits.

Dormir en plein air ou sous la tente nous rapproche de la nature. Les sacs de couchage ne procurent toutefois qu'une isolation vers le haut et sur les côtés. Afin d'améliorer leur isolation contre le sol, l'Empa a développé avec un partenaire industriel une natte spéciale. Avec son remplissage de duvet et d'air qui demeure constant, cette natte réduit de manière importante les déperditions de chaleur par conductivité et par convection et procure ainsi une protection parfaite contre les températures très basses tout en restant très légère. Ce développement breveté s'est vu décerner le prix «Outdoor-Award 2002».

Contact: Markus Rüedi

E-mail: markus.ruedi@empa.ch

Des données de base plus sûres pour améliorer les écobilans

Ces dernières années en Suisse des écobilans ont été dressés dans divers domaines. Toutefois les données de base et les modalités de calcul de ces écobilans diffèrent souvent entre elles. Afin de disposer de données de base standardisées et actuelles, des instituts du Domaine des EPF et des offices fédéraux se sont associés sous la direction de l'Empa pour créer le Centre suisse des écobilans.

La première phase du projet «Ecoinvent» est consacrée à la révision totale, à l'unification de la documentation et – au besoin – à l'adaptation des écobilans dans les domaines de l'énergie, des transports, de l'élimination des déchets, de la construction, de la chimie, des détergents, du papier et de l'agriculture. A partir de l'automne 2003, la vaste banque de données écologiques harmonisées d'«Ecoinvent» sera mise à disposition des utilisateurs suisses et étrangers.

En 1996, l'EPFZ et l'Institut Paul Scherrer (PSI) ont dressé des écobilans des systèmes

énergétiques. Ces écobilans fournissent aussi des indications sur les transports, l'élimination des déchets et sur la consommation de matériaux. L'Empa a effectué de nombreuses études sur les écobilans des matériaux, des éléments et des types de construction ainsi que sur des biens de consommation tels que les emballages, les produits de lessive, les produits chimiques, les papiers d'imprimerie et les technologies de communication. La Station fédérale de recherche en agroécologie et agriculture a établi pour sa part des écobilans dans le secteur agricole.

C'est afin de réunir et d'unifier ces différentes banques de données que le projet «Ecoinvent» a été lancé avec le soutien de divers offices fédéraux. Le but de ce programme est de créer une banque de données pour la saisie, la gestion et le calcul des écobilans sur des bases unifiées.

«Ecoinvent» fournit les données environnementales nécessaires p. ex. pour l'évaluation globale des investissements.



Swiss Centre for Life Cycle Inventories

Assurance de la qualité des données

Des données consistantes, harmonisées et actuelles facilitent les études d'écobilans et augmentent leur crédibilité et leur acceptance. L'assurance de la qualité des données et un accès convivial à la banque de données «Ecoinvent» créent les conditions pour faire des écobilans un instrument d'analyse fiable pour la promotion d'une politique intégrée de produit (PIP)

«Ecoinvent» mettra à la disposition du public une vaste banque de données environnementales de qualité assurée par des procédures internes et externes. Et ce n'est pas par hasard qu'à l'étranger aussi on s'intéresse vivement au projet «Ecoinvent» car tant en Suisse que dans l'UE, on assiste à un accroissement des efforts en faveur d'une politique intégrée de produit visant à augmenter le produit national brut tout en réduisant simultanément la pollution de l'environnement. Pour assurer le succès de ces efforts, il est nécessaire de disposer de données de base actuelles et fiables – telles que celles de la banque de données «Ecoinvent».

Sous www.ecoinvent.ch quelques exemples de fichiers de données donnent une idée de l'ampleur considérable de cette banque de données.

Contact: Paul W. Gilgen

E-mail: paul.gilgen@empa.ch



Success Stories

Acoustique de l'environnement
Les PRC dans le génie civil et dans d'autres domaines
Céramiques techniques
Académie Empa

Des faits au lieu d'un tapage sur le bruit

Fondements et technologies de la lutte contre le bruit

Le bruit est partout présent dans notre société. Il nuit à la qualité de la vie et peut même rendre malade. La tolérance, ou plutôt l'intolérance au bruit étant marquée par des facteurs subjectifs, la discussion sur le bruit manque souvent d'objectivité – cela surtout lorsque le bruit devient un fait politique. Un débat objectif débouchant sur de véritables solutions doit reposer sur des faits eux aussi objectifs. C'est pour créer ces conditions que l'Empa s'engage avec un succès confirmé dans différents projets touchant l'acoustique de l'environnement.

L'Empa occupe dans certains domaines de l'acoustique une position de pointe en Suisse dans la recherche, les essais et la diffusion du savoir. De plus, elle est l'expert technique en matière de lutte contre le bruit de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) et de l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC).

Objectivisation de la discussion sur le bruit des avions

Selon les estimations de l'OFEFP, en Suisse environ 500'000 personnes subissent une exposition au bruit du trafic automobile dépassant la valeur limite d'immission (VLI). Toujours selon ces estimations, le trafic ferroviaire provoque pour 265'000 personnes des immissions de bruit supérieures à la valeur limite et l'aviation militaire et civile pour plus de 100'000 personnes. Bien qu'il n'arrive qu'au troisième rang, le bruit des avions fait sans



cesse la manchette des journaux. La grande dispersion spatiale du bruit des avions rend toute mesure fiable impossible. C'est pourquoi l'Ordonnance sur la protection contre le bruit prescrit que ses immissions doivent se déterminer par le calcul. L'Empa a développé à cet effet un programme détaillé et fiable, dénommé «FLULA 2», considéré comme un modèle du genre dans les milieux internationaux de l'acoustique. Ce programme de calcul repose sur des mesures effectuées à l'aéroport de Kloten sur des avions de tous les types courants. Cette banque de données unique au monde permet d'établir des pronostics de bruit réalistes et détaillés en n'importe quel lieu d'exposition. Par sa compétence l'Empa a gagné la confiance de la population et contribue ainsi à rendre au débat son objectivité. La détermination des effets du bruit des avions dans les régions des aéroports de Zurich, Genève et Bâle est aussi considérée comme exemplaire à l'étranger. Et c'est certainement pour cela que l'Empa s'est vu confier une expertise sur le monitoring du bruit à l'aéroport de Francfort. Plusieurs exploitants d'aéroports – tel que

Unique à Kloten – percevant des taxes d’atterrissage en fonction du bruit, les mesures de bruit fondées contribuent à moyen et long terme à la mise en service d’avion moins bruyants.

Propagation du bruit du trafic routier et ferroviaire

L’Empa a aussi mis à profit son savoir-faire dans un projet consacré à l’évaluation du bruit du trafic routier. Des études révèlent une tendance inquiétante: Avec l’augmentation de la mise en circulation de véhicules de plus en plus lourds équipés de pneumatiques de plus en plus larges, le bruit rayonné par les véhicules est en augmentation constante. L’analyse de ce phénomène est le premier but de ce projet aussi consacré à l’étude des caractéristiques de propagation du bruit du trafic routier. La propagation du bruit à longue distance est influencée par la distribution des températures de l’air et par le vent. Selon les cas, dans certaines situations météorologiques, le bruit peut même passer par-dessus des obstacles. L’Empa a développé des méthodes sophistiquées qui permettent de déterminer approximativement l’effet des différentes situations météorologiques sur la propagation du bruit du trafic routier et du trafic ferroviaire.

Succès dans le transfert de technologie

Une stratégie à long terme de lutte contre le bruit doit être centrée sur les mesures à la source. Le cas idéal est l’absence de produc-



Mesure des caractéristiques directionnelles du bruit d’une alouette III sur l’aérodrome de Turtemagne.



tion de bruit. L’Empa a enregistré un succès pour le bruit des pompes à chaleur. Dans un projet mené en collaboration avec le Groupement promotionnel suisse pour la pompe à chaleur (GSP) et Sulzer Innotec, elle est parvenue à sensibiliser l’industrie à ce problème et on trouve aujourd’hui sur le marché des pompes à chaleur moins bruyantes. Si l’on considère l’objectif de «Energie Suisse» de 120’000 pompes à chaleurs installées d’ici 2010, c’est là un progrès non négligeable.

Combattre le bruit par le bruit

L’Empa s’engage aussi dans le développement d’éléments de construction et de systèmes actifs pour la suppression du bruit et des vibrations et elle a réalisé en 1999 une fenêtre active assurant une isolation phonique élevée. Le principe utilisé ici sur un vitrage est

transposable à d’autres structures à double paroi telles que p.ex. les cloisons des immeubles ou les cabines d’avions. La transposition à des produits commercialisables demandera cependant encore des efforts de développement. En outre l’Empa se consacrera à l’avenir à l’analyse du bruit aux interfaces pour développer par la suite au niveau microscopique des matériaux qui préviennent le bruit à sa naissance.

Contact: Kurt Eggenschwiler

E-mail: kurt.eggenschwiler@empa.ch

Sport de très haut niveau et ingénierie

Un «maillon» high-tech issu d'un lien interdisciplinaire

Alors qu'Alinghi était à la lutte avec le voilier néo-zélandais dans l'America's Cup, certains membres de son équipe étaient en contact régulier avec des spécialistes l'Empa, tout comme d'ailleurs déjà durant la Louis Vuitton's Cup. Dans ce duel chargé de prestige, seule une équipe décidée à aller à la limite dans tous les domaines avait des chances de victoire. Cela n'était pas seulement valable pour le skipper et ses équipiers mais aussi pour le concepteur du bateau et tous les participants à sa construction.

Le gréement des voiliers de course modernes occupe moins la vedette que la forme de leur coque ou de leur quille. L'optimisation de ses composants, en particuliers des bastaques, pour leur conférer une résistance à la traction et une sécurité à la rupture maximale avec un minimum de masse est au moins aussi décisif pour la victoire ou la défaite. Les bastaques sont des éléments de traction servant à tendre le mât d'un voilier et celles d'Alinghi ont une longueur qui atteint jusqu'à 33 mètres. Confrontés à de lourds problèmes dans leur construction, les responsables du gréement d'Alinghi se sont adressés à l'Empa.

Une technologie prédestinée au transfert

L'Empa s'occupe depuis longtemps déjà de l'utilisation d'éléments de traction en forme de boucle fermée en polymères renforcés de fibres de carbone (PRC) pour le renforcement des structures porteuses et des ouvrages de construction. La force est généralement transmise à l'élément de traction au moyen d'un axe rond. Initialement les éléments utilisés à ces fins étaient formés de plusieurs couches de PRC collées entre elles pour réaliser un stratifié compact. Des essais ont montré que ce mode de construction ne permettait de loin pas de tirer tout le profit de la résistance à la traction théorique du matériau. Sur la base

de calculs et d'analyses, l'Empa a développé et breveté des éléments de traction en forme de boucle fermée formés de plusieurs couches de PRC très minces non adhérentes entre elles. Sous charge, ces différentes couches peuvent glisser les unes sur les autres, réduisant ainsi les contraintes internes. Ce mode de construction, qui permet maintenant de mieux utiliser la résistance intrinsèque de ce matériau, a permis d'augmenter considérablement la résistance à la traction de ces éléments.

Le trimaran «TechnoMarine» est équipé d'éléments de traction CARBO-LINK.



