
Technology Outlook 2017

Version française

Impressum

Direction du projet

René Dändliker | Claudia Schärer

Auteurs

Konstantinos Boulouchos | Bernhard Braunecker | Mathias Bucher | Ulrich Claessen | Achim Ecker | Xaver Edelmann | Elgar Fleisch | Robert Frigg | Johannes Gassner | Anton Gunzinger | Daniel Gyax | Bernhard Hämmerli | Christoph Harder | Rita Hofmann | Pavel Hora | Rolf Hügli | Matthias Kaiserswerth | Wolfgang Kröger | Urs Mäder | Peter Seitz | Roland Siegwart | Adriaan Spierings | Erich Windhab

Rédaction

Christine D'Anna-Huber | Beatrice Huber

Review

Urs von Stockar | Andreas Zuberbühler

Traduction

Maud Capelle

Photos

Fotolia

Avril 2017

Glossaire

Technologie des capteurs

La technologie des capteurs sert à mesurer les variations dans les systèmes environnementaux, biologiques et techniques. Les capteurs sont des dispositifs de mesure qui réagissent à un stimulus physique ou chimique spécifique et le convertissent en un signal correspondant – généralement électrique ou optique.

Technologie des actionneurs

La technologie des actionneurs traite de la conversion de signaux de commande en valeurs physiques comme par exemple le mouvement mécanique, la déformation plastique, la force, la pression ou la température. La technologie des actionneurs joue un rôle important dans de nombreuses disciplines techniques comme la technique de transmission, la technique de régulation, l'automatisation, la mécatronique et de nombreuses technologies de production.

Industrie 4.0

L'industrie 4.0 ou la quatrième révolution industrielle désigne la combinaison de la production industrielle avec des techniques de pointe de l'information et de la communication. Un aspect central est l'utilisation des technologies Internet pour la communication entre les individus, les machines et les produits. Un exemple souvent cité est la machine de production dont les capteurs détectent à temps qu'un outil doit être remplacé, vérifient l'inventaire dans les entrepôts et, si besoin est, commandent de manière autonome la pièce de rechange nécessaire auprès du fournisseur.

Intelligence artificielle

L'intelligence artificielle tente d'équiper les ordinateurs d'une capacité de perception et de résolution des problèmes semblable à celle de l'intelligence humaine. Grâce à l'intelligence artificielle un ordinateur peut aussi «reconnaître» l'origine d'un problème. Il peut analyser ses expériences passées, étudier plusieurs solutions possibles, et se baser sur ses expériences pour sélectionner la plus adaptée et en tirer les leçons. Il se crée ainsi une génération de machines capables de résoudre des problèmes cognitifs complexes: elles lisent des textes, comprennent le langage, analysent leur environnement, interprètent des images, établissent des liens et des rapports, et en tirent des conclusions de manière autonome.

Cloud

Le cloud computing permet d'accéder par le biais d'Internet, aisément et à la demande, à tout moment et de tout endroit, à un ensemble partagé de ressources informatiques configurables (p.ex. réseaux, serveurs, dispositifs de stockage, applications et services) qui sont mises à disposition rapidement et facilement, sans grande interaction avec le fournisseur de services.

Fabrication additive

A partir d'un modèle 3D, les procédés de fabrication additive fabriquent des pièces en couches successives de matière informe. Grâce à la décomposition virtuelle d'un élément tridimensionnel en de nombreuses «tranches» bidimensionnelles, la complexité de la pièce n'influe que très peu sur sa fabricabilité et ses coûts de fabrication. Selon le procédé employé, les technologies de fabrication additive permettent de réaliser des objets de démonstration, des prototypes fonctionnels ou des composants pour application en série. La fabrication additive offre une grande liberté de conception et la possibilité de fabriquer des produits individualisés.

Sommaire

Avant-propos	3
Executive summary	4
Introduction	7
Le monde numérique	9
La quatrième révolution industrielle	9
Intelligence artificielle	14
Robotique	17
Des systèmes d'énergie et de mobilité pour l'avenir	20
Blockchain et bitcoins	21
Procédés de fabrication	23
Technologies novatrices	23
Fabrication additive	24
Optimisation des processus	25
Autres technologies	27
Photonique et optique	27
Biotechnologie	27
Technologie alimentaire	28
Technique médicale	29
Des emballages respectueux de l'environnement	31
L'économie et la société en profonde mutation	33
Références	34
Glossaire	Rabats

Avant-propos

Il y a assez exactement deux ans paraissait le premier SATW Technology Outlook. Il s'agissait d'un ballon d'essai – il a été bien accueilli et nous étions satisfaits du résultat. Mais comme le sait chaque auteur, lorsqu'on se repenche sur son travail un an plus tard, on y repère immédiatement des faiblesses et des oublis. Dans notre cas, on prend aussi conscience du fait que toute mise en perspective du futur technique et scientifique à un horizon proche est par définition de nature quelque peu éphémère. Il devient facile de se convaincre soi-même et de convaincre les autres de s'atteler à une nouvelle édition. L'équipe de rédaction du Technology Outlook a resserré les mailles de son filet et l'a lancé de manière encore plus étendue que la dernière fois. Vous tenez entre vos mains le résultat de ce travail, le SATW Technology Outlook 2017.

Un aspect frappant de ce nouveau Technology Outlook est la forte présence du «monde numérique», qui découle de l'interconnexion et de l'imbrication toujours plus étroites des réalités informatique et physique, des univers virtuel et réel. Il apparaît clairement à quelle vitesse ces processus se déroulent et quelle prédominance le monde digital a acquis dans notre vie quotidienne, au travail et à la maison. L'Internet des objets, la cybercriminalité, l'intelligence artificielle, la robotique et la technologie blockchain commencent tous déjà à faire sentir leur présence, mais nous ne sommes encore qu'à peine conscients de leurs bénéfices et de leurs risques potentiels. On peut comprendre que cette situation ne provoque pas dans l'opinion publique un enthousiasme unanime mais aussi des craintes bien fondées.

Une importance du même ordre revient aux procédés de fabrication. La Suisse doit sa position économique favorable en grande partie à la fabrication d'éléments de qualité supérieure à des prix raisonnables. L'industrie MEM, de loin le principal employeur industriel, a majoritairement pu absorber le «choc du franc» il y a deux ans. Mais la nécessité de faire front au niveau technique à une pratique industrielle en pleine et rapide mutation s'impose avec évidence. Ce contexte appelle non seulement des industriels agiles et des employés disposés à se former, mais aussi une politique flexible et pragmatique. On assiste en matière de fabrication à l'apparition de nouvelles méthodes, par exemple la fabrication additive, qui présentent un intérêt tout particulier pour les petites séries. Elles permettent de livrer des pièces de rechange sur la durée en se passant de grands entrepôts.

Enfin, le rapport identifie une petite douzaine de nouvelles technologies prometteuses qui revêtent toutes une grande importance industrielle et macroéconomique. Et il clôt sur l'exhortation peu commune pour un rapport de ce type à éviter au possible les emballages plastiques ou du moins à les rendre réutilisables; ainsi que sur une vision perspective à plus long terme de la petite nation industrielle qu'est la Suisse, nous invitant tous à faire preuve de vigilance et de prudence.

Ulrich W. Suter | Président de la SATW

Executive summary

Le monde numérique

La numérisation de notre quotidien, mais aussi de l'économie et de l'industrie, est bien avancée; la capacité et la rapidité croissantes de traitement et de transmission des données l'amplifient encore. C'est ce que révèle aussi le présent Technology Outlook: la moitié de ses articles concernent des aspects futurs du monde numérique.

Mise en réseau et industrie 4.0: Les réseaux numériques déjà omniprésents qui permettent la collecte électronique de données ainsi que le contrôle et la commande numériques de machines, d'appareils et de systèmes offrent la base idéale pour une interconnexion toujours plus dense. Le terme «industrie 4.0» (ou quatrième révolution industrielle) désigne la combinaison et l'imbrication de la production industrielle avec des techniques de pointe en matière d'information et de communication: les individus, les machines, les installations et les produits communiquent les uns avec les autres et entre eux. Avec l'Internet des objets, les mondes numérique et physique se fondent en produits et en services. Dans ce nouveau monde hybride, les entreprises suisses présentent pour quasiment tous les secteurs un retard considérable. Les fabricants de capteurs doivent parvenir à réunir trois compétences clé: la technologie des capteurs, un traitement intelligent des données à proximité des capteurs (capteurs intelligents) ainsi que l'agrégation et l'hébergement des données dans le cloud. Malgré une technologie de base standardisée en matière de matériels et de logiciels, il est évident que dans l'industrie 4.0 les solutions se conçoivent au cas par cas de tâches spécifiques et que toute solution normée et uniforme s'avérerait inadéquate. Il existe déjà en Suisse un savoir pratique important en la matière car la pression sur les prix a forcé de nombreuses entreprises à une numérisation systématique il y a des années de cela et de nombreuses PME ont été intégrées en tant que sous-traitantes au sein de la production en réseau de grandes entreprises. Mais le développement de systèmes de production cyber-physiques présuppose également la maîtrise numérique des processus concernés.

Intelligence artificielle: Les algorithmes, les infrastructures, la puissance de calcul et les dispositifs de stockage sont déjà tellement avancés que l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique peuvent être mis en pratique. Le développement de réseaux constitués de neurones artificiels d'inspiration biologique (réseaux neuronaux) révolutionne l'apprentissage automatique: des progrès énormes ont été réalisés depuis environ trois ans en particulier dans les domaines de l'analyse d'image et de la reconnaissance vocale. Les possibilités d'application sont extrêmement variées: analyse d'images satellite, drones, techniques d'imagerie médicale, robotique ou véhicules sans chauffeur. La Suisse dispose d'une longue tradition dans le domaine des services, et les secteurs de la banque, de l'assurance et du tourisme continuent à exceller en matière de qualité et de fiabilité; ils ne seront pourtant pas épargnés par les modèles commerciaux numériques.

