

# Concours



## Que sais-tu des matières premières?

Les matières premières sont partout: téléphones mobiles, écrans plats ou cellules photovoltaïques n'existeraient pas sans certains métaux rares. Ce sont des ressources précieuses mais leur quantité disponible est limitée. C'est pourquoi nous devons utiliser ces matériaux avec parcimonie. Que sais-tu des matières premières précieuses, de leur extraction, de leur utilisation et de leur recyclage? Teste tes connaissances et remporte un chouette sac en matière recyclée.

### Cinq sacs tendance recyclés à remporter

En donnant les bonnes réponses, tu peux remporter un sac «Dagnet» signé Freitag – 100 % recyclé à partir d'anciennes bâches de camion, ceintures de sécurité et chambres à air de vélo. Si tu le souhaites, tu peux concevoir toi-même ton sac sur place (Zürich-Hardbrücke). Le concours est ouvert jusqu'au 15 mars 2010.

[www.satw.ch/concours](http://www.satw.ch/concours)

**SATW**

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften  
Académie suisse des sciences techniques  
Accademia svizzera delle scienze tecniche  
Swiss Academy of Engineering Sciences

**a+** Membre des  
Académies suisses des sciences

**techno**  
*scope* 3/09

Le magazine de la technique pour les jeunes

## Précieuses matières premières

Origine des matières premières

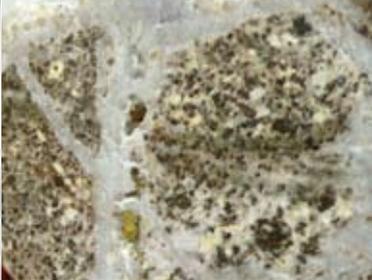
Matières premières rares  
dans les téléphones mobiles

Les matières premières  
dans nos déchets

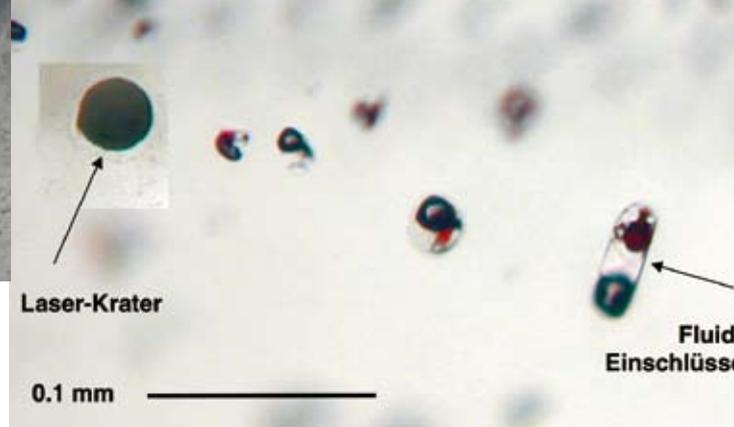
De chouettes sacs  
en matériaux recyclés à gagner



Une doctorante de Christoph Heinrich explique à l'Ambassadeur suisse en Bulgarie (de g. à dr.) la géologie de la mine de cuivre d'Assarel en Bulgarie.



La plus grande mine de cuivre au monde, Chuquibambilla, Chili



Une fine plaque de quartz d'une veine de minerai dévoile au microscope de minuscules inclusions de fluide riche en sel.

# A l'origine des matières premières

**La Suisse consomme chaque année plusieurs dizaines de milliers de tonnes de cuivre, surtout pour les câbles électriques. Christoph Heinrich et son groupe de recherche reviennent sur les origines de cette matière première avec une analyse ultra moderne et des simulations informatiques.**

Le Professeur Christoph Heinrich s'intéresse aux volcans. Pas seulement parce qu'ils sont dangereux ou à cause de leur magma fascinant mais parce qu'il y a souvent de gros gisements de cuivre dans leurs environs. C'est le cas au Chili qui abrite une chaîne de volcans le long de la Cordillère des Andes. Le cuivre se forme dans les roches magmatiques par une série de processus géologiques. Christoph Heinrich, géologue à l'Institut de Géologie des Isotopes et des Matières Premières Minérales de l'ETH Zurich, explique: «Là où ces mécanismes se produisaient il y a 30 millions d'années, le minerai de cuivre est remonté dans les couches terrestres proches de la surface suite à l'érosion continue des roches supérieures. Nous pouvons aujourd'hui extraire du cuivre de ces gisements».