Un développement jusqu'à la limite du possible

Les bastaques développées pour Alinghi reposent sur le même principe mais n'utilisent toutefois pas du PRC mais des fibres hautes performances en PBO (polyphénylène-benzobisoxazole) qui se distinguent par une résistance à la traction extraordinaire. Les spécialistes de l'Empa eux aussi ont poursuivi en permanence leurs travaux de développement en contact étroit avec l'équipe d'Alinghi. Ils ont entre autres engagé une lutte sans merci contre les vibrations des bastaques qui se produisaient aux vitesses élevées en envisageant par exemple la pose d'un carénage aérodynamique. La fascination exercée par un travail en première ligne dans le développement de la technologie des matériaux et par le passage immédiat des idées à l'épreuve de la pratique a motivé tous les participants à fournir des performances maximales.

L'entrée de l'Empa dans l'univers de la voile de haute compétition

L'idée de l'utilisation dans la construction de gréements de cette technologie et de l'expérience acquise dans ses applications est née de contacts personnels, comme c'est souvent le cas dans les transferts de technologie. C'est ainsi que l'Empa s'est lancée dans le développement d'éléments de gréement pour les voiliers de haute compétition pour le projet Alinghi. Un autre défi a été relevé avec la construction d'éléments de gréement en PRC pour le trimaran TechnoMarine avec lequel le skipper suisse Stève Ravussin a participé à la Route du Rhum. En principe, les bastaques à haute résistance conçues par l'Empa sont de longues boucles de traction minces et très légères formées de lamelles de PRC non adhérentes entre elles.



*Maillon high-tech
en PRC.*

Un spin-off pour l'exploitation commerciale

L'engagement de l'Empa dans la voile de haute compétition a débouché sur le spin-off CARBO-LINK Tendon Systems Sarl (www.carbo-link.com) créé par une équipe de spécialistes issus de l'Empa. Cette entreprise, opérative à partir du mois de mai 2003, assurera l'exploitation commerciale de ce savoir-faire technique breveté dans le domaine des éléments de traction en matériaux renforcés de fibres dans le génie civil, la construction de voiliers de compétition et d'autres domaines encore.

Contact: Dr Andreas Winistörfer
E-mail: andreas.winistoerfer@empa.ch

La céramique: un matériau ancien et d'avenir

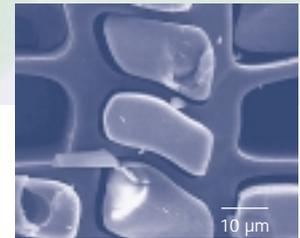
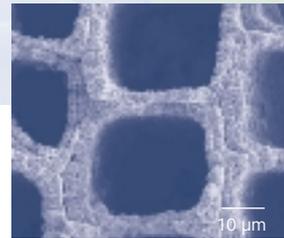
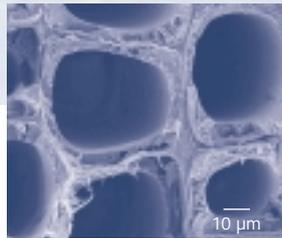
Succès dans le développement des céramiques et de leurs procédés de fabrication

Les céramiques comptent parmi les matériaux les plus anciens. Leur utilisation à des fins techniques ne fait elle que commencer. Dans de nombreux domaines où l'on travaille à la résolution des problèmes de notre temps, les chercheurs et les ingénieurs ont recours aux céramiques techniques modernes. Ainsi, entre autres, lorsqu'il s'agit de produire de l'énergie «propre», de réduire les dommages provoqués par l'usure ou encore pour la production d'eau potable.

Les avantages des céramiques résident dans leur dureté extraordinaire, leur résistance à l'usure et à la corrosion, leur faible poids, leur biocompatibilité élevée et leurs caractéristiques électriques particulières. Leur utilisation à des fins techniques est en constante progression depuis les années septante. Sans cesse de nouveaux matériaux sont développés, ouvrant la voie à de nouvelles applications.

Des piles à combustibles performantes peu coûteuses

Les piles à combustible fournissent de l'électricité et de la chaleur par transformation directe de l'énergie chimique. Dans un projet soutenu par l'Office fédéral de l'énergie, l'Empa se concentre sur le développement de piles à combustible à haute température à composants métalliques et céramiques. Ces



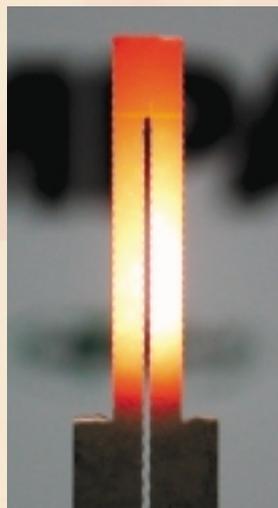
Les matériaux en bois céramisé dont on peut faire varier la porosité sont utilisables comme filtres, supports de catalyseur ou comme isolants haute température (à gauche: structure du bois, au centre: bois pyrolysé après déposition de carbure de silicium, à droite: bois pyrolysé.

piles fonctionnant au gaz naturel peuvent s'utiliser par exemple dans les maisons unifamiliales comme source décentralisée de chaleur et d'électricité. Une structure nouvelle de couches métalliques et céramiques a permis de réaliser une pile à combustible fournissant une puissance remarquable de 430 mW/cm² à une température de service de 800 °C. Parallèlement au développement des matériaux, un procédé de fabrication peu coûteux a été développé. Ce procédé associe le pressage à sec à la pyrolyse de flamme dans

laquelle le matériau céramique chauffé est pulvérisé sous vide sur son substrat. Ce projet réalisé en collaboration avec l'EPFZ, l'EPFL et un partenaire industriel s'est achevé avec succès et fournit toutes les bases nécessaires au développement des procédés de production à l'échelle industrielle.

Associer les avantages de l'acier et des céramiques

La fabrication d'outillage et des machines demande des matériaux résistant à l'usure et à la corrosion. Les céramiques techniques présentent certes une bonne résistance à l'usure, mais elles sont plus fragiles et par là plus sensibles à la rupture que les métaux. Les composites métal-céramique, aussi appelé composites à matrice métallique, représentent une solution idéale associant les caractéristiques favorables des céramiques et des métaux. C'est à ce domaine que se consacre l'Empa, entre autres dans le projet EUREKA «Composites métal-céramique tolérants aux dommages» soutenus par la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI) ainsi que dans des projets financés par l'industrie. La fabrication de composites à base de céramique de carbure de silicium associée à des métaux ou des alliages à bas point de fusion tels que les bronzes ne pose pas de problèmes. Toutefois, pour certaines applications, les caractéristiques recherchées sont précisément celles qu'offrent les composites acier-céramique, que ce soit une résistance à la rupture très élevée ou la compatibilité alimentaire pour des applications dans l'industrie pharmaceutique ou alimentaire. Les céramiques utilisées avec les alliages à bas point de fusion se décomposant aux températures de fusion de l'acier, il a été nécessaire de développer des solutions innovatrices pour la fabrication des composites acier-céramique.

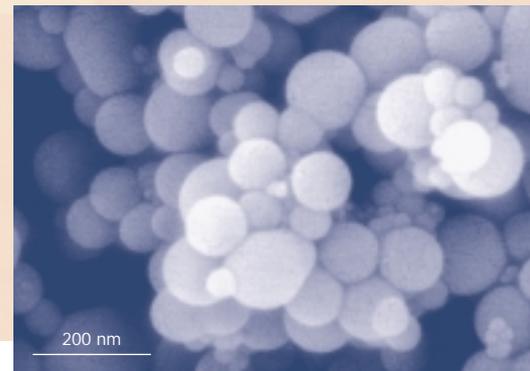


Bougie d'alumage pour systèmes de chauffage au gaz.

Certains oxydes, tels que l'oxyde d'aluminium, possédant une stabilité chimique adéquate se sont révélés aptes à servir de composant céramique dans une matrice d'acier hautement allié. À l'aide d'un processus sophistiqué, on obtient des composites de structure homogène permettant de réaliser des pièces avec des épaisseurs de paroi allant jusqu'à quelques centimètres. À la fin 2002, ce projet a passé un cap important avec le dépôt d'un brevet sur des composites métal-céramique particuliers ainsi que sur leur procédé de fabrication et d'optimisation de leur structure.

Un avantage concurrentiel grâce à l'extrusion de filtres céramiques

Dans le cadre d'un projet soutenu par la CTI, l'Empa a développé avec une entreprise suisse un nouveau procédé pour la fabrication



Nanoparticules de dioxyde de silicium recouvertes d'une couche de platine de 5 nm d'épaisseur appliquée par déposition sous vide par plasma pulsé.

avantageuse de filtres céramiques pour la désinfection de l'eau. Jusqu'ici ces filtres tubulaires étaient fabriqués par coulée de kieselgur. Cette méthode assurait une qualité élevée mais avec des coûts eux aussi élevés qui se sont révélés être un handicap concurrentiel. L'extrusion permet aujourd'hui de fabriquer ces filtres à des coûts inférieurs d'environ 50% – et cela sans usinage ultérieur ni la moindre concession sur le plan de la qualité.

Contact: Dr Thomas Graule
E-mail: thomas.graule@empa.ch

Une plate-forme pour le transfert du savoir et un forum de discussion

L'Académie Empa dans sa troisième année d'existence

Le nombre des participants aux séminaires et conférences de l'Académie Empa a atteint les 6000 personnes, soit 30% de plus que l'année précédente. L'Académie Empa s'est ainsi bien établie comme plate-forme de transfert du savoir et aussi comme forum de discussion sur des thèmes de portée socio-politique.

En plus de ses séminaires et conférences, l'Académie Empa a organisé en 2002 six «Apéros scientifiques», fréquentés en moyenne par quelques 100 personnes, sur les thèmes suivants:

Carburants et véhicules pour la société à 2000 Watt

L'augmentation rapide de la consommation d'énergie des véhicules automobiles est co-responsable du changement climatique qui nous menace. C'est aussi pourquoi on est à la recherche de concepts de motorisation aboutis qui permettent un réduire durablement la dépendance du pétrole ainsi que les émissions de gaz à effet de serre et de polluants.

Alors que l'Association transport et environnement (ATE) plaide pour une gestion intelligente de la mobilité associant le vélo, les

transports publics, le car-sharing et les véhicules privés, le représentant de BMW a exposé sa vision du moteur à hydrogène. Un ingénieur de l'Empa a relaté les progrès réalisés dans le domaine des moteurs à gaz économes en carburant et très peu polluants.

La nanotechnologie – minuscules particules et grands effets

L'univers du nano recelant des possibilités d'application dans des domaines très variés, la recherche de technologies et de procédés nouveaux bat son plein.

C'est ainsi par exemple que l'utilisation de nanotubes de carbone comme source d'électrons ouvre de nouvelles possibilités – un développement auquel travaille l'Empa. La firme Bühler AG a présenté un procédé de broyage et de désagglomération qui permet p.ex. de produire économiquement des nano-pigments



La technologie de l'information supprime les distances.

pour les peintures. L'Empa a présenté de nouvelles combinaisons de matériaux qui, grâce à leur nanostructure particulière, permettent de fabriquer des outils d'usinage plus résistants.

(R)évolution technique grâce aux matériaux adaptatifs?

Comment améliorer encore l'isolation acoustique des fenêtres? – En utilisant p.ex. des systèmes adaptatifs qui adaptent leur comportement aux modifications de leur environnement. Une première étape a été franchie dans la suppression du bruit et des vibrations ainsi que l'a montré l'Empa. Un système actif produit des ondes inverses à celles du bruit qui viennent se superposer à ces dernières pour les supprimer. Dans son exposé, le représentant du «Fraunhofer Institut für Silikatforschung» a montré sur l'exemple des matériaux capteurs/actionneurs piézo-électriques les défis auxquels sont confrontés la technique et le développement des matériaux.