Robotique: Afin de travailler avec précision, les systèmes robotiques traditionnels (robots industriels) sont opérés de manière rigide et sont réglés pour une seule position. Ceci nécessite un environnement clos, car de tels systèmes réagissent de manière insuffisante à un contexte non structuré. Aujourd'hui, au contraire, on développe des robots flexibles et intelligents, qui ne présentent pas de risque pour la sécurité de l'être humain et peuvent travailler de concert avec lui, dans l'industrie, en médecine ou dans la sphère privée. Les robots de service assistent l'individu au travail ou à la maison. Les robots volants font leurs preuves dans l'agriculture et lors de missions de recherche et de sauvetage. Ces nouveaux robots doivent être capables de percevoir et de comprendre leur environnement dans toute sa complexité. La recherche et l'industrie suisses disposent des compétences nécessaires pour jouer un rôle leader dans ce domaine – en témoignent entre autres les nombreuses start-ups qui se créent autour des écoles polytechniques (ETH Zurich et EPFL).

Procédés de fabrication

Les *lasers pulsés* offrent de nouvelles possibilités pour le traitement de surface à haute précision de matériaux métalliques, céramiques et plastiques. Jusqu'à présent, l'utilisation de lasers haute performance pour un usinage de précision submicronique et pour l'impression 3D n'avait rencontré qu'un succès partiel. De nouveaux systèmes hautement intégrés développés sur la base de lasers à impulsions ultra-courtes et faisant appel à des interféromètres à ondes multiples en guise d'instrument de mesure peuvent pallier aux difficultés rencontrées.

Le développement continu de nouveaux matériaux et la tendance, surtout dans les industries automobile et aéronautique, à remplacer les vis et les rivets par des adhésifs appellent le développement de nouvelles techniques d'assemblage et d'*adhésifs multifonctions*. La fabrication additive est une technologie de production novatrice qui modifie en profondeur l'ensemble de la chaîne de valeur, du design au produit fini. L'industrie des machines suisse est toujours à la pointe mondiale dans le domaine de la mécanique de précision – la fabrication additive lui offre aujourd'hui l'opportunité de consolider cette position dominante. La *technique d'analyse de processus* sert à analyser, contrôler et optimiser les processus de production dans l'industrie chimique. Elle vise à améliorer la qualité des produits par des contrôles standardisés et la documentation des valeurs critiques en cours de production.

Autres technologies

La **photonique** associe deux domaines des sciences physiques: l'optique et l'électronique. La photonique s'est tout d'abord développée à partir des techniques de communication optiques – la fibre de verre sert de moyen de transmission et les diodes laser de source lumineuse modulable. Le domaine d'application de la photonique s'est massivement élargi grâce au développement plus poussé des fondements optiques et des composants optoélectroniques (photodétecteurs, LED et diodes laser). La Suisse est en position de force dans le domaine de la photonique, tant en termes de recherche universitaire qu'en termes industriels.

Biotechnologie: CRISPR/Cas 9 est une méthode disruptive de la biologie moléculaire – une sorte de scalpel du génome. Parce qu'elle ouvre de nouvelles possibilités dans la lutte contre le sida, le cancer et de nombreuses maladies héréditaires, mais aussi dans la culture de plantes et l'élevage d'animaux, ces quatre dernières années elle a pris d'assaut le génie génétique. Son utilisation dans le cadre de diagnostics et de thérapies, en agronomie, en technologie alimentaire et dans d'autres domaines va toutefois soulever de nombreuses questions d'ordre technique et éthique.

Technique médicale: La commercialisation de nombreux produits medtech et la pression croissante sur les prix ont nettement compromis l'attractivité de la technique médicale en Suisse. Il devient de plus en plus difficile pour les PME medtech d'avoir accès aux centrales d'achat hospitalières ou de remporter des appels d'offres importants. Les prestataires de soins réagissent à ces transformations du marché avec de nouveaux modèles et de nouvelles offres de services. Grâce à sa taille raisonnable, le secteur suisse de la technologie médicale devrait être assez agile pour saisir les opportunités qui se présentent dans un tel contexte.



Introduction

L'industrie est en évolution permanente. A ce jour, on peut identifier grossièrement trois phases distinctes: vers 1800, la production mécanique de masse entraîne un premier grand bouleversement, l'industrie 1.0. L'introduction de l'électricité comme force motrice et le travail à la tâche qui en résulte marquent l'avènement de l'industrie 2.0 à partir de 1900. A partir des années 1970, la marche triomphale de l'ordinateur, qui rend possible l'automatisation de nombreux processus de fabrication, entraîne la troisième révolution industrielle, l'industrie 3.0.

Au fil de cette évolution, la prospérité a fortement progressé et l'espérance de vie a doublé, avec pour conséquence une euphorie technologique dont le point culminant se situe entre 1950 et 1970. On assiste aujourd'hui à un lent retour de balancier et l'accent se déplace vers les possibles effets délétères sur l'environnement et les ressources naturelles que présentent à long terme ces technologies jadis encensées. Depuis le début de la quatrième révolution industrielle à la fin du 20^{ème} siècle, on voit aussi ressurgir la crainte de la destruction d'emplois. A ceci s'ajoute cette fois-ci l'inquiétude qu'à l'avenir des machines intelligentes et capables d'apprendre puissent accomplir une grande partie du travail et ainsi rendre l'être humain entièrement superflu. Car le terme «industrie 4.0» désigne l'informatisation et la numérisation croissantes de tous les domaines productifs, professionnels et privés.

Dans 20 à 25 ans, les ordinateurs atteindront la puissance de calcul du cerveau humain. Ce moment est nommé «singularité»: pour la première fois de son histoire, l'homme sera capable de construire des machines dont les capacités cognitives, déductives et créatives seront égales ou même supérieures aux siennes. Dans un avenir proche, les ordinateurs pourront donc accomplir des tâches et résoudre des problèmes qui étaient jusque-là réservés à l'être humain parce que lui seul disposait de l'originalité et de la faculté de pensée requises.

Les experts divergent quant à savoir si nous nous dirigeons vers un avenir qui nous rendra obsolètes ou si – comme elle a déjà su le faire tant de fois – l'humanité saura maîtriser cette évolution de manière flexible pour trouver sans trop de difficultés sa place dans ce «brave new world».

Même si le point de singularité ne devrait être atteint que dans 20 à 25 ans, certaines machines sont aujourd'hui déjà capables d'effectuer de nombreuses activités manuelles répétitives et même des tâches qui requièrent certaines capacités cognitives. Et cette tendance se poursuit. Il ne fait donc aucun doute que des évolutions radicales attendent notre société dans les deux décennies à venir. Afin de nous préparer à cet avenir, il nous faut nommer les défis techniques et les discuter de manière publique.



Le monde numérique

L'Internet des objets

Etat des lieux: L'Internet des objets («Internet of Things» ou IoT) désigne une vision dans laquelle toute chose est connectée à Internet: équipé d'un mini-ordinateur souvent quasiment invisible, chaque objet relève des mesures sur lui-même et dans son environnement au moyen d'un système de capteurs sophistiqué (→ Capteurs intelligents) et se connecte à d'autres objets intelligents par la toile. Le développement de logiciels adaptés (→ Pas de solutions standard: les logiciels de l'industrie 4.0) forme la condition de base de l'IoT.

D'un point de vue commercial, l'Internet des objets rend possible un nouvel arpentage et chiffrage du monde, d'une précision inédite. Et parce que les organisations ne peuvent gérer que ce qu'elles savent aussi mesurer, l'IoT crée les conditions d'une qualité toute nouvelle de maîtrise des processus physiques – allant du monitoring, au contrôle et à la commande, à l'optimisation et enfin jusqu'à l'autonomie.

Ceci s'applique à tous les secteurs, du système de santé aux services financiers, mais vaut tout particulièrement pour l'industrie productive. Dans les pays anglo-saxons, c'est l'expression «Industrial Internet» qui s'est imposée pour désigner les applications IoT dans ce domaine; dans l'espace européen, on emploie le terme «industrie 4.0». Dans les deux cas, il s'agit à l'échelle de l'ensemble de la chaîne de valeur de la mise en réseau et du contrôle de tous les processus clé, du développement de

produit et de la production à la livraison au client – y compris la totalité des services afférents. Cette mise en réseau permet non seulement la production efficiente de produits plus personnalisés, mais aussi le développement de modèles commerciaux tout à fait novateurs. L'industrie 4.0 revêt donc une grande importance pour le maintien de la compétitivité des économies productives.

Conséquences pour la Suisse: Avec l'Internet des objets, le monde numérique et le monde physique se fondent pour la première fois en produits et en services. Dans cette nouvelle réalité hybride, les entreprises suisses de quasiment tous les secteurs doivent développer les capacités numériques requises pour demeurer concurrentielles sur le long terme. Dans le domaine de l'informatique en particulier, les besoins et la demande en matière de savoir-faire de pointe augmentent de manière disproportionnée et ne peuvent pas être couverts avec les ressources de connaissances aujourd'hui disponibles. Il est donc indispensable de procéder à une nouvelle répartition des moyens à disposition pour la recherche et l'enseignement en faveur de l'informatique de pointe.

Capteurs intelligents

Etat des lieux: Ces dix dernières années, le volume des données collectées par capteurs a augmenté deux fois plus vite que la capacité de transmission de données: par conséquent, 90% des données de capteur n'ont jamais été analysées. A l'avenir, l'information doit donc être traitée et concentrée à proximité du capteur: les jours des capteurs «stupides» sont comptés et c'est l'ère des «smart sensing solutions» qui

s'ouvre. Ce terme désigne des solutions dans lesquelles la technologie des capteurs et le traitement des données convergent, rendant possibles de nouveaux modèles commerciaux. La véritable valeur du produit ne résidera donc plus dans les capteurs eux-mêmes mais dans l'information qu'ils permettent de collecter, de traiter et d'interpréter de manière intelligente.