## Interroger la roche sur son histoire

Mais Heinrich ne s'intéresse pas prioritairement à l'extraction et aux applications du cuivre. Il laisse cela aux sociétés minières spécialisées. Il préfère nettement savoir où, quand et dans quelles circonstances cette matière première est apparue il y

a des millions d'années. Son travail commence généralement par l'examen des cartes d'un territoire abritant potentiellement du cuivre. Les cartes géologiques renseignent sur la manière dont les montagnes actuellement visibles et les minerais sont apparus il y a des millions d'années dans les profondeurs de volcans éteints depuis longtemps.

Les échantillons de roche analysés par Heinrich au laboratoire proviennent souvent de forages de sociétés commerciales. «Les entreprises industrielles font des forages pour savoir où se trouve le minerai de cuivre pas encore découvert et dans quelle concentration. De notre côté, nous utilisons les éléments de forage comme des «échantillons» de l'ancien processus de formation du minerai pour obtenir des connaissances de base sur la formation de cette matière première.» Pour cela, les chercheurs examinent de minuscules inclusions dans les veines de quartz de la roche de minerai, pas plus épaisses qu'un cheveu, et y trouvent des gouttelettes de liquide ou d'infimes quantités d'un mé-

lange de gaz, appelés fluides. Ces fluides ont été piégés dans le minerai il y a des millions d'années et ont enrichi à l'époque des métaux précieux (cuivre, molybdène et de grandes quantités d'or) dans de nombreuses failles de la roche. Le quartz est percé à l'aide d'un laser jusqu'à ce que le mélange de fluide sorte de sa cavité et puisse être analysé avec un spectromètre de masse. Grâce à cet appareil, les chercheurs peuvent mesurer avec précision la composition chimique d'un liquide riche en sel ou d'un mélange gazeux ainsi que la concentration des différents éléments. A l'aide de ces données, ils peuvent dire à quelle profondeur, dans quelles conditions chimiques et sous quelles pressions et températures le cuivre est apparu – même si ce phénomène remonte à plusieurs millions d'années.

L'analyse de nombreux échantillons de roche différents et de leurs inclusions permet de reconstruire l'histoire géologique de toute une région. C'est pourquoi Heinrich parle aussi d'«archives géologiques» lorsqu'il évoque les volcans éteints et leur environnement. Grâce aux simulations informati-

ques sur base de mesures provenant de ces archives, Heinrich peut retracer le mouvement des fluides dans le sous-sol. Les chercheurs peuvent, par exemple, calculer la vitesse d'écoulement des fluides qui dépend de la distribution de pression et de la perméabilité de la roche.

«L'analyse des échantillons de roche permet de reconstruire l'histoire géologique de toute une région.»

«Mine d'or» devant la porte  
Qu'en est-il de la Suisse? N'avons-nous pas de gisement de cuivre avec toutes nos montagnes?

«Les Alpes ne comptent pratiquement aucune roche volcanique et, par conséquent, pas de

gisements de minerais de cuivre importants», explique Heinrich. Heureusement, les étudiants d'Heinrich ne doivent pas s'envoler pour le Chili pour chaque échantillon de roche. La poursuite des Alpes en Roumanie et en Bulgarie est la région la plus proche comparable aux volcans chiliens. Les chercheurs et sociétés s'y intéressent non seulement pour le cuivre mais aussi pour un métal encore plus précieux, l'or, qui est extrait des Carpates depuis l'époque romaine.



# Les téléphones mobiles – bien plus précieux qu'on ne le pense

**Les téléphones mobiles sont des œuvres d'art techniques qui ne fonctionneraient pas sans une série de matières premières rares. Il est d'autant plus important de les éliminer dans les règles pour pouvoir recycler les précieux composants.**

1,3 milliard de téléphones mobiles ont été vendus dans le monde l'an dernier, dont 2,8 millions rien qu'en Suisse. Si ces appareils ont une durée de vie d'environ 7 ans, les Suisses les remplacent généralement au bout de 12 à 18 mois. Mais seuls 15 % des anciens appareils reviennent dans le commerce ou les points de collecte. Les autres sont manifestement jetés sans plus d'attention ou traînent dans un tiroir tiroir – un gaspillage inutile alors que chaque mobile se compose de nombreuses matières premières précieuses.