Transpirer ça peut être suant – développements dans les vêtements de sport et de loisirs

Aujourd'hui les vêtements de sport et de loisir doivent être «fonctionnels» et leurs caractéristiques de transport d'humidité et de chaleur adaptées à leur utilisation. L'institut d'hygiène et de physiologie du travail de l'EPFZ a montré que les vêtements et la transpiration influencent notablement le bien-être et le bilan énergétique des personnes. Les nouveaux matériaux aux caractéristiques variables développés par l'Empa devraient contribuer à améliorer la capacité fonctionnelle et le confort ainsi qu'à minimiser l'effet de refroidissement malsain après une activité sportive.

La technologie de l'information – clé de la durabilité?

La voie vers la société de l'information conduit-elle automatiquement à un développement durable? La consommation d'énergie électrique provoquée par les techniques de l'information et de la communication continuera à augmenter fortement dans l'avenir, cela malgré la rapidité des progrès techniques, ainsi que l'a exposé un spécialiste de l'EPFZ. Un débat a mis en évidence les avantages et les désavantages de la technologie de l'information. Le problème de la durabilité a été évoqué sur l'exemple de la gestion des déchets électroniques.



En 2002, les manifestations de l'Académie Empa ont été suivies par près de 6000 participants.

Les ponts de l'avenir

Le Prof. Dr Dr h.c. Christian Menn, le constructeur de pont suisse de renommée mondiale, constate que depuis longtemps il n'y a plus d'innovation dans la construction des ponts alors que de grands progrès ont été réalisés p.ex. en construction automobile, en physique ou en chimie. Un accroissement de la recherche est nécessaire, p. ex. sur les revêtements des armatures ou sur l'étanchéification du béton. Pour l'Empa, les systèmes de ponts intelligents pourraient être une solution d'avenir.

Contact: Dr Anne Satir

E-mail: anne.satir@empa.ch

Que sont les «Apéros scientifiques»?

Lors de ses apéros scientifiques organisés régulièrement, l'Académie Empa aborde des thèmes d'actualité sur le plan scientifique ou social. Des personnalités de la science, de la politique et de l'économie y présentent leurs travaux et leur point de vue sur le thème traité. Ces exposés sont suivis d'un apéritif lors duquel les orateurs sont à disposition des auditeurs, spécialistes ou non, pour répondre à leurs questions.



Sélection de projets

Matériaux hautes performances pour la NLFA
La nanomécanique – des outils pour le nanomonde
JunFunori – un produit naturel perfectionné
Biopolymères – des bactéries qui produisent du plastique
Comment les polluants arrivent au Jungfraujoch
Détection du dopage dans le domaine des traces
Recyclage écologique de l'électronique

Matériaux hautes performances pour la NLFA

Situation initiale

Quels sont les meilleurs systèmes d'étanchéité et de drainage (SED)

C'est sous une masse colossale de roches dont l'épaisseur atteint jusqu'à 2'500 m que se construit le tunnel de base du Gothard, le plus long tunnel ferroviaire du monde. C'est ici, et dans le tunnel de base du Lötschberg,



Système d'étanchéité: Lés d'étanchéité assemblés par soudure double et matériau de drainage.

qu'une œuvre de pionnier a été réalisée dans la technique d'étanchéité des tunnels. Sous ces masses de roche énormes, il règne des conditions extrêmes. Avec des températures pouvant atteindre 45°C et la pression de la roche, les infiltrations d'eau peuvent provoquer des dégâts au tunnel et aux installations ferroviaires. Les constructeurs de tunnels doivent emprunter des voies nouvelles pour assurer l'évacuation de ces eaux. Ils sont à la recherche des meilleurs systèmes d'étanchéité et de drainage qui permettent une finition de la galerie avec un voile en béton projeté et un revêtement intérieur en béton coulé.

Projet

Simulation des conditions de pose

La durée de vie attendue des matériaux utilisés dans ces tunnels est de 100 ans. On ne dispose toutefois pas d'expérience suffisamment longue avec les matériaux actuellement disponibles pour émettre un pronostic fiable. Il a donc fallu tout d'abord formuler les performances requises et procéder à une évaluation des matériaux. Sur mandat des maîtres d'ouvrage, l'Empa a procédé à une étude d'aptitude de différents SED proposés par l'industrie. Ces systèmes ont été soumis pendant deux ans à des essais de sollicitation les plus divers.

Exécution/résultats

La technique des matériaux à l'épreuve de la pression et de l'eau

Deux ans durant les éprouvettes de SED ont été immergées dans des eaux alcalines, acides ou encore riches en oxygène à des températures atteignant jusqu'à 70°C et à des essais de résistance aux microorga-



Système d'étanchéité entre plaques de compression striée et lisse.

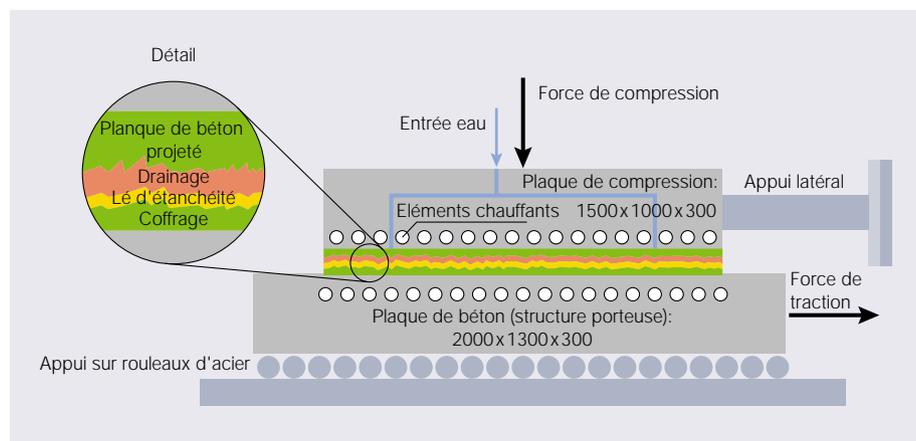


Schéma de principe de l'installation d'essai de compression/cisaillement pour la détermination de la capacité de drainage.



Profond sillon dans le béton de la structure porteuse provoqué par des plis du lé d'étanchéité.

Démolition de la structure porteuse pour le contrôle du système d'étanchéité.

nismes anaérobies et aérobies. Pour les essais de résistance à long terme à la pression, les SED ont été montés entre deux plaques, l'une lisse et l'autre striée et immergés dans de l'eau alcaline avant d'être soumis à une compression. Après six mois, certains matériaux présentaient déjà des signes de faiblesse. Une deuxième série d'essais sur des SED optimisés s'est alors révélée nécessaire pour déterminer les combinaisons de matériaux optimales.

De grandes éprouvettes ont été soumises à des sollicitations mécaniques encore plus sévères dans des essais combinant une compression avec un cisaillement latéral. Afin de simuler également les températures élevées et l'action de l'eau, le banc d'essai a été équipé d'un système de chauffage et de circula-

tion d'eau raffiné pour la mesure de la capacité de drainage.

Pour évaluer le comportement des matériaux lors de la pose et du bétonnage du revêtement intérieur dans les conditions de chantier, les différents systèmes d'étanchéité ont été posés à l'échelle réelle dans une galerie d'essai, recouverts d'un revêtement de béton puis à nouveau déposés. Ces essais ont montré que la rugosité et les défauts de planéité du béton projeté ainsi que les points de fixation provoquaient la formation de plis sur les lés d'étanchéité avec un risque de formation de fissures.



Contrôle des soudures avant le bétonnage.

Des innovations pour l'étude des projets et la réalisation des tunnels

Les résultats acquis par l'Empa ont été mis à profit durant les essais déjà par les partenaires industriels pour développer des matériaux plus robustes, plus résistants aux températures élevées et à l'oxydation ainsi qu'à la pression et au vieillissement. Des progrès n'ont pas seulement été réalisés dans le soudage des lés mais aussi dans la technique de fixation avec le remplacement des rondelles de fixation par des bandes autograppantes. Le problème de la formation de plis sur les lés a aussi été résolu: Les exigences de planéité élevées posées au béton projeté ont débouché sur la mise au point d'une nouvelle méthode de mesurage tridimensionnelle maintenant appliquée dans le tunnel du Lötschberg.

Ces travaux réalisés en collaboration avec le Prof. ém. Hans Böhni, les maîtres d'ouvrage et les ingénieurs du projet Alp Transit, qui font œuvre de pionnier en la matière, ont débouché sur une avancée technique pour la durabilité de cet ouvrage marquant de notre millénaire. Les ingénieurs de notre pays sont ainsi des mieux équipés pour la réalisation de grands projets de tunnels en Suisse et à l'étranger.

Contact: Peter Flüeler

E-mail: peter.flueler@empa.ch

Situation initiale

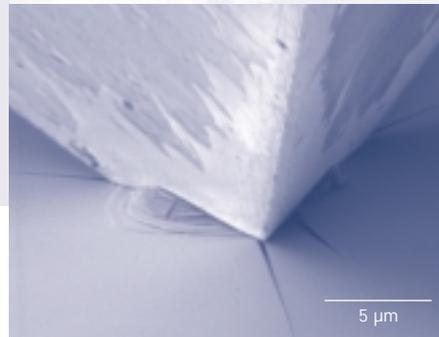
Des nano-outils pour les échelles les plus minuscules

La détermination des caractéristiques macroscopiques des matériaux utilise des méthodes de mesure classiques qui sont aujourd'hui difficilement transposables au micro- et au nanomonde. Le comportement physique des matériaux évolue avec le changement d'échelle. Par exemple, des forces qui localement s'exercent sur des surfaces micro-nanométriques peuvent engendrer des pressions considérables provoquant des frottements et une usure prématurés, réduisant ainsi la durée de vie d'une pièce mécanique. Par ailleurs, le développement des systèmes micro-électromécaniques (MEMS), des nano-composites ou des revêtements ultraminces impose une connaissance précise des caractéristiques mécaniques des matériaux à l'échelle du micro-, voire du nanomètre. Les essais de traction ou de flexion usuels ne sont plus utilisables à ces dimensions, car les méthodes et les outils d'analyse standards ne sont plus adaptés au nanomonde. Il est déjà très ardu de saisir et de serrer dans un dispositif de minuscules pièces telles que des billes, sans parler de les examiner ou de les usiner. Afin d'évoluer avec aisance dans un univers à l'échelle du micro- ou même du nanomètre, il est nécessaire de disposer d'outils nouveaux et fiables.

Idée

Analyse en nanolaboratoire – grâce au microscope électronique à balayage (MEB)

Il existe depuis quelques années des méthodes pour le travail en nano-atelier mais ces dernières ne permettent pas d'obtenir des informations sur les paramètres fondamentaux des matériaux tels que leur ténacité à la rupture ou les courbes contrainte-allongement. Pour cela il est nécessaire de faire



appel à des méthodes de mesure telles que la nanoindentation. Cette méthode consiste à faire pénétrer un diamant de forme pyramidale (l'indenteur) dans un échantillon en mesurant continuellement la force et la profondeur de l'empreinte. On peut ainsi déterminer le module d'élasticité, même lorsque les empreintes sont si petites qu'elles ne sont plus visibles sous un microscope optique. De plus, à l'aide des données fournies par l'essai d'indentation, on peut déterminer la déformabilité de l'objet à examiner en utilisant une méthode informatique (méthodes des éléments finis) qui permet de déterminer entre autres la courbe contrainte-déformation.