Aujourd'hui, de nombreux fabricants utilisent déjà une étape intermédiaire:

les données du capteur sont envoyées vers le cloud et y sont agrégées – le système Siri d'Apple en est un exemple. Mais on devrait voir apparaître sur le marché dans quelques années seulement des «smart sensing solutions» qui ne transmettent vers le cloud que des informations déjà traitées.

Conséquences pour la Suisse: Les fabricants de capteurs doivent œuvrer au plus vite à réunir trois compétences clé: la technologie des capteurs, le trai-

tement intelligent des données à proximité des capteurs ainsi que l'agrégation et l'hébergement de l'information dans le cloud. Faut de quoi, ils risquent d'être dépassés par une concurrence capable de réunir au sein d'un seul et unique processus la production, la commercialisation et

la chaîne de livraison. Etant donné que les opérations interdisciplinaires représentent une compétence clé de la Suisse, une alternative intéressante à l'intégration verticale au sein d'une seule entreprise serait la coopération étroite entre entreprises des trois domaines concernés.

Pas de solutions standard: les logiciels de l'industrie 4.0

Etat des lieux: Pour ce qui est des matériels et des logiciels, l'industrie 4.0 utilise des technologies de base standardisées, tandis que la véritable différenciation s'opère par la mise en réseau des composants et sous forme d'applications. Autrement dit: les solutions unitaires normées ne répondent pas aux exigences de l'industrie 4.0.

Les technologies de base utilisées pour les matériels et les logiciels proviennent du domaine de la «business IT». Celle-ci évince de manière croissante les ordinateurs industriels spécialisés qui avaient été développés pour le marché bien plus restreint de la production industrielle. Aujourd'hui, la mise en réseau des sites de production avec la centrale informatique de l'entreprise par un réseau grande vitesse performant ne fait plus figure d'exception. On y procède aux modélisations nécessaires de manière indépendante des composants physiques. Grâce à cette abstraction, le matériel devient remplaçable et les systèmes informatiques deviennent flexibles, évolutifs et hautement disponibles. Des outils d'administration sophistiqués permettent une exploitation efficiente et peu onéreuse 24 heures sur 24 grâce à la télémaintenance et garantissent une sécurité optimale grâce à des mises à jour régulières.

Dans le cadre d'une intégration verticale, il est judicieux d'intégrer le système de contrôle et de commande de la production au progiciel de gestion intégré («enterprise resource planning system»): les souhaits individuels des clients sont ainsi incorporés à la production sans rupture de support, et le client peut à tout moment vérifier l'état d'avancement de sa commande. Lors d'une intégration horizontale, des unités de même étape de production sont réunies sous la responsabilité d'une gestion unique. Pour la production, cela signifie que des clients «intelligents» sont mis en réseau avec un écosystème «intelligent» de producteurs, de fournisseurs et de sous-traitants. Cela rend possible le développement rapide de nouveaux produits personnalisés au moyen du «model-based design» ou de la fabrication additive (→ Fabrication additive). La mise en réseau horizontale présuppose cependant un changement de culture profond car le libre échange d'informations rend «transparent» non seulement le client mais aussi l'entreprise et ses fournisseurs.

Conséquences pour la Suisse: Grâce à son niveau élevé de formation et d'éducation, de protection des données et de sécurité juridique, la situation de départ de la Suisse est idéale. Par ailleurs, le franc fort a obligé il y a des années déjà de nombreuses grandes entreprises suisses à engager un processus de numérisation systématique – la plupart des secteurs disposent ainsi déjà d'un important savoir-faire pratique. A ceci s'ajoute que la proximité organisationnelle des activités de gestion et de production dans les PME favorise l'intégration verticale. La mise en réseau horizontale pourrait être encouragée au moyen de projets tels le programme néerlandais Fieldlabs.

Les outils de la société de production en réseau

Etat des lieux: Les possibilités d'un échange quasiment illimité de données ont énormément augmenté ces dernières années. Il est aussi possible de planifier et de surveiller virtuellement les processus de manière toujours plus sophistiquée et intelligente. L'interconnexion au moyen de réseaux rapides ne suffit cependant pas pour faire progresser le développement d'usines «intelligentes». Il faut aussi des systèmes de logiciels capables d'analyser les données de manière intelligente et de générer ainsi un avantage et une valeur ajoutée spécifiques. Ces nouveaux outils

doivent encore être développés. Il est probable qu'on verra s'établir sur le marché différents types de solutions, allant de solutions spécifiques à une entreprise à des systèmes de solution globaux. De nouveaux systèmes globaux découleront aussi de manière croissante du regroupement de systèmes «stand-alone» existants.

Conséquences pour la Suisse: La question du raccordement à de tels réseaux globaux va se poser pour les entreprises suisses, dont beaucoup sont établies dans des secteurs de niche. D'autres défis prévisibles dans le cadre de cette mise en réseau progressive sont le développement d'une interface intelligente entre l'humain et la machine, la planification intelligente des processus pour la production flexible de petites séries et l'émergence de systèmes autonomes.

Le meilleur des deux mondes: les systèmes de production cyber-physiques

Etat des lieux: Les systèmes cyber-physiques se caractérisent par la connexion d'objets réels (physiques) avec des objets de traitement de l'information (virtuels) par le biais de réseaux d'information ouverts et toujours reliés entre eux. Trois éléments sont nécessaires pour passer de systèmes cyber-physiques à des systèmes de production cyber-physiques:

- représentation virtuelle fiable des processus («ombre numérique», -> L'ombre numérique)
- connaissances fiables de l'état actuel des processus, ce qui nécessite des réseaux de capteurs hautement spécialisés
- possibilité d'influer sur les processus au moyen d'éléments d'actionnement

Les données collectées peuvent être analysées à des fins de diagnostic ou être utilisées à des fins de prévision. La valeur ajoutée des systèmes de production cyber-physiques se situera principalement dans le domaine de la prévision et des applications pour lesquelles une surveillance en temps réel et les possibilités de correction qui en résultent présentent un avantage.

Comme les éléments requis pour les systèmes cyber-physiques n'existent pas encore sous forme standard, il n'existe pas encore les logiciels nécessaires à leur planification et à leur exploitation efficiente.

Conséquences pour la Suisse: Le développement de systèmes de production cyber-physiques présuppose la maîtrise numérique des processus concernés. Beaucoup de PME suisses présentent plutôt des faiblesses dans ce domaine. De nombreux processus sont considérés de manière locale et isolée, ce qui rend difficile toute prévision numérique. Les PME suisses risquent ici de se voir laissées pour compte.

L'ombre numérique

Etat des lieux: Les systèmes en réseau permettent de représenter de manière virtuelle toutes les données pertinentes relevant de la production, du développement ou de domaines attenants, et d'analyser ainsi en temps réel le déroulement des processus. Un rapport publié en 2016 par l'association scientifique allemande Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP) qualifie cette représentation virtuelle de la réalité d'«ombre numérique» ou de «jumeau numérique». Tandis que les ombres numériques se basent principalement sur les données collectées au cours du processus, les jumeaux numériques constituent des modèles de simulation des processus. Il se dessine aujourd'hui une évolution de la simulation d'étapes de processus isolées vers la simulation de chaînes de processus tout entières. La réalisation de tels modèles pré-suppose non seulement une connaissance parfaite des processus eux-mêmes, mais aussi un savoir-faire important en matière de simulation.

Afin que cette représentation virtuelle des processus s'avère utile pour les entreprises, il faut d'abord identifier les schémas et les paramètres pertinents. Il est ensuite possible de pronostiquer ce qui va se passer dans l'exploitation dans les heures et les jours à venir. Et si une défaillance quelconque menace, il est possible de mettre en place des algorithmes de solution pour réajuster la production.

Conséquences pour la Suisse: La représentation virtuelle des processus est centrale pour la réalisation de concepts intégrés dans le cadre de l'industrie 4.0. Si de nombreuses PME suisses sont hautement compétentes au niveau technique, elles ne maîtrisent que très imparfaitement la représentation virtuelle des processus. A la différence par exemple des constructeurs automobiles allemands, qui travaillent de manière systématique à représenter intégralement leur production de manière virtuelle. Il est important que les PME suisses ne se laissent pas dépasser sur ce terrain.

Quid de l'être humain?

Etat des lieux: L'accomplissement généralisé de la notion d'industrie 4.0 reste encore une vision d'avenir. Celle-ci ne deviendra pas réalité simplement parce que l'information numérique devient disponible pour tous les processus productifs et commerciaux. Un rôle déterminant revient évidemment aussi à l'être humain.

Dès les années 1980, des efforts avaient été entrepris pour mettre en œuvre une production intégrée par ordinateur («computer-integrated manufacturing» ou CIM). Mais la vision d'usines désertées avait provoqué dans l'opinion publique une forte appréhension et une grande résistance. Aujourd'hui, c'est donc

très consciemment que l'être humain est intégré aux considérations touchant à une mise en œuvre réussie de la notion d'industrie 4.0. Il n'existe actuellement que peu de points de contact entre le monde numérique et le monde du travail, par exemple par des interfaces utilisateurs telles les tablettes ou les lunettes numériques, qui font entrer le digital dans les lieux de travail. A long terme, l'industrie 4.0 ne pourra cependant être concrétisée que si le mouvement s'effectue également en sens inverse, c'est-à-dire du monde réel vers l'environnement digital.

Conséquences pour la Suisse: La représentation virtuelle de tous les processus commerciaux et l'intégration de l'être humain dans le monde virtuel qui en découle place les entreprises face à de nombreux défis de nature non seulement technique mais aussi et surtout commerciale. De nombreux secteurs industriels devront repenser leurs processus commerciaux existants et veiller à préparer leurs employés à l'industrie 4.0 au moyen de formations et de formations continues adaptées.