Un téléphone mobile contient des composants très différents. Plus de la moitié de l'appareil (boîtier, clavier et circuits imprimés) est en plastique. Les pièces métalliques comme les pistes, les composants électroniques et mécaniques représentent un quart de l'appareil. Un autre sixième est représenté par l'écran en verre et différentes pièces en céramique. Les trois pour cent restants sont des

matériaux comme les cristaux liquides et les retardateurs de flammes.

## Mélanges complexes

D'un point de vue chimique, les téléphones mobiles sont des mélanges complexes. Un appareil normal comprend plus de 40 éléments : lithium, béryllium, titane, chrome, nickel, cuivre, arsenic, argent, or et platine de même que silicium, soufre, bore et chlore. La plupart de ces éléments ne sont présents qu'en très faibles quantités. Un téléphone mobile ne contient par exemple que 24 milligrammes d'or – ce qui équivaut à peine à une petite fraction d'une tête d'épingle. Et d'autres éléments rares comme le tantale, le palladium et l'indium ne s'y trouvent que

sous forme de traces. Ce sont précisément ces éléments rares qui sont importants. Sans eux, les téléphones mobiles ne seraient pas aussi compacts et performants. Le tantale, par exemple, est utilisé pour obtenir de minuscules

condensateurs essentiels dans les circuits électroniques. Le palladium est utilisé dans des alliages pour les points de contact et, sans indium, le palladium et le tantale extraits ont été commercialisés ces 30 dernières années.

Si l'on additionne les faibles quantités présentes dans tous les téléphones mobiles, on arrive à des quantités impressionnantes: 325 tonnes d'argent, 31 tonnes d'or, 12 tonnes de palladium, 12 000 tonnes de cuivre et 4900 tonnes de cobalt sont nécessaires chaque année pour fabriquer de nouveaux téléphones mobiles. La consommation des éléments exotiques très

rare dans la nature a explosé ces dernières années. Par exemple, près de  $\frac{3}{4}$  de tout l'indium, le palladium et le tantale extraits ont été commercialisés ces 30 dernières années.

Personne ne peut dire combien de temps cette extraction pourra se poursuivre. Des sonnettes d'alarme sont régulièrement tirées: les réserves mondiales d'indium épuisées dans cinq à dix ans déjà. Même si ces avertissements semblent exagérés à ce jour, l'industrie admet l'importance du recyclage. Toutefois, les éléments rares sont très difficiles à retirer des vieux appareils électroniques.

«Un mobile est fait de composants très différents.»

## Le recyclage en vaut la peine!

Contrairement aux autres appareils électroniques, seule une infime partie des téléphones mobiles sont recyclés en Suisse. Pourtant, jeter un mobile signifie non seulement perdre des matières premières précieuses mais aussi rejeter dans l'environnement des métaux lourds nocifs. C'est pourquoi il est important d'éliminer les vieux mobiles dans les règles. Si tu en as un à la maison, tu peux le rapporter gratuitement

dans tous les points de vente (téléboutiques, magasins d'électroménagers, Poste et grandes surfaces) ou dans le point de collecte de ta commune.

Le recyclage est financé par une taxe prélevée à l'achat des nouveaux appareils. Jeter son mobile revient donc à payer pour un service qu'on n'utilise pas!



Simon, Rachel, Jessica, Brigitte, Marc et Oliver suivent le recyclage des piles.



▲ Les barres de ferromanganèse sont très chaudes!  
◀ Immense installation de recyclage des piles

## «L'incinération» des piles pour la production de nouveaux matériaux

La société Batrec de Wimmis assure le recyclage de 120 millions de piles suisses chaque année. Les élèves du gymnase d'Interlaken ont pu se rendre compte de l'ampleur du travail. Au terme de la visite guidée, tous étaient d'accord: le jeu en vaut la chandelle!

Difficile de se passer de mobiles, lecteurs MP3, appareils photos numériques et ordinateurs portables aujourd'hui. Pour que ces appareils soient mobiles, le courant est stocké dans des

«C'est incroyable de voir la consommation annuelle de piles en Suisse!» otiver

accus, des batteries rechargeables. Il se vend chaque année plus de 5 milliards de batteries et accus en Europe, dont 120 millions rien qu'en Suisse. Ces éléments contiennent des substances comme l'étain, le zinc, le plomb et le manganèse dangereux pour l'environnement et l'homme. Malgré cela, près d'un tiers des piles atterrissent encore dans le sac poubelle et ensuite à l'installation d'incinération des déchets au milieu des restes de légumes et des pots de yaourt. «Si nous recyclons les piles usagées au lieu de les jeter dans nos déchets, nous contribuons largement à la préservation de nos ressources. En outre, nous protégeons

l'environnement des métaux lourds et substances nocives», explique Reiner Werren de la société Batrec.