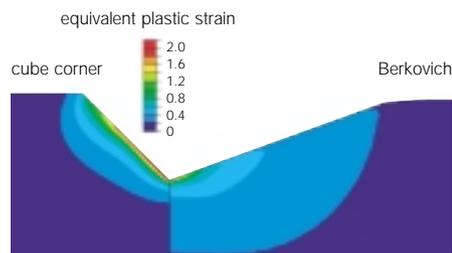
Trace laissée sur la surface du matériau par une pyramide de diamant lors de la nanoindentation.

L'observation des processus de sollicitation et les résultats de mesure permettent d'obtenir encore davantage d'informations sur les caractéristiques du matériaux. Pour cela, on travaille actuellement à la réalisation d'un nanoindenteur in situ dans un microscope électronique à balayage (MEB). A moyen terme, il est même prévu de réaliser un laboratoire d'analyse miniaturisé complet dans lequel la manipulation des échantillons et l'application des charges dans la chambre à vide du MEB sera assurée par des micro-robots.

Micro-robots pour la nanofabrication et algorithmes

En collaboration avec deux entreprises d'outillage internationales, l'Empa a développé un dispositif qui permet de déterminer le comportement à la flexion, à la traction et au poinçonnement de minuscules éprouvettes de matériaux sous le microscope électronique à balayage (MEB).

Le projet européen ROBOSEM, réunissant des partenaires français, allemands et suisses, est consacré lui au développement d'un micro-robot modulaire réunissant sur une seule plateforme plusieurs outils pour travailler sous le MEB. En outre, un algorithme développé avec l'Ecole des Mines de Paris et l'EPFL permet de convertir la courbe force-déplacement de la nanoindentation en une courbe force-allongement, ce qui assure une meilleure comparaison des résultats à l'échelle nanoscopique avec ceux obtenus à l'échelle macroscopique.



Simulation par ordinateur du champ de déformation autour d'une nanoempreinte.

Perfectionnement des nano-outils pour de nouvelles applications

Ces projets démontrent le potentiel que recèlent les outils nanométriques associés au MEB et à la simulation numérique. L'utilisation d'indenteurs a déjà permis de déterminer avec succès les courbes traction-allongement de composants MEMS et de revêtements minces. Cette méthode de caractérisation des matériaux a aussi permis d'étudier avec précision le comportement à la déformation de nouveaux câbles pour lignes à haute tension en composites aluminium-fibres de carbone. Plusieurs projets en cours sont consacrés à des indenteurs utilisant des pointes de formes différentes. D'autres idées d'application concernent l'utilisation de la technique du nanoscratch (nanorayure). Cette technique permet de procéder à une nano-gravure des surfaces sur laquelle il est alors possible de déposer sélectivement des matériaux par voie électrochimique. Enfin, un autre



Le sigle de l'Empa gravé sur la section d'un cheveu avec des nano-outils.

projet réalisé dans le cadre du programme national «Top Nano 21» est consacré à l'étude de la propagation des fissures dans les semi-conducteurs sous le MEB à l'aide des outils développés pour la nanomanipulation.

Contact: Dr Johann Michler

E-mail: johann.michler@empa.ch

Situation initiale

Une algue rouge japonaise pour sauver les peintures mates dégradées

Les techniques de la peinture mate se retrouvent à toutes les époques et dans toutes les cultures – des peintures rupestres préhistoriques aux écritures à la craie de Joseph Beuys. Ces peintures sont très sensibles, car sous l'effet des influences de l'environnement, de l'usage et du support sur lequel elles sont appliquées, elles finissent par devenir poussiéreuse. La consolidation des peintures mates représente un défi important pour les restaurateurs et les conservateurs d'œuvres d'art. Depuis quelques années, le Funori (Fu = mer, No = mousse, Ri = odeur parfumée), une colle confectionnée au Japon à partir d'une algue rouge a éveillé l'intérêt des spécialistes. Toutefois, afin d'estimer les risques de son utilisation, il fallait tout d'abord déterminer sa stabilité physique et chimique au moyen d'essais de vieillissement accélérés et tester sa sensibilité aux microorganismes.

Projet

Maitriser les variations de la qualité du Funori

Cet agent de consolidation tiré d'une algue rouge de la famille des Gloiopeltis a été étudié dans un projet de recherche fondamentale interdisciplinaire. Ce projet mené en commun par l'Empa avec l'Institut des biens culturels de l'EPFZ et le Centre de conservation du Musée national suisse a confirmé les bonnes caractéristiques de ce consolidant. Le Funori étant un produit naturel, il présente toutefois des variations dans sa qualité dues aux différences dans sa provenance et sa préparation. Afin de pallier les désavantages de ce produit naturel, l'Empa a développé dans un projet subséquent un procédé de purification pour produire ainsi un nouveau consolidant.



Panneau de la peinture murale de Hans Erni de l'Exposition nationale de 1939, Musée national suisse.



Gloiopeltis furcata pousse sur les rochers de l'estran.

Etude du nouveau JunFunori dans des conditions de laboratoire et dans la pratique muséale

Le nouveau produit incolore JunFunori (jun = pur) présente les mêmes bonnes qualités que le Funori, mais possède une meilleure adhésivité et il est notablement plus facile à manipuler. Pour étudier sa stabilité à long terme, des films de Funori et de JunFunori ont été soumis à des essais de vieillissement accéléré par exposition aux rayons UV et à des variations simultanées de température et d'humidité. Après ces essais, les films ne présentaient aucune modification moléculaire et avaient conservé leurs caractéristiques chimiques et physiques. Ils gardent aussi leurs excellentes qualités optiques: Parfaitement transparents et non pas troubles ou jaunis; ils restent mats et ne deviennent pas brillants, ils conservent leur élasticité sans devenir cassants, ils ne se fissurent et ne s'écaillent pas. La surface des couches picturales consolidées ne subit aucune modification optique telles que la formation de voiles ou d'auréoles. Ces qualités les rendent parfaitement indiqués comme produit de substitution des agents de consolidation usuels utilisés jusqu'ici.

Les essais de laboratoire n'étant qu'une approximation de la réalité, le nouveau produit a été testé en pratique sur des objets choisis à cet effet par le Musée national suisse et le Musée d'ethnographie de l'Université de Zurich. Des petits échantillons de JunFunori avec les indications d'application nécessaires ont aussi été mis à la disposition de



Solution de consolidant préparée à partir du produit purifié.

spécialistes intéressés pour qu'ils puissent essayer ce nouveau produit de l'Empa. Plusieurs universités ne sont pas restées indifférentes à ce nouvel agent de conservation et plusieurs étudiants et étudiantes effectuent leur travail de diplôme sur la consolidation des peintures avec le Funori et le JunFunori.

Le JunFunori à la conquête d'autres domaines d'application

Le succès rencontré a conduit à faire enregistrer le JunFunori comme marque suisse déposée. D'autres propositions de projets ont été formulées en vue de mieux comprendre le comportement du Funori. Ces connaissances serviront à améliorer encore le JunFunori. Afin de faire face à la demande pour ce produit, le passage à une production à grande échelle avec des partenaires industriels est envisagé. En plus de son utilisation dans la restauration des œuvres d'art, ce produit pourrait aussi être utilisé dans d'autres domaines tels que par exemple en médecine et en pharmacie. Cette algue rouge est déjà actuellement utilisée dans l'industrie alimentaire (p. ex. milieu nutritif pour des levures), l'industrie cosmétique (pâtes dentifrices et shampooing) et dans l'industrie des colorants (p. ex. liant dans les cirages).

苔海布純

Contact: Françoise Michel
Dr Thomas Geiger
E-mail: JunFunori@empa.ch

Biopolymères – des bactéries qui produisent du plastique

Situation initiale/idée

Des biopolymères sur mesure

Lorsqu'on offre à des microorganismes un milieu nutritif contenant du carbone sous une forme appropriée et que le climat dans le bioréacteur leur convient, certains d'entre eux se mettent à produire des «bioplastiques». La masse de polymère que l'on peut en extraire présente de grands avantages par rapport aux polymères synthétisés à partir du pétrole: Ce biomatériau écologique produit à partir de matières premières renouvelables est aussi dégradé par des champignons et des bactéries.

En fonction du choix des microorganismes, du milieu nutritif et des conditions de croissance dans le bioréacteur, on obtient un biopolymère dur ou au contraire élastique. Dans des projets de recherche menés en commun avec l'EPFZ et l'Eawag, l'Empa travaille à l'évaluation et à l'optimisation des processus biotechnologiques en vue de produire des biopolymères «sur mesure».

Le contrôle des conditions de croissance dans le chemostat assure une production constante et reproductible de biopolymères.

Projet

Tout est fonction du régime alimentaire

La culture en continu dans un chemostat et la connaissance exacte de la manière d'influencer la croissance cellulaire a permis à cette équipe de chercheurs de formuler de nombreuses nouvelles recettes pour la biosynthèse bactérienne de polymères.

On connaît actuellement plus de 90 microorganismes qui produisent des polyhydroxyalcanoates (PHA), des polyesters naturels qui leur servent de réserve de carbone et d'énergie. Ces PHA, stockés sous forme de granules dans les cellules, peuvent être extraits avec des solvants organiques pour être ensuite précipités avec du méthanol ou de l'éthanol.



Leur production de PHA est maximale lorsqu'on fournit aux bactéries un substrat contenant du carbone en excès, p. ex. sous forme d'acides gras, et que simultanément on limite l'apport d'azote. La culture continue avec des mélanges de substrats de carbone définis et des conditions de croissance bien déterminées dans le chemostat permettent d'influencer la composition moléculaire et ainsi les caractéristiques physiques et macroscopiques du produit.



*Les bactéries *Pseudomonas oleovorans* stockent du polyhydroxyalcanoate (du «bioplastique») à l'intérieur de leurs cellules.*

Une meilleure connaissance des caractéristiques biologiques et chimiques



Polyhydroxyalcanoate (PHA) avant (à gauche) et après purification (au centre et à droite).

Afin de déterminer les profils des différents PHA produits selon ces recettes, on procède non seulement à la détermination de leurs caractéristiques physiques mais aussi biologiques et chimiques. Les PHA à chaînes latérales courtes (scIPHA) sont des thermoplastiques utilisables en médecine et pour la fabrication d'articles à usage unique (matériel de laboratoire, articles d'hygiène). Les PHA à chaînes latérales moyennes (mcIPHA) sont plus flexibles que les PHA à chaînes latérales courtes assez cassants et sont eux aussi parfaitement adaptés pour des applications médicales.

Des implants en biopolymères renfermant des médicaments encapsulés

Grâce à leur bonne biodégradabilité et à leur biocompatibilité élevée, les polymères naturels présentent de nombreuses possibilités d'utilisation dans l'industrie chimique et pharmaceutique et aussi surtout en médecine. Parmi les applications possibles, on peut citer les fils de suture, les substituts de peau, les implants ainsi que les artères, les veines et les valvules cardiaques artificielles.

Les PHA présentent encore des propriétés chimiques qui permettent de les utiliser comme vecteurs d'autres substances. Dans le futur il sera ainsi possible d'inclure dans des implants des médicaments qui seront libérés

à mesure que l'implant se résorbera. L'Empa procède actuellement à des travaux de recherche in vitro sur cette application.

Les PHA peuvent aussi s'utiliser dans l'industrie. Ainsi par exemple l'acide zostérique, un agent anti-moisissure non toxique tiré d'une plante, la zostère marine, peut être lié à un biopolymère. Ce biopolymère imprégné d'acide zostérique, sur lequel l'Empa mène aussi des travaux de recherche, pourrait servir d'imprégnation pour combattre le redoutable «biofilm» à la surface des matériaux.