Des guerres cybernétiques se profilent

Etat des lieux: On observe actuellement une connexion croissante entre l'informatique commerciale normale et les systèmes de contrôle et de commande d'entreprises et d'infrastructures critiques. En parallèle, notre société devient de plus en plus dépendante des technologies de l'information. En particulier dans le domaine des infrastructures critiques, cette évolution mène à un profil et à un degré de menaces nouveaux, et à un potentiel de nocivité nettement plus élevé. Cet effet est encore renforcé par la professionnalisation du crime organisé dans le cyberspace, la course à l'armement entre développeurs de virus et producteurs de logiciels antivirus, et l'installation de cadriciels en vue de l'éventualité d'une guerre cybernétique et pour la collecte, le traitement et l'interrogation de données à grande échelle. Les procédures judiciaires nationales et internationales peinent à suivre ce rythme.

Conséquences pour la Suisse: La numérisation de la société et de l'économie se fonde sur la confiance. Sans cette confiance, les technologies numériques ne bénéficient pas de l'acceptation sociétale nécessaire – et on passe à côté des opportunités qu'elles offrent.

Il est donc crucial pour l'espace de vie et l'espace économique suisse d'être protégé de manière adéquate face aux risques cybernétiques. On assiste cependant à l'échelle mondiale à une concentration des entreprises de cybersécurité: les petites entreprises disparaissent et quelques grandes entreprises en viendront à dominer le marché. Il devient donc impossible de garantir la sécurité souhaitée à l'aide des seuls fournisseurs de solutions et prestataires suisses. Il est urgent de regrouper les connaissances et les expériences existantes du secteur privé, de l'enseignement supérieur et de l'administration. Les mesures mises en œuvre de manière relativement isolée par la «Stratégie nationale de protection de la Suisse contre les cyberrisques» (SNPC) et le plan de stratégie et d'action «Suisse numérique» du Conseil fédéral sont loin d'être suffisantes.

Le maître dépassé par ses créations

Etat des lieux: Dans les années 1970 et 1980, de grands espoirs avaient déjà été placés dans les applications de l'intelligence artificielle (IA). Des succès considérables avaient pu être enregistrés dans certains domaines, p.ex. les jeux de stratégie et les simulations robotiques, le traitement mathématique de symboles et l'interrogation de banques de connaissances. Mais de nombreux autres espoirs ont été déçus et l'importance accordée à l'IA a donc à nouveau faibli – entraînant une baisse de l'encouragement de la recherche dans ce domaine.

Ces derniers temps, cependant, l'IA fait l'objet d'un renouveau. Trois facteurs expliquent les progrès notables réalisés: la numérisation du savoir humain permet de le rendre disponible pour l'apprentissage automatique. L'apprentissage automatique a en outre été révolutionné par des réseaux neuronaux apprenants («neural networks»), des réseaux de neurones artificiels inspirés de modèles biologiques. Enfin, on utilise pour la construction de systèmes apprenants des algorithmes novateurs d'intelligence artificielle, c'est-à-dire des instructions non ambiguës intégrées à un programme informatique pour résoudre un problème. Ces développements ont été rendus possibles par l'externalisation des données dans le cloud et par de nouvelles architectures informatiques. Grâce aux retours d'utilisateurs et d'experts, les systèmes apprenants deviennent de

plus en plus intelligents. Ils sont donc déjà impliqués dans les processus de décision dans différents domaines, ainsi pour déterminer la solvabilité de clients dans le secteur financier ou pour planifier des thérapies anticancéreuses personnalisées en médecine.

L'augmentation de la puissance de calcul poursuit sa trajectoire exponentielle. L'année dernière, le logiciel Google AlphaGo est ainsi parvenu à battre le champion en titre au go, jeu de plateau asiatique hautement complexe. AlphaGo a été nourri de données issues de parties de go passées, a ainsi appris les règles du jeu, les a appliquées contre soi-même des mois durant et a ainsi développé des tactiques imparables même pour le meilleur joueur mondial. Un exemple impressionnant de réseau neuronal apprenant!

Si initialement l'IA était utilisée surtout pour l'analyse de textes et de chiffres numérisés, on apprend aujourd'hui au système, au fil de plusieurs étapes de calcul, la faculté de procéder à des associations. De gigantesques progrès ont ainsi été enregistrés dans le domaine de l'analyse d'images et de la reconnaissance vocale grâce à ces nouveaux algorithmes. Les possibilités d'application sont extrêmement variées: analyse d'images satellite, drones, techniques d'imagerie médicale, robotique ou véhicules sans chauffeur.

Conséquences pour la Suisse: Notre industrie est très en retard par rapport à sa concurrence étrangère en ce qui concerne l'utilisation de la numérisation pour l'automatisation industrielle et la planification globale des ressources d'entreprise. L'utilisation d'algorithmes d'IA permettrait de créer de nombreux avantages concurrentiels, que ce soit dans l'agriculture, l'industrie manufacturière ou les services.

La formule magique des prestataires de services: l'effet de réseau

Etat des lieux: De manière croissante, la numérisation est aussi «enrichie» en intelligence artificielle au quotidien. Dans les réseaux digitaux, les individus entrent en contact de manière digitale, s'organisent de manière digitale et procèdent à des échanges réels ou virtuels. La numérisation transforme ainsi le comportement des consommateurs et ouvre le champ à de nouveaux modèles commerciaux: en combinaison avec l'intelligence artificielle, il devient possible de mettre en contact de manière très efficace et directe les fournisseurs en ligne et les utilisateurs potentiels.

Les exemples de réussite existent tant dans le tourisme (Airbnb) que dans le domaine financier (splendit.ch). Tous ces modèles ont en commun ce qu'on nomme l'«effet de réseau», illustré par Uber: plus les conducteurs sont nombreux à participer, plus la couverture géographique s'améliore pour les clients, et plus les passagers sont nombreux à faire appel au service. Cet effet de réseau est favorisé par un système d'évaluation et de notation performant. Les retours d'expérience d'autres utilisateurs instaurent la confiance et incitent à participer, ce qui renforce encore le succès du modèle commercial.

Le succès de ces nouveaux modèles commerciaux se fonde sur une orientation clients et une orientation produits qui, à ce degré, ne sont possibles que par voie digitale. Chez les start-ups digitales, le client occupe le centre absolu de toutes les considérations, et la survie de l'entreprise dépend directement de la satisfaction des clients. Avec leur culture de service exemplaire, ces entreprises exercent une forte pression sur les grandes entreprises, plutôt paresseuses en la matière. Certaines limites sont cependant imposées par les législations nationales relatives à la protection des travailleurs.

Conséquences pour la Suisse: La Suisse dispose d'une longue tradition dans le domaine des services, et les secteurs de la banque, de l'assurance et du tourisme excellent en matière de qualité et de fiabilité; ils ne seront néanmoins pas épargnés par les modèles commerciaux numériques, qui représentent un défi majeur.

Au-delà du simple jeu: la réalité augmentée

Etat des lieux: Le jeu «Pokémon Go» a fait découvrir au grand public en un temps record le principe de la réalité augmentée (RA). Contrairement à la réalité virtuelle, qui plonge l'utilisateur dans un monde entièrement artificiel à 360°, la RA mélange des éléments artificiels à la réalité: «Pokémon Go» par exemple équipe les cartes Google de personnages Pokémon et d'autres éléments pour en faire un espace de jeu.

Mais l'intérêt de la RA n'est pas limité au domaine des jeux – il existe aussi de nombreuses applications utiles. La réalité augmentée permet, suivant l'emplacement et le point de vue de l'utilisateur, de faire apparaître dans son champ de vision des informations supplémentaires ou d'aller puiser des informations dans de grandes banques de données. La qualité de l'interface utilisateur et l'aisance d'utilisation sont décisives pour le succès d'un produit. Ceci vaut pour les smartphones comme pour les ro-

bots médicaux ou la conduite assistée. Combinée avec un traitement rapide des données, la réalité augmentée a le potentiel de devenir une importante technologie transversale pour de nombreux domaines industriels.

Conséquences pour la Suisse: Bien intégrée, la réalité augmentée peut fournir un avantage compétitif majeur dans les domaines de la technique médicale et de la construction de machines, tous deux de grande importance pour la Suisse. Différentes applications RA à succès comme «Tagxy» et «Departures» proviennent de Suisse. Les Disney Research Labs sont implantés dans la région de Zurich – une entreprise de recherche renommée, qui fait avancer la réalité augmentée dans le domaine des loisirs. Seules des entreprises étrangères telles Augmensys et AR-Re'Flekt proposent cependant actuellement des modules à vocation industrielle. Les entreprises suisses doivent investir ce domaine et développer des applications tant industrielles que pour le secteur des services et de l'informatique.

Une fabrication exempte d'erreurs

Etat des lieux: La fabrication de produits en lots de petite à moyenne taille à grande diversité de variantes demeure complexe et onéreuse. De tels produits doivent souvent être fabriqués de manière manuelle car les coûts d'une automatisation ne se justifient pas. Mais le montage à la main est source d'erreurs et tout contrôle systématique ultérieur est cher et chronophage.

Entre-temps, des progrès réalisés dans le traitement d'images permettent d'identifier automatiquement les anomalies et les erreurs. A l'aide de caméras, de réseaux mathématiques constitués de neurones artificiels («neural networks») et d'algorithmes correspondants («deep belief networks»), les machines sont capables d'apprendre («apprentissage automatique»): elles apprennent «par expérience» à connaître la structure normale du produit fini et «voient» les déviations. Ceci implique aussi bien l'identification fiable de manipulations erronées de la part du personnel de montage que l'évaluation de la qualité du produit fini par comparaisons bon-mauvais une fois le montage finalisé.

Conséquences pour la Suisse: L'encouragement et le développement systématiques de techniques de pointe de traitement d'images renforcent le site de production suisse. Il faut pour cela rassembler les compétences existantes dans les domaines de la fabrication, du traitement d'images et de l'apprentissage automatique.