### Pyrolyser, fondre et condenser

Le processus de recyclage commence avec l'acheteur qui ramène ses piles et accus usagés au magasin. Tout vendeur de piles est tenu de les reprendre gratuitement et de les collecter. Il existe plus de 12 000 points de collecte de ce genre en Suisse. Les piles sont enlevées par un camion dans les points de vente et acheminées vers la société Batrec à Wimmis où elles sont triées par taille et composition chimique. Les substances étrangères comme les pièces en plastique sont éliminées. Les batteries sont ensuite soumises à pyrolyse, à des températures pouvant atteindre 700°C. On entend par pyrolyse la fusion des piles avec le moins d'oxygène possible. Les pièces en plastique et papier des batteries sont charbonnées et l'énergie libérée est utilisée. L'eau et le mercure s'évaporent. «Le mercure très nocif pour la santé est condensé dans un procédé de distillation et re-

vient sur le marché avec une pureté de 99,99 %», explique Werren. Les gaz d'échappement comme la dioxine et le furane – des composés organiques toxiques se formant comme produits secondaires – sont ensuite incinérés à plus de 1000°C.

Les batteries pyrolysées sont acheminées dans le four de fusion à 1500°C. Le zinc, premier élément à s'évaporer, est recueilli via un condenseur et revendu ensuite à des zingeries qui l'utilisent pour protéger le fer de la rouille. Les collaborateurs qui travaillent sur l'immense four de fusion portent des tenues de protection spéciales. On dirait qu'ils sont emballés dans du papier aluminium. Ces tenues les protègent des hautes températures et des étincelles produites lors de la fusion de la coulée de fer et manganèse restant dans le four. La masse fondue est ensuite refroidie en barres de ferromanganèse solides utilisées dans l'industrie pour réguler la dureté de l'acier. Les scories flottant sur la masse aboutissent après refroidissement à la décharge sous forme de matière noire.

«C'est étonnant de voir le nombre de composants des piles qui peuvent être recyclés; cela vaut vraiment la peine de les rapporter aux points de collecte!»

Rachel

Qui finance le recyclage onéreux des piles, l'immense four et la centrale de commande moderne qui ressemble à une tour de contrôle avec tous ses ordinateurs? «Pour chaque pile vendue en Suisse, le consommateur paie une taxe anticipée de recyclage qui finance la collecte, le transport et le recyclage. Cette taxe garantit une élimination dans les règles», explique Werren fièrement.

### Bilan du recyclage des piles

- Le recyclage de 1000 kg de batteries usagées produit
- 50 - 100 kg de matières organiques (plastique, papier, cire)
  - 50 - 100 kg de carbone
  - 50 - 100 kg d'eau et de sels
  - 300 kg de ferromanganèse
  - 200 kg de zinc
  - 0.3 kg de mercure
  - 80 kg de scories

(Source: Batrec)

Cathleen Hoffmann, ingénieure civile  
et «recycleuse de béton»



«Heavy Metal – dans les loisirs et au travail»  
Le portrait d'une profession avec Thomas  
Schluchter, ingénieur de production chez  
Batrec et membre d'un groupe de rock.

[www.simplyscience.ch](http://www.simplyscience.ch)

**Comment bâtir du neuf à partir de gravats? Cathleen Hoffmann, chercheuse à l'EMPA, s'intéresse au recyclage du béton. Pour cela, cette ingénieure civile a dû s'imposer dans un domaine masculin et est aujourd'hui persuadée d'une chose: quand on veut, on peut.**

## Happy end après une «vallée de larmes»

J'ai grandi en Allemagne de l'Est et j'ai fréquenté l'école primaire à Dresde. Au gymnase, j'ai décroché en même temps un diplôme d'apprentissage en construction; c'était encore possible en ex-RDA. A cette époque, j'ai maçonné une cheminée au 7e étage, dans le froid et la pluie de novembre – c'était très dur physiquement. Mais ça ne m'a pas empêchée d'opter pour 5 ans d'études d'ingénieur civil après avoir décroché mon baccalauréat. Mes parents m'ont raconté plus tard que, enfant, j'aimais déjà jouer avec des blocs de construction pour bâtir des maisons. Naturellement, j'ai aussi pensé devenir architecte. Mais les architectes doivent sans cesse dessiner de nouveaux projets parce que les maîtres d'ouvrage estiment que certaines parties ne sont pas réalisables. Travailler sur des chantiers m'intéressait davantage. Même si la construction est un domaine masculin, mes amis et ma famille ont bien réagi à ma décision et m'ont toujours soutenue dans mon choix.