La réticulation des PHA insaturés permet de produire un caoutchouc biodégradable.

Contact: Dr Manfred Zinn
 Dr Roland Hany
 Dr Helene Felber
 E-mail: manfred.zinn@empa.ch
 roland.hany@empa.ch
 helene.felber@empa.ch

Comment les polluants arrivent au Jungfraujoch

Situation initiale

Les gaz halogénés; toujours présents bien que réglementés ou interdits

Les protocoles de Kyoto et de Montréal réglementent certains hydrocarbures halogénés qui contribuent à l'effet de serre par leur absorption dans l'infrarouge. Il s'agit maintenant d'étudier comment ces prescriptions sont respectées en Europe. Le recours à l'analyse chimique et à des modèles météorologiques est nécessaire pour obtenir des informations sur les émissions de ces substances dans l'atmosphère. En plus de cela il est aussi nécessaire de connaître quelles sont les quantités des différentes substances halogénées utilisées en remplacement de celles maintenant interdites. Actuellement les concentrations de ces substances de substitution sont en forte augmentation. Il n'est cependant pas seulement intéressant de connaître en quelles concentrations ces produits sont présents mais aussi de savoir quelles sont les régions et les pays où elles sont émises.

Projet

Des mesures pour l'Europe sur le toit de l'Europe

Depuis le mois de janvier 2000 des mesures continues par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GCMS) sont effectuées sur le Jungfraujoch (alt. 3580 m). A côté de l'Empa, trois autres stations (sur un total de 5 dans le monde entier) utilisent la GCMS dans le cadre du projet européens SOGE (System for Observation of Halogenated Greenhouse Gases in Europe). Ces stations se trouvent en Italie (Monte Cimone), en Norvège (Spitzberg) et en Irlande (Mace Head). Ces mesures sont réalisées en vue de développer un modèle de dispersion des gaz halogénés en Europe de l'Ouest. La station du Jungfraujoch offre d'excellentes conditions pour cela car sa situation en haute montagne permet de mesurer des concentrations en absence quasi totale d'influences locales. Située au coeur de l'Europe, elle se trouve aussi plus près des foyers potentiels que par exemple l'Irlande et la Norvège.

Partenaires étrangers

- Norwegian Institute of Air Research (Norvège)
- University of Bristol (Grande Bretagne)
- University of Urbino (Italie)
- University of Liège (Belgique)
- Alfred-Wegener-Institut, AWI (Allemagne)
- University of Oslo, Geophysics Department (Norvège)

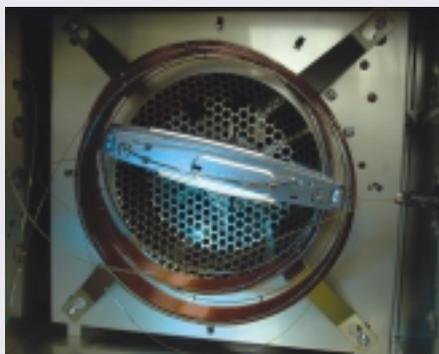


La station de recherche de haute montagne du Jungfraujoch, alt. 3580 m.

Des substances problématiques en remplacement des substances interdites

Les études effectuées ces trois dernières années montrent que les concentrations de différentes substances interdites par le Protocole de Montréal se sont stabilisées. Par contre les concentrations des substances de remplacement sont en nette augmentation. Pour l'hydrocarbure fluoré F-134a par exemple, utilisé dans les climatiseurs et les réfrigérateurs en remplacement de l'hydrocarbure chloro-fluoré F-12, les concentrations augmentent actuellement d'environ 20% par année.

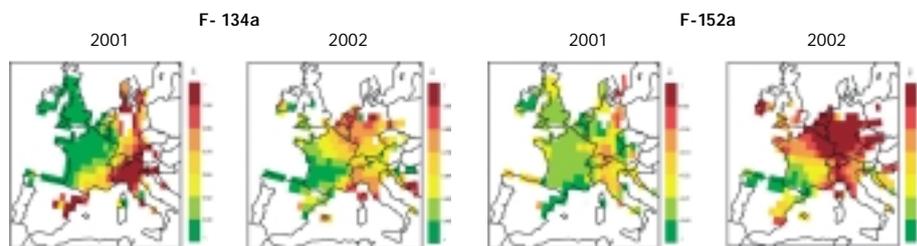
Pour localiser les sources, les données du Jungfraujoch sont comparées avec celles des stations européennes et combinées avec des informations météorologiques. Les trajectoires ainsi établies permettent de reconstituer le trajet suivi par les gaz à effet de serre. L'analyse des situations météorologiques qui ont déterminé la route suivie par les gaz à effet de serre permet de remonter au lieu d'origine géographique de ces substances, au foyer de la pollution. Pour le F-134a, c'est la plaine du Pô, avec sa grande densité industrielle, qui est un lieu d'émission important en Europe.



Chromatographe en phase gazeuse pour l'analyse des gaz halogénés à effet de serre.

Les sources européennes d'émission de gaz à effet de serre sous haute surveillance

Plus nombreuses sont les données de mesures, plus fin est le réseau de surveillance des gaz à effet de serre en Europe. Et plus précises sont aussi les informations sur le respect des prescriptions. Avec ses partenaires européens, l'Empa travaille au perfectionnement des modèles utilisés afin de permettre d'attribuer de manière précise et quantitative les immissions de gaz halogénés à effet de serre à leurs sources d'émission en Europe. Le législateur disposera ainsi des informations nécessaires pour sanctionner les pollueurs avec la rigueur qui s'impose.



Modélisation des régions d'émission de F 134a et F 152a en Europe et évolution entre 2000 et 2002.

Contact: Dr Stefan Reimann

E-mail: stefan.reimann@empa.ch

Détection du dopage dans le domaine des traces

Situation initiale

Tout verdict exige des preuves

En 2002, deux joueurs de l'équipe nationale de football hollandaise ont été accusés de dopage au Nandrolon et frappés d'une interdiction de jeu. Tous deux ont protesté de leur innocence et mis en doute les résultats d'analyse. Sur ce, l'institut de métrologie hollandais NMI a établi une expertise sur la fiabilité des résultats de ces analyses. Cette expertise a montré que les valeurs trouvées dépassaient certes la valeur limite de 2 ng/ml admise mais qu'elles n'étaient pas suffisamment fiables pour permettre une condamnation indubitable. Une deuxième expertise confiée à l'Empa est arrivée aux mêmes conclusions et les experts du NMI et de l'Empa ont dû expliquer et commenter leurs expertises devant une commission de la FIFA. Quelques temps après, la peine de ces footballeurs a été allégée et tous deux jouent à nouveau aujourd'hui.



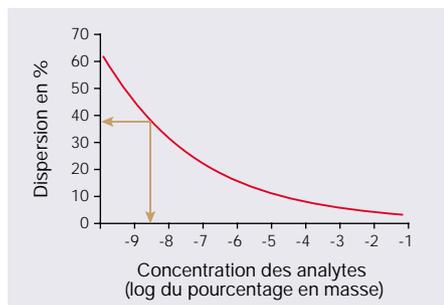
Problématique

Quelle est la fiabilité des analyses chimiques?

Les décisions en matière de dopage reposent toujours sur des résultats d'analyse. Toutefois les mesures chimiques ne sont par nature jamais parfaites. Si on analyse plusieurs fois le même échantillon, les résultats varient plus ou moins d'une analyse à l'autre et l'on tient compte de ce fait en indiquant une incertitude de mesure. Et pour les valeurs limites précisées, il n'est pas suffisant de comparer une valeur de mesure avec la valeur limite. Lorsqu'il s'agit de rendre un jugement, il est absolument nécessaire de tenir compte de l'incertitude de mesure. Plus grande est la portée de la sentence, plus les conclusions de l'analyse doivent être indubitables. Cette manière de faire se retrouve souvent dans la pratique. Ainsi, par exemple lors des contrôles de vitesse dans le trafic routier, on soustrait toujours une marge de tolérance de la valeur mesurée.

Les analyses de traces sont fort complexes

La difficulté des analyses chimiques est souvent sous-estimée et cela est plus particulièrement valable pour les analyses en traces. La substance à analyser doit tout d'abord être isolée de l'échantillon (matrice), dans le cas du Nandrolon par une extraction sur phase solide. De plus la substance doit être transformée en un dérivé approprié pour pouvoir être détectée. Cette transformation s'effectue à l'aide d'une réaction enzymatique de scission, suivie d'une dérivatisation chimique (silylation). Ce n'est qu'ensuite que la mesure proprement dite peut être effectuée par chromatographie en phase gazeuse couplée avec la spectrométrie de masse (GC-MS). Toutes ces opérations s'effectuent sur quelques nanogrammes, soit quelques milliardièmes de gramme! Des variations de l'ordre d'un pourcentage à deux chiffres sont normales même si les analyses sont faites très soigneusement.

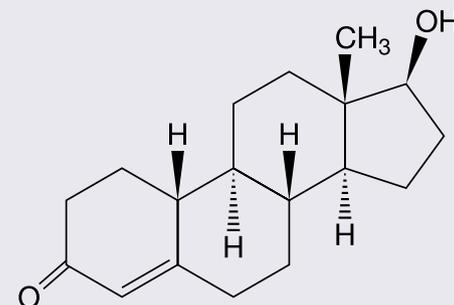


L'équation d'Horwitz montre que la dispersion des valeurs de mesures des analyses augmente avec la diminution de la concentration des analytes. Dans le domaine du ng/ml (soit à -9 sur l'échelle) les incertitudes de deux chiffres sont courantes.

Le Nandrolon est partout présent

A première vue, la sentence appliquée à ces joueurs présentant des valeurs de Nandrolon trop élevées peut sembler justifiée car tant l'échantillon A que l'échantillon B présentaient des valeurs supérieures à la valeur limite de 2.0 ng/ml, soit 2,6 et 2,3 ng/ml. La grande différence entre ces valeurs permet de supposer que l'incertitude de mesure est élevée. Le fait que les deux expertises concluent à une incertitude de mesure élevée indique que cette incertitude a encore d'autres sources. En fin de compte tout indique qu'il n'était pas possible de démontrer un dépassement net de la valeur limite.

Mais un autre aspect doit encore être pris en compte dans le dopage au Nandrolon. Le Nandrolon peut en effet parvenir dans le corps de façon inaperçue sous différentes formes. Aux USA on le trouve dans de nombreux compléments alimentaires en vente libre dont la déclaration ne correspond souvent pas à la composition réelle. Une étude a montré que l'ingestion de tels produits déclarés «exempts de produits de dopage» pouvait conduire à des taux de Nandrolon dans l'urine dépassant les 600 ng/ml. Le Nandrolon est aussi utilisé dans l'élevage bovin et, le cas échéant, la consommation de spaghetti bolognaise peut conduire à une ingestion de quantités importantes de Nandrolon. De plus, le corps produit lui-même jusqu'à 0.6 ng/ml de Nandrolon et, en cas d'exercice extrême, cette concentration peut même augmenter



Nandrolon

de plusieurs fois au-dessus de cette valeur. Le dopage intentionnel au Nandrolon conduit souvent à des concentrations dans l'urine qui atteignent quelques milliers de ng/ml et la mesure en laboratoire de concentrations aussi élevées est fiable. Mais lorsque comme ici des sportifs sont condamnés pour des valeurs inférieures à 10 ng/ml, la probabilité qu'ils soient sanctionnés à tort est élevée. Vu ces faits, on peut considérer que la valeur limite de 2 ng/ml de Nandrolon dans l'urine fixée par le CIO est trop basse.