Robots industriels: travailler de concert avec l'être humain

Etat des lieux: Les robots industriels sont des machines automatiques et programmables utilisées pour différentes applications industrielles. Afin de garantir la précision requise, les systèmes robotiques traditionnels sont rigides et réglés pour une seule position. On développe en revanche aujourd'hui toujours plus de robots flexibles et intelligents. Afin de pouvoir interagir avec les êtres humains de manière sûre et fiable, ces nouveaux robots doivent non seulement être «souples», mais aussi percevoir et comprendre leur environnement dans toute sa complexité. D'un point de vue technique, cela requiert le développement d'actionneurs souples réglés en force.

Les robots assistent déjà l'être humain à de nombreux postes de travail. En 2016, ABB a présenté YuMi, le premier robot collaboratif à deux bras pour le montage de petites pièces. YuMi peut travailler côte à côte avec les êtres humains sans les mettre en danger. Pour de nombreux domaines d'application, cela permet de se passer des barrières de sécurité qui accompagnaient l'utilisation des robots rigides traditionnels. La collaboration directe entre humains et robots devrait considérablement se développer dans les années à venir, y compris dans le secteur des services (-> Des assistants high-tech fort utiles et Des robots au bloc opératoire). Ce n'est pas une coïncidence si l'Association suisse de normalisation

a récemment publié un rapport technique consacré au sujet «Sécurité et robotique collaborative» (norme ISO/TS 15066).

Conséquences pour la Suisse: La robotique collaborative représente une grande opportunité pour l'industrie des machines suisse, qui est experte dans la production de machines complexes, sûres et précises. La recherche suisse dispose également des connaissances et des compétences nécessaires pour jouer un rôle important dans le domaine des robots souples et intelligents. Les écoles polytechniques (ETH Zurich et EPFL) ont une excellente réputation en matière d'actionneurs souples, de perception visuelle, de navigation et de robotique, et elles ont toutes deux donné naissance à de nombreuses start-ups. Ce processus devrait être encouragé afin de faire avancer résolument le développement de nouveaux marchés dans la robotique.

Des assistants high-tech fort utiles

Etat des lieux: Les robots de service quittent l'environnement protégé de la production industrielle et assistent l'être humain en tant que robots de service personnels à la maison ou comme robots de service professionnels au travail. Dans ce dernier domaine, l'éventail est immense: agriculture (culture, traite), foresterie, construction, technique médicale, services de nettoyage professionnels, entretien, logistique,

interventions d'urgence et missions spatiales. La prochaine révolution robotique devrait s'amorcer dans le domaine des robots de service, dont le marché connaît par conséquent une croissance rapide.

Conséquences pour la Suisse: La Suisse dispose du savoir-faire et des ressources humaines nécessaires pour développer des robots de service complexes et intelligents. Elle présente par exemple la plus grande densité au monde de jeunes personnes formées en robotique et un nombre record de start-ups en robotique. Une heureuse coïncidence fait que les

compétences requises, à savoir la combinaison de mécanique de précision, d'intelligence artificielle et de technologie des capteurs, font partie des compétences reconnues de la Suisse.

Le domaine le plus intéressant pour la Suisse est celui des robots de service professionnels, en particulier les robots médicaux et les robots volants. Afin de faire perdurer ce succès, la Suisse a cependant besoin d'un environnement favorable à l'esprit d'entreprise et surtout de capital-risque à long terme, afin de redi-

mensionner les start-ups suisses et de ne pas laisser le champ libre aux seuls «grands» tels Google, Apple ou Facebook. Le Fonds pour l'avenir suisse propose d'investir 2-3% des fonds de pension dans les jeunes entreprises. Etant donné que de nombreux domaines d'utilisation des robots de service concernent la sphère domestique et le système de santé, il est par ailleurs important de tenir compte des craintes et des préjugés de la population et de clarifier les questions attenantes de sécurité et de législation.

Dans les champs, sur les chantiers et en cas d'urgence

Etat des lieux: La croissance de la population mondiale représente un défi énorme pour l'agriculture – d'autant plus que les zones de culture stagnent ou même régressent. Il faut développer de nouvelles méthodes pour rendre l'agriculture plus pérenne et réduire l'utilisation d'engrais, d'herbicides et de pesticides. L'approche informatisée de l'agriculture de précision permet de surveiller continuellement les semences et de ne traiter que les plantes ou les zones malades ou infectées. Cette méthode devrait cependant s'avérer trop chère et trop chronophage pour l'agriculteur moyen. Les robots agricoles hautement spécialisés que l'on rencontre aujourd'hui déjà dans les champs ne sont en outre souvent capables d'effectuer qu'une seule tâche bien spécifique. C'est là qu'entrent en jeu de nouveaux concepts tels le projet Flourish: il s'agit de combiner en un système global des robots agricoles classiques et des robots volants. Ce système assure une surveillance aérienne des champs, analyse les données collectées et indique aux robots au sol où, quand et comment procéder à un traitement.

Il serait urgent de décharger l'être humain de nombreuses tâches physiquement difficiles et malsaines et de rendre plus efficaces les activités de construction, mais le secteur du bâtiment demeure faiblement automatisé. La robotique permet de déployer ici de nouveaux concepts: réalisation de formes novatrices, procédés de construction sans coffrage ou opérations de terrassement entièrement automatisées. Grâce au Pôle de recherche national «Fabrication numérique», la Suisse est le leader mondial dans ce domaine. Cette avance devrait donner lieu à de nouveaux produits et systèmes dans les années à venir.

Dans les missions de recherche et de sauvetage, la tendance est également à la combinaison de robots au sol et de robots volants permettant d'assister les sauveteurs humains. Les robots volants établissent des cartes 3D des zones concernées, qui donnent aux sauveteurs une vue d'ensemble allant au-delà de leur propre horizon. Des prises de vue des bâtiments et des infrastructures endommagés permettent par ailleurs une appréciation réaliste de l'étendue des dommages. Pendant ce temps, des robots au sol explorent l'environnement de manière autonome, transportent des équipements et aident à localiser et à secourir les victimes. Certains éléments de tels systèmes de recherche et de sauvetage ont déjà été utilisés avec succès lors des tremblements de terre au Népal (2015) et à Amatrice (2016).

Conséquences pour la Suisse: L'ETH Zurich et l'EPFL ont grandement promu le développement de petits robots volants. Plusieurs start-ups suisses ont déjà acquis une bonne réputation dans le marché

professionnel international des drones et d'autres sont en train de s'y établir. Si le marché de masse est couvert par des entreprises chinoises, la Suisse est en excellente position en particulier pour les drones professionnels dans le domaine de la photométrie, de la photographie aérienne, de l'agriculture et des missions de secours. Afin de maintenir cette position, il faut continuer à former et à encourager un nombre de talents suffisant. La Suisse devrait par ailleurs être le premier pays au monde à autoriser l'usage de drones pour effectuer des missions professionnelles.

Dans un avenir proche, le secteur du bâtiment vivra une grande avancée dans l'automatisation. La recherche suisse est également très bien positionnée dans ce domaine et ce potentiel devrait être réalisé de manière rapide et efficace en collaboration avec des entreprises de construction agissant à l'échelle globale comme Hilti, Leica ou Schindler.

Des robots au bloc opératoire

Etat des lieux: L'actuel bloc opératoire digital contient déjà des dispositifs de navigation pour le positionnement des patients, mais les outils d'intervention sont encore maniés manuellement. Les robots chirurgicaux pourraient être déployés en cas de diagnostics novateurs et assister de manière efficace les équipes chirurgicales, en aidant p.ex. le chirurgien à mieux localiser les parties d'organe à traiter et en prenant en charge certaines manipulations relevant de la motricité fine.

Jusqu'à présent, les interventions de robots étaient limitées aux parties du corps mécaniquement rigides, p.ex. les os. Le traitement de

parties molles telles les tendons, les muscles, les cartilages et les vaisseaux sanguins, ou d'organes complets, demeurerait problématique en raison de la mauvaise visibilité. Ces dernières années, de nouvelles méthodes de mesure, des capteurs et des actionneurs plus sensibles et des algorithmes plus sophistiqués ont toutefois permis de réaliser d'importants progrès.

La combinaison de capteurs optiques et d'actionneurs laser constituera la base dans ce domaine. La métrologie optique présente en outre l'avantage de pouvoir mesurer non seulement la position de l'organe mais également son spectre d'absorption. Les retombées économiques de ces développements apparaissent clairement lorsque l'on sait qu'aux Etats-Unis 44,5 millions d'interventions sont effectuées chaque année sur des tissus mous.

Conséquences pour la Suisse: La technique médicale est déjà l'un des secteurs économiques les plus importants de Suisse. Le développement de dispositifs opérés par des robots médicaux s'intègre donc parfaitement dans la culture scientifique et industrielle du pays.

Des approches pleinement digitales et connectées

Etat des lieux: A l'avenir, on disposera en temps réel d'informations concernant l'offre et la demande d'énergie, les options et les souhaits de mobilité ainsi que le contrôle et la commande des systèmes afférents. Cette disponibilité a le potentiel de bouleverser l'ensemble du système de l'énergie et de la mobilité, et de faire émerger de nouveaux produits et services.

La puissance de calcul croissante à coûts toujours moindres entraîne un grand potentiel d'optimisation des décisions des consommateurs et de l'utilisation de ressources pour l'exploitation d'appareils et d'infrastructures. Ceci permet la création de nouveaux modèles commerciaux et de nouveaux services, et menace les prestataires établis. Les répercussions de cette évolution dépendent fortement de la libéralisation des marchés concernés, de l'individualisation des comportements et de l'offre fluctuante d'électricité renouvelable. Si des incitations sont par ailleurs mises en place pour assurer la pleine charge à moindre coût des infrastructures de mobilité, d'approvisionnement en énergie et de transmission des données, la tendance vers de nouveaux modèles commerciaux va encore s'accroître. Il faut néanmoins pour cela que tous ces systèmes numérisés puissent être exploités de manière sûre et fiable. Les systèmes de mesure et de réglage nécessaires doivent aussi être mis à l'abri de défaillances et de cyberattaques.