«Dans un souci écologique, il serait intéressant de recycler l'ancien béton.»

**Direction de chantiers dans toute l'Allemagne**  
Après mes études, j'ai travaillé pendant 4 ans dans une grande entreprise de construction où j'ai assumé la direction de chantiers dans toute l'Allemagne. Je devais contrôler l'avancée des travaux et veiller au respect du budget et des délais ainsi qu'à la qualité des travaux. La cheffe de chantier coordonne aussi les ouvriers du chantier, notamment des maçons, installateurs-électriciens et installateurs sanitaires. Je travaillais 6 jours par semaine, souvent jusque tard le soir. Il me restait peu de temps pour mes loisirs, surtout la danse et les voyages; en outre, il y avait toujours des partenaires qui pensaient qu'une jeune femme n'était pas capable de faire ce travail. Cette période a aussi parfois été une «vallée de larmes». Malgré toutes mes expériences positives, je ne pouvais pas imaginer faire ce métier exigeant toute ma vie. Ça aurait aussi été difficile de fonder une famille dans ces conditions. C'est pourquoi j'ai décidé de suivre une forma-

tion complémentaire d'un an et demi dans le domaine de la gestion et du marketing. Durant cette formation, j'ai passé 4 mois en Angleterre, ce qui m'a permis d'améliorer ma connaissance de l'anglais. Comme remarqué pendant mes voyages, les langues sont quelque chose d'important et de précieux.

**Apporter l'expérience pratique à la recherche**  
Il y a 8 ans, j'ai rencontré mon mari et j'ai cherché un nouveau travail. Je n'avais jamais pensé à la recherche avant de voir une offre d'emploi de l'EMPA. L'EMPA recherchait quelqu'un qui avait de l'expérience pratique pour le développement d'un nouveau béton autocompactant. J'étais enthousiasmée parce que cela m'incitait à transposer mes connaissances pratiques dans la recherche. Dès 2006, l'EMPA a commencé à s'intéresser au recyclage du béton en collaboration avec l'Office zurichois des bâtiments et des partenaires de l'industrie. Beaucoup de bâtiments en béton construits dans les années 1960 et 1970 ne répondent plus aux besoins actuels des locataires et sont démolis, ce qui génère d'énormes quantités de gravats qui, auparavant,

étaient mis en décharge. Mais, dans un souci écologique, il serait intéressant de recycler l'ancien béton car les réserves de graviers pour le produire ne sont pas infinies et la place est limitée dans les décharges. A l'EMPA, nous fabriquons donc du nouveau béton à partir de l'ancien et étudions sa rigidité, sa résistance à la compression et à partir de quelle charge les fissures apparaissent. Pour cela, nous mettons des éléments en béton recyclé sous pression à l'aide d'immenses machines aussi lourdes qu'un éléphant et qui déploient des forces gigantesques. J'interprète ensuite les résultats sur l'ordinateur et je réfléchis à la manière d'améliorer les propriétés du béton recyclé.

Parallèlement à mon travail de scientifique, je suis aussi responsable de l'égalité des chances à l'EMPA. Je veille à ce que les hommes et les femmes aient les mêmes chances professionnelles et à ce que les travailleurs puissent concilier travail et vie de famille. Depuis 2 ans, je suis moi-même maman et j'ai toujours voulu combiner travail et famille. Chaque jour passé à l'EMPA est source de nouvelles joies pour moi; j'apprécie surtout de pouvoir m'entretenir avec mes collaborateurs – je ne pourrais jamais rester seule à la maison ou dans un bureau.

# AHA!



## Précieux indium

L'indium est un des éléments les plus rares de la terre. Dans la croûte terrestre, 100 tonnes de roche solide ne contiennent en moyenne que 24 grammes d'indium. Le métal est presque aussi rare que l'argent mais, n'étant pas précieux, il est peu connu. Il est toutefois très important pour notre société puisqu'il constitue un matériau indispensable pour la fabrication d'écrans modernes et de cellules photovoltaïques.