Contact: Dr Michael Weber

Dr Matthias Rösslein

E-mail: michael.weber@empa.ch

matthias.roesslein@empa.ch

Recyclage écologique de l'électronique

Situation initiale

Des montagnes de déchets électroniques avec des millions de composants intacts...

La durée de vie des produits de l'électronique de consommation est généralement bien plus longue que leur durée d'utilisation. Les téléviseurs par exemple sont remplacés en moyenne tous les six ans bien qu'ils puissent être utilisés durant 15 ans. Lorsqu'un appareil électrique ne fonctionne plus, on le jette bien que souvent seul un de ses composants soit défectueux. Ainsi les montagnes de déchets électroniques qui s'accumulent recèlent des millions de composants électroniques en parfait état. Afin d'éviter la destruction pure et simple de matières premières de valeur, les nouvelles lois suisses et européennes obligent les fabricants à reprendre les appareils électroniques usagés pour les traiter de manière appropriée.



Il est à espérer que ce mode d'élimination où seul les matériaux sont recyclés disparaîtra bientôt.

Projet

Réutilisation, réparation, recyclage ou remise à niveau?

Actuellement le recyclage matériel est la principale voie utilisée dans le traitement des déchets électroniques. Cette solution n'est toutefois pas optimale tant du point de vue écologique qu'économique. Il serait souvent plus judicieux d'associer au recyclage proprement dit la réparation, la réutilisation des composants et la remise à niveau des appareils existants. Seule la prise en compte de tous ces aspects permettra d'arriver à une gestion durable de l'électronique usagée. Pour que les fabricants soient disposés à réutiliser des composants recyclés, il faut leur fournir des indications fiables sur leur bon fonctionnement et sur leur durée de vie résiduelle. C'est dans ce but que l'Empa a lancé



De nombreuses platines renferment des chips standardisés, tels que les mémoires, qui peuvent être réutilisés dans des produits électroniques de grande consommation.

son projet «Care Electronics Materials and Ageing» avec le Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM), Berlin, l'Universität für Bodenkultur (BOKU), Vienne, et 14 partenaires de l'industrie. Ces partenaires de la recherche et de l'industrie ont développé des méthodes pour déterminer la disponibilité des appareils, élaboré des stratégies de réparation et défini des critères pour l'estimation de la durée de vie résiduelle des composants. Les méthodes d'estimation de la durée de vie des composants vont du simple examen visuel jusqu'à des méthodes utilisant la mesure de la température interne pour les composants de l'électronique de puissance et la mesure du courant de fuite pour les semi-conducteurs.

Prix Euréka Lillehammer pour les solutions écologiques

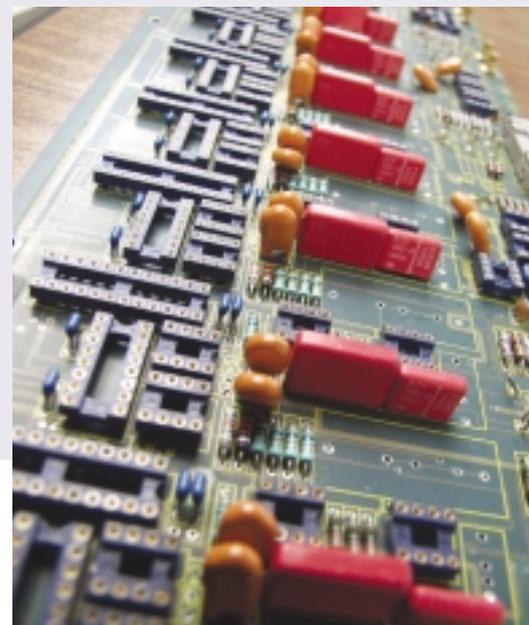
Les outils développés pour soutenir l'industrie dans le recyclage et la réutilisation des composants électroniques ont convaincu le jury de l'initiative Euréka. L'équipe de ce projet s'est vue attribuer le Prix Euréka Lillehammer 2002 pour – selon l'exposé des motifs du jury – les possibilités de réalisation économiquement intéressantes et écologiquement judicieuses que ce projet ouvre. L'initiative Euréka avec ses 31 Etats membres est une composante essentielle de la politique de la recherche européenne et suisse.



Indicateurs pratiques, matériaux sans danger pour l'environnement et éco-design

Cette distinction encourage l'Empa à poursuivre ses travaux dans ce domaine. Bientôt on disposera d'indicateurs pratiques pour les pièces et les composants qui réduiront le coût des analyses techniques. Ces indicateurs fourniront des informations sur les sollicitations subies par l'appareil et sur les possibilités de réutilisation de ses composants.

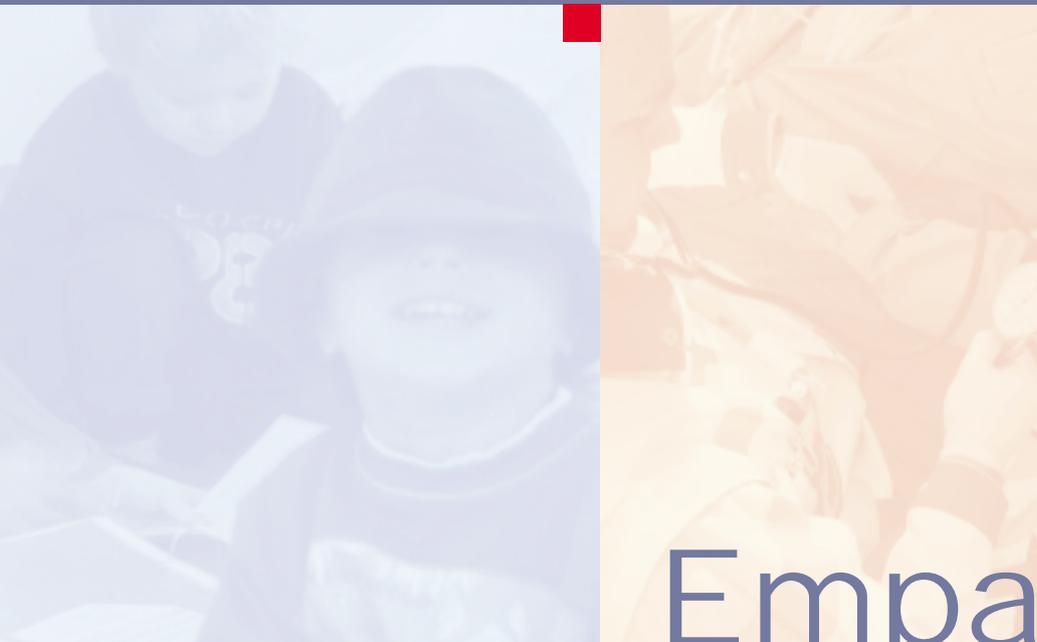
L'Empa s'engage aussi pour l'utilisation de matériaux sans risques pour l'environnement. Avec des partenaires tels que le Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie (ISIT) à Itzehoe, elle assume la direction d'un projet consacré au développement d'alliages d'étain pour le brasage sans plomb et à l'établissement de paramètres fiables pour les techniques de brasage avec ces alliages. L'industrie électronique devra dans l'avenir se préoccuper davantage d'éco-design. Il s'agit donc de développer aussi des directives de design qui facilitent la réutilisation des composants ou des groupes de composants ainsi que la remise à neuf des appareils au moyen de nouveaux composants.



Les circuits imprimés munis de socles se démontent sans dessoudage. Après élimination des substances toxiques qu'elle renferme, la platine est recyclée sous forme de matériaux.

Contact: Dr Urs Sennhauser

E-mail: urs.sennhauser@empa.ch



Empa inside

Gestion du savoir

Egalité des chances

Mentorat

Samaritains/pompiers

In memoriam: Theodor H. Erismann

La gestion du savoir en réseau

Pour tirer profit du savoir dont elle dispose l'Empa a lancé en 1999 un projet «Gestion du savoir». La vision qui sous-tend ce projet est celle d'une institution de recherche dans laquelle les collaboratrices et collaborateurs forment un réseau de savoir actif et vivant.

La gestion du savoir à l'Empa

La gestion du savoir montre comment sauvegarder, développer et tirer profit des informations et du savoir lié aux personnes. Les réseaux de collaboration interdisciplinaire qu'elle crée permettent de renforcer l'efficacité de la recherche, des essais et de l'enseignement et ainsi la compétitivité de l'Empa.

Ses outils sont les «Yellow Pages», les «Communities of Practice» et divers types de réunions stimulent les collaboratrices et collaborateurs à un échange de savoir actif. Dans le cadre de l'Académie Empa, des «Apéros scientifiques», consacrés à des thèmes de recherche actuels, favorisent les contacts entre les participants externes et les collaborateurs de l'Empa. Le premier «Marché de la recherche» organisé en 2002 a contribué à la création de réseaux interdisciplinaires entre les chercheurs de l'Empa et cette manifestation sera à l'avenir organisée une fois par année. En 2002, un projet de mentorat a aussi été lancé et un nouveau site Internet www.empa.ch a été réalisé. Les principes de la gestion du savoir ont aussi fait leur entrée



Trouver plus facilement les interlocuteurs/trices compétents dans ses travaux de recherches grâce aux yellow pages.

dans les mandats de prestation et les entretiens d'évaluation du personnel.

Pour affermir la gestion interne du savoir, un groupe de projet a été créé pour la mise en application sans formalités des mesures nécessaires en fonction des besoins. Ce groupe s'engage dans la création d'un environnement culturel adéquat et apporte son appui à la section des ressources humaines pour la réorganisation de l'accueil et de l'information des nouveaux collaborateurs. Ce groupe mène aussi une réflexion sur l'usage des sciences et travaille au remaniement des «Yellow-Pages» sur le site Internet de l'Empa.



*Niklaus Kläntschi,
président du SKMF.*

Fondation du SKMF

Les échanges avec d'autres entreprises et institutions favorisent le développement d'une gestion du savoir orientée vers la pratique. L'Empa considère ce point comme important et elle intensifie ces échanges. C'est aussi pourquoi elle a participé à la création et est membre actif du Swiss Knowledge Management Forums (SKMF), un réseau d'échange de pratiques pour la gestion du savoir réunissant des entreprises, des organisations, des instituts de recherche, des universités, des hautes écoles spécialisées et des personnes privées.

**Swiss
Knowledge
Management
Forum**

Contact: Dr Niklaus Kläntschi

E-mail: niklaus.klaentschi@empa.ch

«Kristall»: Un engagement en faveur de l'égalité

Dans le projet «Kristall», une dizaine de femmes et d'hommes s'engagent depuis dix ans déjà pour faire accepter largement au sein du personnel l'idée de l'égalité des chances.

«Kristall» œuvre en faveur de l'augmentation du nombre de femmes dans le personnel, et plus particulièrement parmi les cadres, et étudie des solutions pour améliorer la compatibilité entre famille et travail pour les mères et les



Pour pouvoir concilier famille et travail, il faut des crèches.

Prix Egalité 2002

L'Empa a manqué de peu le Prix Egalité 2002 attribué par la Société suisse des employés de commerce. Ce prix récompense les entreprises qui ont fait preuve d'un engagement particulier pour l'égalité entre femmes et

hommes. L'Empa faisait partie des 16 entreprises sélectionnées pour le tour final parmi les 138 nominées. La décision ne fut pas facile pour le jury qui fut impressionné par l'engagement durable de l'Empa en faveur de l'égalité des chances et en particulier par sa promotion concrète dans un programme de mentorat, la création d'un réseau femmes et la collaboration à des manifestations sur le thème femmes et premier emploi. Le fait que le niveau de compétence élevé de l'Empa dans le domaine de l'égalité des chances soit reconnu par une instance neutre est réjouissant et est un encouragement à persévérer sur cette voie.