Des développements de ce genre sont déjà en cours à l'international. Une forte augmentation des technologies numériques se profile pour les cinq années à venir et une pénétration du marché à grande échelle est attendue dans les deux décennies à venir. Il s'agit moins de développements technologiques isolés que de concepts intégrés qui se refléteront dans de nouveaux services et de nouvelles stratégies d'entreprise.

Conséquences pour la Suisse: Pour l'économie suisse, axée sur l'export, cette évolution comporte des dangers majeurs mais également des opportunités. Les fournisseurs établis de produits et de services dans le secteur de l'éner-

gie et de la mobilité sont exposés au risque de se voir évincés par des concurrents internationaux. Mais des opportunités importantes se profilent pour les entreprises spécialisées dans les technologies de l'information et de la communication ainsi que pour les start-ups innovantes. Les pôles de compétence interuniversitaires pour la recherche dans les domaines de l'énergie et de la mobilité («Swiss Competence Centers for Energy Research» ou SCCER), encouragés par la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI), ont déjà intégré la thématique dans leur planning pour la période 2017-2020. Il semble néanmoins indispensable de procéder à une sensibilisation accrue au moyen d'ateliers dédiés et du lancement de projets par le biais des dispositifs d'encouragement de la CTI.



La confiance en chaîne

Etat des lieux: La blockchain est une base de données de transactions dont des milliers de copies sont réparties globalement et sauvegardées de manière sûre. A intervalles réguliers, les transactions sont regroupées sous forme de blocs et chaque nouveau bloc de transactions est validé par chaque nœud du réseau. Il émerge ainsi un consensus de toutes les parties participant à la chaîne de blocs concernant la validité du bloc. Chaque bloc valable est inséré dans la base de données des transactions, créant ainsi une chaîne de blocs de toutes les transactions valables du réseau: une «blockchain». Le protocole qui sous-tend la blockchain est construit de telle manière que l'adresse de chaque participant ainsi que toutes les transactions sont validées de manière cryptographique. Il est donc impossible de falsifier ou contrefaire une transaction et il est clair à tout moment qui a effectué une transaction avec qui.

Une fois le bloc de transactions déposé dans la chaîne et sauvegardé, une autre particularité de la technologie blockchain entre en jeu: une fonction mathématique («hash») veille à ce que personne ne puisse modifier ou falsifier a posteriori des données existantes. Toute erreur éventuelle doit être corrigée par une transaction inverse. Tous les participants du réseau de la blockchain peuvent donc se fier au fait que les données sauvegardées sont valables et fiables.

Les blockchains de deuxième génération comme «Ethereum» présentent un élément central supplémentaire, les «smart contracts». Ceux-ci peuvent être compris comme des programmes informatiques infalsifiables qui décrivent et exécutent de manière autonome les termes principaux d'une transaction convenue entre participants à la blockchain. «Bitcoin», la première mise en œuvre de la technologie blockchain, lancé en 2008 par un développeur portant le pseudonyme «Satoshi Nakamoto» en tant qu'outil pour les transactions monétaires électroniques, se passait encore de contrats intelligents.

L'essence de la blockchain est de fonctionner comme autorité globale de confiance dans les données sauvegardées et dans l'interaction des participants. Cette interaction peut avoir lieu entre individus, entre humains et machines ou entre machines. En permettant la collaboration efficace de parties qui ne doivent ni nécessairement se connaître ni se faire confiance, la technologie blockchain mènera à terme à un changement de paradigme économique: producteurs et consommateurs pourront communiquer directement par la blockchain et y réaliser des opérations. Les intermédiaires disparaîtront s'ils n'apportent pas de valeur ajoutée directe et véritable. L'offre croissante d'applications blockchain décentralisées (DAPPS) fera augmenter de manière exponentielle le nombre de participants – un exemple typique de l'effet de réseau. En combinaison avec l'Internet des objets, la technologie blockchain permettra une automatisation inédite de nombreux domaines: camions sans chauffeur et taxis avec «Ubers» décentralisés, portes intelligentes rendant possibles des systèmes Airbnb à gestion décentralisée, soins médicaux autonomes au moyen de bio-puces...

A côté de blockchains globales ouvertes à tous, il existe aussi des «permissioned blockchains» privées, également connues sous le nom de «distributed ledger technology» (DLT). Présentant un accès contrôlé au réseau, une bonne scalabilité et différentes fonctionnalités de protection de la sphère privée lors de transactions commerciales, elles s'adressent en premier lieu aux entreprises.

Conséquences pour la Suisse: En Suisse, un important écosystème de start-ups et de développeurs de blockchains s'est créé autour de la «Crypto Valley» de Zoug. Afin que la Suisse puisse consolider ou même développer son rôle dans ce domaine, la Banque nationale suisse devrait envisager dans les meilleurs délais l'introduction d'un «crypto-franc suisse» – elle pourrait par ailleurs continuer à exercer son monopole d'émission de billets.



Procédés de fabrication

Travail d'orfèvre: des lasers pulsés pour le traitement des surfaces

Etat des lieux: Le traitement de surfaces métalliques, céramiques et plastiques exige toujours plus de précision, une durée de traitement plus courte et une flexibilité accrue des processus. Il faut pour cela des outils de précision rapidement interchangeables, des systèmes de positionnement rapides et précis, et une technique de mesure capable de contrôler et de commander le processus directement sur place. Ces critères sont réunis par des systèmes novateurs hautement intégrés basés sur une technologie de traitement et de mesure purement optique.

Jusqu'à présent, l'utilisation de lasers performants pour un usinage de précision submicronique et pour l'impression 3D n'avait rencontré qu'un succès partiel. Les hautes intensités de laser requises menaient à la formation de produits d'oxydation et donc à une qualité de finition réduite. Quant aux interféromètres utilisés comme instruments de mesure, ils ne présentaient pas la robustesse nécessaire en cours de processus. Il était par ailleurs difficile de procéder à des mesures en temps réel directement sur pièce pour le contrôle de qualité.

Les lasers à impulsions ultra-courtes et les interféromètres à ondes multiples permettent de pallier à ces difficultés. Les lasers de puissance femtoseconde permettent un usinage sans oxydation, tandis que les interféromètres à ondes multiples mesurent le travail

d'usinage au nanomètre près – y compris pour des surfaces rugueuses et des distances de travail de presque un mètre. Equipés de plusieurs têtes de mesure travaillant de manière synchrone, les interféromètres peuvent par ailleurs capter les défauts d'oscillation d'axes rotatifs en temps réel.

Conséquences pour la Suisse: La construction et l'opération des unités de scanner n'ont rien de trivial: les impulsions laser à haute puissance doivent être guidées par l'optique pour être infléchies et focalisées avec grande rapidité et avec une précision de position de l'ordre du micromètre. Afin de

permettre le traitement de plusieurs matériaux, l'intervalle de longueur d'onde doit pouvoir être modulé de la lumière bleue à la lumière infrarouge. En outre, en vue de son intégration dans des systèmes industriels, l'unité se doit d'être aussi petite que possible. Afin de répondre à ces exigences en partie contradictoires, l'industrie optique et l'industrie mécanique doivent unir leurs forces. Avec son importante expérience industrielle, la Suisse semble prédestinée à consolider sa tradition de technologies d'usinage de très haute précision. Les lasers pulsés devraient par ailleurs jouer un rôle important dans la fabrication additive.

Des adhésifs intelligents

Etat des lieux: On assiste en continu à la commercialisation de nouveaux matériaux qu'il s'agit de coller. Il faut pour cela développer des adhésifs multifonctions et de nouvelles techniques d'assemblage. Jusqu'à présent, le rôle principal d'un adhésif était de présenter un pouvoir adhésif suffisant. Mais les adhésifs remplacent aujourd'hui toujours plus souvent les vis et les rivets, non seulement à la maison mais aussi dans les industries automobile et aéronautique. Ils doivent donc répondre à de nouvelles exigences. Jusqu'à présent, le développement de nouveaux adhésifs devant répondre à des exigences spécifiques s'effectuait de manière assez peu ciblée suivant le principe essai-erreur. Mais cette manière de faire s'avère inadaptée lorsqu'il s'agit de développer des adhésifs «intelligents» qui se modifient eux-mêmes et s'adaptent au support. Les nanomatériaux et l'auto-organisation de nouvelles macro-

molécules pourraient contribuer à la réalisation de telles solutions.

Conséquences pour la Suisse: Les techniques d'assemblage intelligentes permettent dans presque tous les domaines industriels de réduire

le poids et de parvenir à une meilleure rigidité et durabilité des produits. On trouve des exemples pertinents pour la Suisse dans la construction de carrosserie et la construction navale, mais aussi dans l'assemblage d'éléments produits de manière additive. Tous les principaux fabricants d'adhésifs travaillent dans cette direction. Un encouragement systématique de la recherche fondamentale pourrait accélérer le processus.

Fabrication additive

Petites séries à coûts réduits

Etat des lieux: L'individualisation croissante des souhaits des consommateurs et des clients industriels mène à un nombre de variantes élevé pour des tailles de lot limitées et à des produits à durée d'utilisation réduite qui doivent être rapidement livrés et amortis. De nombreuses PME suisses de l'industrie des machines produisent des assemblages spécifiques répondant au cas par cas aux besoins des clients, par petites à moyennes tailles de lot, tout en assurant une haute précision de travail. Dans ce genre de situation, la fabrication automatisée comme peut l'être la production de masse n'est souvent pas rentable en raison du nombre élevé de variantes et du coût des outils requis.