L'indium est traité notamment en indium-étain-oxyde – en anglais: «indium tin oxide» (ITO). L'ITO n'est pas seulement conducteur d'électricité mais aussi transparent. C'est pour cela qu'il est utilisé dans les écrans plats, écrans tactiles et afficheurs: l'ITO est déposé en couche mince sur les cellules de cristaux liquides sous forme de conducteur électrique transparent et commande alors l'affi-

chage sur les écrans. De plus, l'ITO est utilisé pour les cellules photovoltaïques en couche mince – ici aussi grâce à ses propriétés particulières.

Ces dernières années, la consommation d'indium a fortement augmenté: on est passé d'env. 50 tonnes par an à la fin des années 1980 à plus de 500 tonnes par an aujourd'hui. Cela explique aussi l'envol de son prix. Comme les cellules photovoltaïques en couche mince connaîtront un immense succès ces prochaines années, la consommation d'indium pourrait continuer d'augmenter. Mais les réserves d'indium actuellement connues sont très limitées – elles sont estimées à quelque 10 000 à 15 000 tonnes. Il faut donc craindre leur prochain épuisement. Comme très peu de matériaux ont des propriétés similaires à l'ITO, il ne sera pas facile de remplacer cette matière première.

L'élément indium a été découvert en 1863. Lorsque les chimistes Ferdinand Reich et Theodor Richter ont analysé un échantillon de minerais, ils ont découvert une raie spectrale indigo inconnue jusqu'alors. Le nouvel élément a été appelé indium en raison de cette couleur.

## A voir

### Tram des Ingénieurs

2009-2011 sur les lignes de tram de Zurich: visionner des courts-métrages. Découvrir où se cachent les œuvres des ingénieurs et comment ces derniers rendent notre quotidien plus sûr et plus confortable – c'est désormais possible pendant un trajet en tram à Zurich.

[www.ingenieurtram.ch](http://www.ingenieurtram.ch)

### Recyclage des batteries

Un film de 8 minutes sur le recyclage des batteries

[www.batrec.ch](http://www.batrec.ch)

### Recycleur

Description de la profession sur SF Wissen mySchool

[www.sf.tv/sendungen/myschool/detailinfo.php?docid=3251](http://www.sf.tv/sendungen/myschool/detailinfo.php?docid=3251)

### focusTerra

Présenter des phénomènes spectaculaires et des trésors si que leur importance dans le quotidien – telle est l'ambition du centre de recherche et d'informations sur les sciences de la terre de l'ETH Zurich.

[www.focusterra.ethz.ch](http://www.focusterra.ethz.ch)

### Mentions légales

SATW Technoscope 3/09, décembre 2009

[www.satw.ch/technoscope](http://www.satw.ch/technoscope)

Conception et rédaction: Dr Béatrice Miller

Collaborateur rédactionnel: Dr Felix Würsten, Samuel Schläfli

Photos: Franz Meier, SWICO, ETH Zürich, Tram des Ingénieurs; Michèle Stäubli, Freitag

## A lire

### Métaux rares

Un dossier sur les éléments que nous utilisons quotidiennement mais dont nous ne savons presque rien.

[www.simplyscience.ch](http://www.simplyscience.ch) (Aha! / Dossiers)

### Handy Recycling

[www.swicorecycling.ch/f/information\\_handydays.asp](http://www.swicorecycling.ch/f/information_handydays.asp)

### Recyclage en Suisse

Brochure «Préserver les matières premières, économiser l'énergie, réduire les déchets»

[www.swissrecycling.ch](http://www.swissrecycling.ch)

### Sciences et génie des matériaux

Informations sur les études et la profession

[www.berufsberatung.ch/dyn/5350.aspx?id=4451&searchsubmit=true&id\\_theme=33&id\\_uni=3046](http://www.berufsberatung.ch/dyn/5350.aspx?id=4451&searchsubmit=true&id_theme=33&id_uni=3046)

### Les ingénieurs forgent l'avenir

Un aperçu du monde fascinant et multiple de la technique

[www.satw.ch](http://www.satw.ch)

### Abonnement gratuit et commandes

SATW, Seidengasse 16, CH-8001 Zürich

E-mail [redaktion.technoscope@satw.ch](mailto:redaktion.technoscope@satw.ch)

Tél +41 (0)44 226 50 11

Technoscope 1/10 paraîtra en avril 2010 sur le thème de «La technologie alimentaire».