Il reste encore beaucoup à faire

En 2002, l'Empa comptait parmi ses cadres quatre directrices de laboratoires, une directrice de laboratoire ad intérim et la directrice de l'Académie Empa, ce qui est fort réjouissant. Toutefois il reste encore beaucoup à faire sur d'autres fronts et de nombreux projets ont été lancés pour la promotion de l'égalité des chances. C'est ainsi que le groupe «Kris-



Brochure d'information Harcèlement sexuel, mobbing et discrimination au travail.

Le groupe «Kristall».



tall» a organisé l'année dernière des ateliers de travail sur le thème du harcèlement sexuel et a élaboré des directives pour sa prévention. Une enquête menée auprès du personnel sur la compatibilité travail-famille doit permettre au service des ressources humaines d'étudier des horaires de travail alternatifs et un projet pilote de mentorat d'une année a été mené à bien avec succès pour la promotion des jeunes femmes et hommes formant la relève de l'Empa.

Pour plus de détails: www.empa.ch/kristall.

Contact: Dr Anne Satir

E-mail: anne.satir@empa.ch

Mentorat – plan de carrière pour la relève

A une époque de défis pour les instituts de recherche, l'Empa mise sur la promotion de la relève scientifique et sur l'égalité des chances et a expérimenté durant une année le mentorat dans un projet pilote.

Le mentorat est un outil pour le développement professionnel et personnel des jeunes collaboratrices et collaborateurs qui les motive à reprendre des tâches plus exigeantes correspondant à leurs capacités et les prépare à des positions dirigeantes. Il sert aussi à la détection et au développement du potentiel des collaborateurs et collaboratrices et vient ainsi soutenir les dirigeants et les responsables des ressources humaines dans leurs tâches. Le mentorat a aussi pour but d'assurer le transfert du savoir lié aux personnes ou aux laboratoires entre les sites de Dübendorf, St-Gall et Thoune et il est donc aussi un outil de gestion du savoir.

Egalité des chances

Ce projet a bénéficié du soutien du Conseil des EPF au titre du programme de la Confédération pour la promotion de l'égalité des chances entre femmes et hommes dans les carrières universitaires. L'idée de base de ce projet était d'assurer une promotion ciblée des femmes. Toutefois dans le sens d'une véritable égalité des chances, l'Empa a déci-

dé d'ouvrir de programme aux hommes aussi tout en assurant une participation féminine d'au minimum 50%.

La relève, tant féminine que masculine, s'est vue offrir la possibilité d'être soutenue durant une période définie par des collaborateurs expérimentés. Douze mentors ont ainsi travaillé une année en relation étroite avec leurs mentees sur des objectifs individuels. Dans des entretiens confidentiels, les mentors ont offert à leurs mentees leur soutien dans leurs efforts de développement individuel et dans la recherche de leur voie personnelle. Ils les ont aidés dans la résolution des problèmes qui leur étaient posés (coaching) et leur ont offert leur appui pour établir des contacts à l'intérieur et à l'extérieur de l'Empa en leur montrant comment en tirer profit (networking). Enfin, les mentors ont aussi fourni une aide concrète à leurs mentees en les introduisant par exemple auprès de personnes importantes pour leur devenir professionnel ou en les invitant à assister à des conférences ou à des entretiens d'affaire.

Utile aussi pour le développement du personnel

De l'avis de tous ce projet fut une réussite. Le temps consacré à son organisation est un investissement profitable et le bilan tiré par les mentees sur leurs objectifs personnels est très positif. Ils ont apprécié la liberté offerte



Les jeunes collaboratrices et collaborateurs saluent le mentorat comme une chance pour leur plan de carrière.

ainsi que les entretiens menés en toute confiance ainsi que la possibilité de prendre quelque distance par rapport à leurs activités quotidiennes. Suite à ce succès, la direction a décidé d'introduire le mentorat comme outil de développement du personnel.

Contact: Nese Cetinkaya

E-mail: nese.cetinkaya@empa.ch

Bien protégé – au travail aussi

Les grandes entreprises telles que l'Empa ont l'obligation d'assurer la sécurité de leur personnel et d'entretenir un service de secours et d'incendie. L'Empa prend cette obligation au sérieux et le service de secours de l'Empa/Eawag ainsi que son service de sapeurs-pompiers assument des tâches qui dépassent de loin le minimum exigé par la loi.

Alors que les participants à un séminaire de l'Académie Empa reçoivent leur documentation, l'orateur principal de cette manifestation fait soigner la sérieuse blessure qu'il s'est faite peu avant au pied en installant son matériel. Pour qu'il puisse malgré tout présenter son exposé, les secouristes de l'Empa lui posent un pansement. Grâce à cette aide rapide, le séminaire peut tout de même avoir lieu. Plus tard l'ambulance du service de secours le conduit chez un médecin pour des soins définitifs.

Quelques jours plus tard, ce sont les pompiers qui doivent intervenir avec leur véhicule. Equipés d'appareils respiratoires, ils descendent dans les caves où une épaisse fumée rend la progression difficile. Du matériau d'isolation s'est enflammé par inadvertance lors de travaux. Les ouvriers sont évacués, confiés aux sanitaires et les pompiers éteignent l'incendie.

Un niveau de formation élevé

De tels événements ne se produisent heureusement pas chaque jour et la majorité des interventions sont moins grave. Les neuf

secouristes et leur chef travaillent dans les laboratoires de l'Empa et de l'Eawag voisine. Ils se réunissent chaque lundi après-midi et une fois par mois le soir pour réviser et élargir leurs connaissances sur les accidents avec les toxiques, les urgences ophtalmologiques, l'anatomie, les médicaments d'urgence, la réanimation, les pansements, etc.

Les 20 pompiers se réunissent aussi une fois par mois pour des exercices sur le maniement du matériel, la connaissance des lieux, l'utilisation des moyens d'extinction ou l'évacuation des personnes.

Les secouristes et les pompiers effectuent souvent des exercices communs car leur intervention dans les cas réels doit être rapide et leur collaboration parfaite.

Des tâches croissantes

Le service de secours est depuis longtemps plus qu'un simple service de première intervention en cas d'accident et de maladie. En conformité avec la stratégie de l'Empa, il transmet son savoir dans des cours pour le personnel de l'Empa et de personnes exté-



Les samaritains et les pompiers en action.

rieures. Le séminaire «Le secourisme en direct» a eu lieu pour la 7e fois en 2002 avec près de 40 secouristes de toute la Suisse. De plus, des cours de réanimation cardio-pulmonaire et de défibrillation cardiaque sont offerts. Un programme de prévention active «Promotion de la santé au travail» va être lancé pour éviter que le travail ne rende malade.

Mais les quelques 500 personnes qui travaillent à Dübendorf ne sont pas les seules à pouvoir se sentir en sécurité. A Thoune, c'est le service de secours de l'armée qui assure les secours pour les deux laboratoires de l'Empa situés sur le territoire de la place d'armes. A St-Gall, un petit groupe de secouristes assure les premiers secours pour les 200 collaboratrices et collaborateurs. De plus, toutes les personnes nouvellement engagées suivent un cours de protection incendie.

Service de secours Empa/Eawag

Contact: Renato Figi

E-mail: renato.figi@empa.ch

Pompiers d'entreprise Empa/Eawag

Contact: Heinz Kühne

E-mail: heinz.kuehne@empa.ch

Une vie consacrée au développement de la sécurité



Theodor H. Erismann, est décédé le 8 août 2002. Président de l'Empa de 1969 à 1988, il fut aussi professeur ordinaire et membre fondateur du Département des matériaux de l'EPFZ.

Le professeur Erismann s'est consacré à la recherche sur les instruments pour le développement de la science des matériaux. La grande diversité de ses domaines d'intérêts – des mathématiques en passant par les transports ferroviaires, la construction de machines d'essai, la mécanique de la rupture, la fatigue des matériaux, la géotribologie des grands éboulements et jusqu'au domaine des frontières entre technique et psychologie – vient se refléter dans plus de soixante ouvrages et publications. Son engagement profond en faveur de la sécurité des personnes et de l'environnement s'est concrétisé dans de très nombreuses réalisations.



Empa en chiffres

Ressources humaines
Finances
Constructions
Production scientifique
Relations publiques

Ressources humaines

A la fin 2002 l'Empa employait 809 personnes, soit 38 de plus que l'année précédente. Cette augmentation est due à l'accroissement du nombre des collaborateurs scientifiques, en particulier au presque doublement de celui des doctorants (de 16 à 30). Cet accroissement est resté pratiquement sans effet sur les charges de personnel dont la légère augmentation n'est due qu'à l'adaptation au renchérissement du coût de la vie. Le pourcentage des femmes a passé de 24,4% l'année pré-



cédente à 25,1% en 2002; quatre postes de cadre sont actuellement occupés par des femmes. Le pourcentage de ressortissants étrangers a augmenté de 6,2% et atteint maintenant 23,5%, soit 183 personnes.

Au cours de l'année 2002, l'Empa a accueilli 70 stagiaires (année précédente 49) ainsi que 19 (17) diplômants de l'EPFZ, d'universités et de hautes écoles spécialisées. Les apprentis, au nombre de 29, étaient un peu moins nombreux que l'année précédente (31).

Les activités dans le domaine des ressources humaines ont été marquées principalement par les mesures qu'impliquent la nouvelle orientation stratégique et celles découlant de la nouvelle loi sur le personnel, de la migration à la caisse de pension Publica et du passage au nouveau système de rémunération.

Effectifs de personnel au 31.12. 2002

Catégories	Nombre de personnes	
	2002	2001
Professeurs	5	4
Personnel scientifique	328	293
Personnel adm. et techn. (apprentis compris)	476	474
Total (personnel à temps partiel compris)	809	771

Formation

Catégories	Nombre de personnes	
	2002	2001
Doctorants	30	16
Diplômants	19	17
Stagiaires	70	49
Apprentis	29	31

Finances

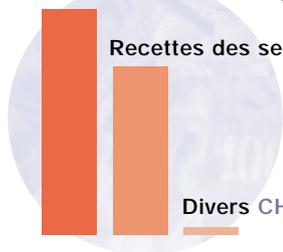
Les *recettes* pour 2002 se montent à 118,3 M de francs. Elles comprennent la contribution de la Confédération d'un montant de 81,5 M (89,3 M) ainsi que les recettes provenant des services et des fonds de tiers pour un montant de 36,8 M. Les recettes des services ont atteint 16,1 M de francs en 2002 et ont ainsi augmenté de 0,5 M par rapport à l'exercice précédent (15,6 M). Vu la situation conjoncturelle et le fait que l'Empa vise à réduire ses activités d'essai, ce résultat peut être qualifié de bon. Les fonds de tiers, avec un montant

Recettes CHF 36,8 millions

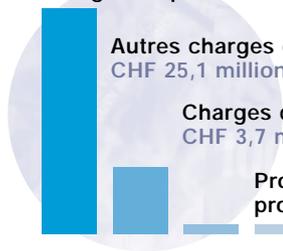
Fonds de tiers CHF 20,7 millions

Recettes des services CHF 15,4 millions

Divers CHF 0,7 millions

**Charges CHF 117,7 millions**

Charges de personnel CHF 85,3 millions

Autres charges de fonctionnement
CHF 25,1 millionsCharges de matériel
CHF 3,7 millionsProvisions pour
projets en cours
CHF 3,6 millions**Investissements CHF 8,9 millions**

Biens immobiliers CHF 5,0 millions

Biens mobiliers CHF 3,4 millions

Informatique CHF 0,5 millions

**Compte de résultat**

en millions de francs

2002

2001

Recettes

Contribution financière de la Confédération	81,5	89,3
Fonds de tiers	20,7	19,9
Recettes des services	15,4	14,9
Divers	0,7	0,7
Total des recettes	118,3	124,8

Charges

Charges de personnel	85,3	84,5
Charges de matériel	3,7	3,7
Autres charges de fonctionnement	25,1	28,1
Provisions pour projets en cours	3,6	3,9
Total charges pour activités en cours	117,7	120,3

Résultat

0,6

4,5

Investissements

Biens immobiliers	5,0	5,3
Biens mobiliers	3,4	8,7
Informatique	0,5	0,9
Total investissements	8,9	14,9

Des faits et des chiffres

de 20,7 M, ont augmenté de 0,8 M par rapport à l'exercice précédent. Environ 8,9 M de ces fonds de tiers proviennent de mandats de recherche; le reste se répartit ainsi: 6,8 M pour les projets de recherche des départements et 2,8 M provenant d'institutions de promotion de la recherche telles que la CTI et le FNS et 2,2 M des programme de recherche européens. Ce montant de 36,8 M de francs des recettes des prestations de service et des fonds de tiers couvre 31% des dépenses.