La fabrication additive permet la production à faible coût de composants de précision en tailles de lot petites et moyennes. Les coûts de production sont déterminés princi-

palement par le volume de l'élément et non par sa complexité. La fabrication sans outils permet de réaliser des structures et des géométries correspondant aux souhaits spécifiques du client et irréalisables par tout autre moyen. L'industrie évolue d'une production à la chaîne hautement spécialisée vers des ateliers de travail sur mesure hautement flexibles dans lesquels l'être humain et les machines coopèrent de manière efficiente.

Conséquences pour la Suisse: Avec la fabrication additive, la Suisse pourrait développer et consolider sa position dominante en matière de mécanique de précision. Il est décisif pour cela que les constructeurs de machines et les entreprises de fabrication coopèrent. La fabrication additive présente aussi de grandes opportunités pour la science des matériaux: de vastes travaux de recherche sont nécessaires pour développer un large éventail de matériaux pouvant être travaillés de manière «additive». Etant donné que les processus additifs ne nécessitent que de petites quantités de matériaux, des acteurs de niche pourraient se profiler dans ce domaine.

Un nouveau pilier productif pour la Suisse

Etat des lieux: La fabrication additive est bien plus qu'une nouvelle technologie de production: elle bouleverse l'ensemble de la chaîne de valeur et agit en tant que moteur d'innovation et de différenciation. Grâce à un encouragement important, la fabrication additive a atteint un haut degré de

maturité technologique en Europe et aux Etats-Unis, et elle fait déjà son entrée dans plusieurs secteurs. Pour des raisons qui s'expliquent en partie par les spécificités de sa culture d'encouragement, la Suisse n'a jusqu'à présent pas vraiment participé au développement de la fabrication additive à

l'échelle industrielle. Elle présente également un retard par rapport à son environnement européen en ce qui concerne le degré de diffusion des applications concernées. Et pourtant, différentes études prévoient une croissance nettement supérieure dans le domaine de la fabrication additive que

dans celui des technologies de fabrication conventionnelles.

Conséquences pour la Suisse: Grâce à sa capacité d'innovation et à sa force en matière d'interdisciplinarité, la Suisse devrait réussir facilement à utiliser la fabrication additive de manière ciblée. Les secteurs qui s'y prêtent sont des secteurs clé comme l'industrie des turbines et la technique médicale, mais

aussi la fabrication de machines et les industries de construction légère comme l'aviation et la navigation spatiale. La Suisse pourrait ainsi défendre les forces qui ont été les siennes et éventuellement continuer à les développer, améliorant ainsi sa compétitivité à l'international. Ces forces reposent principalement sur la capacité à réunir différentes compétences, un aspect essentiel de l'utilisation réussie de compo-

sants additifs. Afin de pouvoir saisir les opportunités qu'offre cette position pour élaborer de nouveaux modèles commerciaux et des produits plus performants, il faut encourager la mise en œuvre industrielle. Il est par ailleurs crucial que la Suisse préserve son niveau de formation et d'éducation unique au monde et veille à ce qu'un nombre suffisant de jeunes gens se penchent sur des questions techniques ambitieuses.

Optimisation des processus

De meilleures analyses pour de meilleurs produits

Etat des lieux: Les domaines des semi-conducteurs, de la miniaturisation et de l'optoélectronique enregistrent en continu des progrès majeurs. Il en résulte des possibilités toujours nouvelles d'analyse de processus. La technologie analytique des procédés (process analytical technology PAT) vise à analyser, contrôler et optimiser les processus de production de l'industrie chimique, avec pour objectif d'améliorer la qualité des produits. Elle y parvient au moyen de contrôles standardisés et de documentation des valeurs critiques en cours de production. En 2002, la Food and Drug Administration (FDA) américaine a lancé une initiative PAT pour l'industrie pharmaceutique. Dans le cadre du programme Horizon 2020, l'Union Européenne encourage de son côté le projet ProPAT. Les nouvelles méthodes d'analyse des processus rendent possible une appréhension inédite des processus de fabrication. Elles ne sont d'ailleurs pas limitées aux procédés chimiques ou pharmaceutiques mais permettent d'optimiser de manière générale tous les procédés matériaux.

Conséquences pour la Suisse: Différents secteurs industriels suisses peuvent tirer des bénéfices considérables de ces nouvelles technologies. Il faut pour cela que leur potentiel soit communiqué de manière adaptée et que les blocages spécifiques à l'industrie soient surmontés.

Une nouvelle culture de collaboration

Etat des lieux: Chez les entreprises actives à l'échelle globale, la fabrication s'effectue de moins en moins en interne. Ceci vaut aussi pour l'industrie suisse. De nombreuses compétences sont externalisées, et ce de plus en plus vers des pays à bas salaires. La conséquence directe de cette évolution est que les entreprises disposant de compétences spécifiques s'implantent en ceinture des grandes entreprises, formant des écosystèmes régionaux à forte importance économique.

Ces systèmes s'organisent en réseaux symbiotiques locaux, régionaux ou nationaux, ce qui leur permet de regrouper des compétences, de travailler de manière plus efficace et de proposer de meilleurs produits et services. Ils sont ainsi garants d'innovation et de prospérité mais doivent être robustes et capables de réagir rapidement aux changements.

Conséquences pour la Suisse: Sous la pression du franc fort, une nouvelle culture de collaboration est en train d'émerger, favorisant la formation d'écosystèmes régionaux. Ce processus devrait bénéficier d'un soutien à large assise.



Autres technologies

Photonique et optique

Une précision laser

Etat des lieux: La photonique réunit deux domaines de la physique, l'optique et l'électronique. Elle s'est tout d'abord développée principalement dans le domaine de la télécommunication optique. Les progrès en matière de technologie des semi-conducteurs permettent aujourd'hui la transformation quasiment sans perte de photons (quanta d'énergie de la lumière) en électrons et vice-versa (photodétecteurs, LED, diodes laser). Ces dernières 40 années, cette possibilité a donné lieu à des applications techniques et industrielles majeures: diodes laser et LED efficaces, cellules solaires performantes et photodétecteurs ultra-sensibles capables de capter de manière fiable des photons individuels – par exemple pour le cryptage quantique. L'efficacité élevée des méthodes de mesure et des processus photoniques de pointe et leur vaste champ d'application expliquent pourquoi le 21^{ème} siècle est qualifié de «siècle du photon».

Plusieurs développements importants du point de vue de la physique ont leur source dans les découvertes de la photonique. On en trouve des exemples concrets dans le temps, la distance et l'espace: des lasers attoseconde à impulsions ultra-courtes dans le domaine des rayons X permettent d'observer directement le comportement des composants atomiques de base de notre monde matériel. Pour explorer le cosmos, il faut surmonter optiquement des distances gigantesques – l'unité de base utilisée dans ce contexte est l'année-lumière, qui équivaut à 9461 milliards de kilomètres. Le laser à rayons X (SwissFEL) permet de déterminer la structure détaillée de protéines vitales ou la constitution précise de matériaux. Ces découvertes vont élargir notre compréhension du monde naturel et mener à des applications

pratiques comme de nouveaux médicaments, des processus plus efficaces dans l'industrie chimique, de nouveaux matériaux dans l'électronique ou des procédés alternatifs de transformation énergétique.

Conséquences pour la Suisse: La Suisse se distingue par son excellence en matière de recherche universitaire et d'industrie photonique. Cependant, ces deux domaines sont exposés à une forte concurrence internationale. Afin de maintenir sa position, la Suisse doit investir dans la recherche. C'est la seule manière de continuer à œuvrer au premier plan en matière de recherche tant fondamentale qu'appliquée. Un autre aspect essentiel réside dans l'échange régulier et vigoureux entre la recherche fondamentale, la recherche appliquée et l'industrie.

Biotechnologie

Un scalpel pour le génome

Etat des lieux: CRISPR/Cas9 est une méthode disruptive de la biologie moléculaire qui a pris d'assaut le génie génétique. Elle permet de découper et de modifier le génome de manière ciblée. Il devient ainsi possible d'inactiver ou de réécrire des éléments de l'ADN.

A l'origine, le système CRISPR/Cas9 provient de bactéries. Il leur sert pour ainsi dire de système immunitaire qui leur permet d'identifier et de repousser les attaques de virus. Il y a seulement quatre ans a été développé sur cette base un outil de biologie moléculaire qui fonctionne non seulement pour les bactéries mais pour toutes les cellules vivantes – et donc aussi pour les êtres humains, les animaux et les plantes. Il devient ainsi possible, de manière beaucoup plus simple qu'auparavant et de surcroît peu coûteuse, de découper ou d'insérer dans presque tous les types de cellule les séquences de génome souhaitées.

A l'aide de CRISPR, les scientifiques peuvent donc très facilement neutraliser des virus, modifier des germes de céréales ou même le génome humain. Cela ouvre de nouvelles possibilités dans la lutte

contre le sida, le cancer et de nombreuses maladies héréditaires, mais aussi dans la culture de plantes et l'élevage d'animaux. Il faudra encore un certain temps avant que n'apparaissent sur le marché des produits modifiés au moyen de CRISPR. Mais une âpre querelle a déjà éclaté pour savoir si de tels animaux ou plantes devaient être considérés comme «génétiqnement modifiés» ou comme une forme de mutation naturelle.

Conséquences pour la Suisse: L'utilisation de la technologie CRISPR dans la recherche fondamentale et dans le cadre d'applications telles les diagnostics et les thérapies, l'agronomie ou la technologie alimentaire soulève des questions d'ordre technique et éthique. Depuis un certain temps déjà, la Suisse discute intensément d'interdire les organismes génétiquement modifiés. Qu'en est-il de cette nouvelle possibilité de reprogrammer le génome sans y

introduire de matériel génétique étranger? CRISPR ne fait pas encore l'objet d'un intérêt public important, mais ce débat sociétal devra être mené un jour.