Les charges se montent 117,7 M de francs (120,3 M), le poste le plus important étant les frais de personnel qui, du fait du renchérissement et du léger accroissement des effectifs a augmenté de 0,8 M et atteint 85,3 M de francs. En outre, ces charges comprennent encore des montant de 25.1 M de francs pour les charges de fonctionnement, de 3,6 M de provisions pour les projets en cours et de 3,7 M pour les dépenses de matériel.

Les *investissements* dans les bâtiments et les installations se sont montés à 8,9 M de francs (14,9 M) en 2002, le montant consacré aux constructions étant de 5,0 M de francs (5,3 M). Le volume des investissements dans les biens mobiliers a diminué à 3,4 M de francs (8,7 M). Cette tendance à la baisse des investissements dans le parc de machines et d'appareils, due à une réduction des moyens budgétaires, est préoccupante. Les investissements dans l'informatique ont atteint 0,5 M de francs (0,9 M).



Résultat: Pour la première fois la comptabilité comprend un compte de résultat avec toutes les charges et les recettes avec les fonds de tiers et la participation financière de la Confédération. Les chiffres de l'année précédente ont été adaptés en conséquence. Depuis le 1.1.2000 la propriété des biens mobiliers et informatiques a passé à l'Empa et ils doivent ainsi être amortis, ce conduit à une diminution du résultat de 4,5 M à 0,6 M de francs.

Constructions

Aucun projet de construction important n'ayant été prévu pour 2002, les dépenses de construction (investissements et entretien) ont atteint un niveau moyen avec 6.5 M de francs. Une étude pour la rénovation du bâtiment des laboratoires et du bâtiment administratif a été réalisée. L'enveloppe de ces bâtiments qui datent des années 60 doit être rénovée et leurs installations optimisées.

L'Empa a aussi participé à l'étude du cahier des charges et aux travaux préparatoires d'un projet de construction de l'Eawag. Ce bâtiment abritera des surfaces à usage commun (foyer avec surfaces d'exposition, bibliothèque) ainsi que des locaux réservés à l'Empa offrant des possibilités de recherche et de démonstration (principalement sur l'enveloppe du bâtiment) pour le laboratoire «Energie et durabilité dans la construction».

Dans la perspective de ce projet, l'Empa et le département des constructions du Conseil des EPF ont développé un concept commun d'aménagement du site de Dübendorf ainsi qu'un inventaire détaillé du portefeuille immobilier avec des stratégies pour les affectations futures et les rénovations nécessaires.

Enfin l'Empa a aussi participé – avec d'autres milieux intéressés – à l'élaboration du «Plan directeur Giessen» destiné à déterminer les conséquences de la construction d'une nouvelle ligne de tram urbain sur l'affectation et la viabilisation des réserves de terrain de l'Empa, de l'Eawag et de la Confédération au sud de l'Ueberlandstrasse.



Production scientifique

Le nombre de publications a passé de 370 à 423 en une année, soit une augmentation de 14%. Les publications recensées selon le Science Citation Index Expanded (SCIE) a passé de 67 à 90 articles dont 67 publications SCI (science Citation Index). Pour ces dernières aussi on enregistre une augmentation notable si l'on considère que le nombre des publications SCI atteignait en moyenne 40 articles les dernières années.

Pour la troisième année consécutive, l'Académie Empa a vu ses activités augmenter notablement. Le nombre de manifestations organisées a passé de 71 à 106 et le nombre de participants a lui aussi augmenté d'environ 4600 à plus de 6000 personnes. Le nombre de brevets déposés, des contrats de licence et des spin-offs a lui par contre diminué. Il faut toutefois remarquer que l'Empa ne peut là exercer qu'une influence limitée et que des variations annuelles importantes sont à considérer comme normales. Une interprétation fiable devrait reposer sur une période suffisamment longue.

Production scientifique

	2002	2001
Publications		
• SCIE (dont SCI 67)	90	67
• autres	333	303
Total	423	370

Brevets déposés	10	14
Contrats de licence	2	6
Spin-offs/Start-ups	1	4

Académie Empa

• Manifestations	106	71
• Participants	6000	4600

Des faits et des chiffres

Relations publiques

Les relations publiques se sont centrées sur la recherche et le développement. L'Empa choisit dans les activités de ses cinq départements de recherche des thèmes pour les présenter à un large public. Il s'agit de faire connaître à la population des trois grandes régions linguistiques de notre pays ce que les milieux de la science et de la technique savent déjà depuis longtemps: L'Empa reste encore un laboratoire d'essai neutre mais le centre de ses activités en fait de plus en plus une institution de recherche et de technologie des matériaux du Domaine des EPF. Elle entretient et élargit aussi continuellement ses contacts avec la communauté de la recherche et avec les milieux de l'économie et de la politique. Elle a participé à de nombreuses foires et expositions, telles que l'exposition interprofessionnelle Materialica à Munich, la Foire industrielle de Hanovre (stand commun du Domaine des EPF) et à l'Intertech à Dornbirn. Elle a aussi manifesté sa présence dans de nombreuses émissions de télévision et de radio avec des thèmes tels que la lutte contre le bruit, les voitures à gaz ou ses installations Focused-Ion-Beam (FIB) qui, en plus de leur fonction de microscope, peuvent s'utiliser comme «établissement de réparation» pour les microprocesseurs électro-



niques. Le prix Lillehammer attribué à l'Empa pour son concept de revalorisation des composants des appareils électroniques usagés a rencontré un vif écho. Plus de 1000 personnes ont eu l'occasion de se faire une idée approfondie des activités de l'Empa lors des quelques 50 visites organisées pour un public de spécialistes. Enfin, le nouveau site Internet de l'Empa a reçu un accueil positif.

Roland Knechtle



Empa organisation

Direction et départements
Organes de l'Empa

Direction et départements

Prof. Dr Louis Schlapbach
Directeur



Prof. Urs Meier
Directeur suppléant





Walter Muster

Matériaux modernes,
leurs surfaces et interfaces



Dr Peter Richner

Matériaux et systèmes
de construction et d'ingénierie



Markus Rüedi

Matériaux et systèmes
pour la protection
et le bien-être du corps humain



Dr Xaver Edelmann

Technique de l'information,
de la fiabilité et de la simulation



Dr Peter Hofer

Mobilité et environnement



Roland Knechtle

Logistique, controlling et marketing

Organes de l'Empa

Conseil des EPF

Le Conseil des EPF dirige le Domaine des EPF qui comprend les deux Ecoles polytechniques fédérales et les quatre établissements de recherche PSI, WSL, Eawag et Empa

Président: Francis Waldvogel, Prof. Dr med., Genève

Délégué et vice-président: Stephan Bieri, Dr éc. publ., Zurich

Membres: Adriano Aguzzi, Prof. Dr med., Zurich
Monica Duca Widmer, Dr, ing. dipl. EPF, Manno
Beth Krasna, ing. dipl. EPF, Lausanne
Jacques Rognon, Dr sc. nat., Corcelles
Heinrich Rohrer, Dr sc. nat., Wollerau
Alois Sonnenmoser, ing. dipl. ETS, Baden

Commission consultative

Commission formée de personnalités de premier plan qui conseillent le Conseil des EPF et la direction de l'Empa sur les questions fondamentales touchant l'Empa.

Président: Peter Loew, Dr, Bâle

Membres: Peter Edelmann, Wetzikon
Thomas Hinderling, Dr, Neuchâtel
Markus Oldani, Dr, Baden
Max Oppliger, Dr, Zurich
Fiorenzo Scaroni, Dr, Manno
Walter Steinmann, Dr, Berne
Thomas von Waldkirch, Dr, Zurich

Commission de l'industrie

Commission de 20 membres réunissant des délégués d'entreprises et d'organisations des secteurs de l'industrie, des services, de la technologie, du commerce, de la protection des consommatrices et des consommateurs et des instances officielles de la Suisse et de l'étranger.

Président: Bernhard Bischoff, St-Gall

Commission de la recherche

La Commission de la recherche conseille la direction de l'Empa sur la recherche en général, sur le choix des activités R+D ainsi que dans l'évaluation des projets R+D internes. Elle se compose – en plus de chercheurs et de chercheuses de l'Empa – des chercheurs et des directeurs d'instituts de recherche suisses et étrangers suivants :

R.W. Kahn, Prof. Dr, University of Cambridge, Grande-Bretagne
Erbert K. Einstein, Prof. Dr, MIT, Cambridge, USA
Paolo Ermanni, Prof. Dr, Ecole polytechnique fédérale, Zurich
Walter Giger, Prof. Dr, Eawag, Dübendorf
Teruo Kishi, Prof. Dr, Président du National Institute for Materials Science, Ibaraki, Japon
Karl Knop, Dr, Vice-président CSEM, Zurich
Erkki Leppävuori, Prof., Directeur VTT, Finlande
Jan-Anders Manson, Prof. Dr, Ecole polytechnique fédérale, Lausanne
Klaus Müllen, Prof. Dr, Directeur Max Planck-Institut für Polymerforschung, Mainz, Allemagne
Jan G.M. Van Mier, Prof. Dr, Ecole polytechnique fédérale, Zurich

Le rapport d'activité «EMPA Activities 2002» (en anglais) ainsi que les rapports annuels antérieurs et d'autres documents d'information peuvent être obtenus directement à l'adresse suivante:

EMPA, Relations publiques
Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf
Fax +41 (0)1 823 40 31
E-mail: susan.alder@empa.ch

Laboratoire fédéral d'essai
des matériaux et de recherche

Eidgenössische Materialprüfungs-
und Forschungsanstalt

Swiss Federal Laboratories for
Materials Testing and Research

Laboratorio federale di
prova dei materiali e di ricerca

Institut federal da controlla da material
e da retschertgas



Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf
Téléphone +41 (0)1 823 55 11
Fax +41 (0)1 821 62 44

Lerchenfeldstrasse 5
CH-9014 St. Gallen
Téléphone +41 (0)71 274 74 74
Fax +41 (0)71 274 74 99

Feuerwerkerstrasse 39
CH-3602 Thun
Téléphone +41 (0)33 228 46 26
Fax +41 (0)33 228 44 90

www.empa.ch