Mis à part ces questions éthiques et techniques, la nouvelle technologie offre aussi à la Suisse des opportunités majeures sous forme d'applications prometteuses dans les domaines des matériaux, de l'alimentation et de la santé. Le système CRISPR/Cas9 va s'établir comme un outil important pour la modification ciblée de fonctionnalités au niveau génétique et épigénétique dans des modèles cellulaires, animaux et végétaux. Ceci peut entre autre influencer grandement sur le développement et la production de nouveaux médicaments. La manipulation ciblée de circuits biologiques du phytoplancton peut par ailleurs faciliter la production d'importants matériaux synthétiques basés sur du silicate pour la technique médicale et pharmaceutique. En outre, le fait que l'édition du génome de plantes nutritives soit possible sans introduction d'ADN étranger devrait contribuer à augmenter la sécurité alimentaire et donc l'acceptation sociétale de ces procédés. On peut aussi imaginer une correction de défauts génétiques ou épigénétiques dans les tissus somatiques, donc une sorte de chirurgie génétique.

Technologie alimentaire

Un système alimentaire porteur d'avenir

Etat des lieux: La chaîne logistique plutôt linéaire du domaine alimentaire évolue de plus en plus vers un réseau multidimensionnel, un «food system». Il faut pour cela une nette amélioration de la communication entre toutes les parties prenantes du food system. Cette mise en réseau devrait se développer par le biais de solutions qui font écho dans leurs grandes lignes à l'approche «industrie 4.0» des industries automobile et manufacturière.

La force d'innovation et le succès économique persistant du secteur alimentaire suisse sont étroitement liés à des marques fortes: les consommateurs doivent percevoir une différence de qualité entre les produits de ces marques et les produits de chaînes de magasins bon marché. L'entrée sur le marché de distributeurs tels Lidl et Aldi a lancé une bataille des prix qui n'est pas soutenable pour l'industrie alimentaire suisse et qui s'accompagne d'un affaiblissement de la création de valeur. A long terme, cette situation peut entraîner des problèmes d'ordre existentiel pour une majorité des producteurs alimentaires suisses.

La force du franc est également problématique. Le seul moyen de faire face à la concurrence européenne voire globale passe par l'innovation et une qualité convaincante, touchant tant aux aspects de l'analyse sensorielle, de la physiologie alimentaire et du soutien de la santé qu'aux aspects de traçabilité, de contrôle de qualité, de respect de l'environnement et de durabilité globale. Une partie de l'objectif du «food system 4.0» suisse est donc l'implication du consommateur, que ce soit en tant que source d'idées, co-créateur ou instance de contrôle, afin de renforcer sa confiance dans les vertus des produits alimentaires suisses.

Le développement d'un «food system 4.0» suisse requiert les efforts conjoints des administrations et des entreprises qui traitent d'aspects environnementaux, des agriculteurs, des producteurs de denrées alimentaires, des commerçants et des entreprises de transformation tout au long de la chaîne de valeur, des développeurs d'appareils de diagnostic à domicile, et de tous les autres acteurs.

Trois domaines technologiques transversaux exerceront une influence importante sur l'émergence d'un «food system 4.0» en Suisse. Premièrement, l'Internet des objets, c'est-à-dire la numérisation et la mise en réseau de tous les «objets» et acteurs du système alimentaire. Deuxièmement, la fabrication additive, qui jouera un rôle majeur dans la production alimentaire industrielle et la technologie culinaire futures. La technologie de capteurs «in-line» et les mesures en temps réel qu'elle permet ainsi que l'interprétation éloquentes des données qui en résultent (big data) complètent ce trio disruptif. Les entreprises actives dans ces trois domaines sont donc des partenaires clés pour le développement d'un «food system 4.0» suisse.

Conséquences pour la Suisse: Avec le développement du «food system 4.0», la Suisse confirme son rôle en tant que site de production leader pour aliments de très haute qualité. Elle renforce ainsi l'innovation et la position économique de son industrie alimentaire et des domaines industriels liés.

Le développement du «food system 4.0» suisse est un projet à long terme, dont la réalisation nécessitera plusieurs étapes. Parmi les mesures à court terme, on peut citer les

travaux de niveau Master et Bachelor portant sur des aspects techniques tels la technologie des processus et de mesure, la robotique, l'Internet des objets, le big data, l'étude des consommateurs et les sciences de la santé. A moyen terme, la CTI ou le Fonds national suisse devraient soutenir des thèses de doctorat qui associent recherche et application et élaborent des modèles commerciaux adaptés. Enfin, à long terme, il faudrait envisager un Programme national de recherche «Food system 4.0», qui permettrait d'assurer des activités interdisciplinaires concertées de recherche et de développement.

Technique médicale

Mettre sur la voie des solutions novatrices

Etat des lieux: Dans le domaine de la technique médicale (medtech), la mise en œuvre d'idées sous forme de produits novateurs à application clinique est un processus ardu et de longue haleine. On ne peut véritablement parler d'innovation qu'une fois que l'idée est appliquée avec succès dans un contexte clinique et que les coûts en sont pris en charge par les organismes payeurs. Les obstacles qui jalonnent ce chemin sont de plus en plus nombreux et élevés: directives réglementaires exhaustives, conditions de mise sur le marché toujours plus sévères, exigences de qualité plus strictes et certifications d'entreprise onéreuses. Les entreprises medtech existantes réduisent par conséquent les projets de développement novateurs pour miser de plus en plus sur des améliorations incrémentales de produits existants ou acheter des produits novateurs déjà autorisés.

La Suisse a reconnu l'importance de l'innovation et la promeut par exemple par le biais de la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI) et au moyen de programmes d'encouragement

privés. Les universités et les hautes écoles spécialisées s'engagent également de manière croissante pour favoriser l'émergence de start-ups.

Pour les start-ups et les PME dans le domaine de la technique médicale, ce type de soutien est important pour pouvoir développer de potentielles innovations. Il ne suffit cependant généralement pas pour le «proof of concept» clinique. La démonstration de faisabilité d'un produit novateur dans un contexte clinique requiert des investissements pré-alables supplémentaires souvent conséquents. Il n'est pas possible de susciter l'intérêt d'acheteurs et d'investisseurs potentiels sans ces données cliniques. Si une start-up ou une PME décide de commercialiser elle-même une innovation, il faut collecter des données cliniques supplémentaires afin d'apporter la preuve de l'efficacité ou de l'efficacité accrue du nouveau produit. Ce n'est qu'alors que les organismes payeurs cliniques prennent en charge le traitement. Le nombre de cas requis et les contrôles parfois longs et coûteux excèdent souvent les moyens disponibles.

Il faut donc mettre en place de nouvelles formes de soutien par le biais de plateformes qui accompagnent la mise en œuvre d'une bonne idée tout au moins jusqu'aux premières applications cliniques. Il faut des aides – et non des conseils – pour le processus de développement d'un produit et l'accomplissement des exigences légales.

Conséquences pour la Suisse: Avec la commercialisation de nombreux produits medtech et la pression croissante sur les prix, la technique médicale a perdu de son attractivité en Suisse. Un nombre grandissant de fournisseurs aux portefeuilles produits semblables se répartissent le marché. Des copies sont produites dans des pays à bas salaires et distribués à travers le monde. La pression sur les coûts qui en résulte s'exerce non seulement sur le secteur medtech mais aussi sur ses sous-traitants en Suisse. Pour l'«îlot de cherté» qu'est la Suisse, la réalisation de produits medtech présentant une qualité et une efficacité supérieures offre une possibilité importante et financièrement intéressante de se démarquer de solutions établies.

Le client est roi

Etat des lieux: Aujourd'hui, le produit n'occupe plus la place centrale – il est remplacé par un bouquet de services très complet. Cette évolution s'explique par un glissement du pouvoir des utilisateurs vers les clients. Auparavant, c'était le chirurgien qui décidait dans les grandes lignes quel produit il souhaitait utiliser; aujourd'hui, cette décision revient aux centrales d'achat hospitalières ou aux organismes payeurs. Dans certains marchés, les achats se font par le biais de centrales d'achat ou

d'appels d'offres. Le prix et l'étendue du portefeuille produits étant plus importants que les préférences des utilisateurs, l'évolution tend à la concentration des achats de produits et de services auprès de «fournisseurs globaux» et à la réorganisation de l'ensemble du secteur en grands groupes mondiaux qui s'établissent en tant que «guichets uniques».

Conséquences pour la Suisse: Pour les entreprises medtech suisses de petite et moyenne taille, il devient de plus en plus difficile d'obtenir accès aux centrales d'achat hospitalières ou d'être prises en compte lors d'appels d'offres à grande échelle. A ces difficultés s'ajoute le fait qu'il leur est généralement impossible de proposer un bouquet de plusieurs produits.

Repenser les soins de santé

Etat des lieux: Les prestataires de soins ont réagi à la pression sur les coûts et sont en train de développer de nouveaux modèles de soins. Ces approches incluent des solutions novatrices et économiques de prise en charge et de suivi à distance des malades chroniques ou des personnes âgées dans leur environnement familial – sans visites médicales et sans hospitalisation. La communication virtuelle avec les patients permet par exemple de transmettre à intervalles réguliers des relevés de valeurs médicales importantes ou de rappeler aux patients de prendre des médicaments. L'objectif est d'améliorer le niveau général des soins et de la qualité de vie pour les patients et de leur procurer un sentiment de sécurité.

Les nouveaux modèles de soins permettent de fournir de nombreux services de manière plus efficiente. Les entreprises medtech doivent adapter leur offre en conséquence.

Conséquences pour la Suisse: Le secteur suisse de la technique médicale est composé principalement de PME. Grâce à leur taille restreinte, celles-ci peuvent réagir de manière plus agile aux évolutions du marché et saisir les opportunités qui en découlent.

Des emballages respectueux de l'environnement

Déchets plastiques

Etat des lieux: D'énormes quantités de déchets plastiques de tout genre dérivent sur les océans, en particulier des sacs et des emballages. Leur volume total est estimé à plus de cinq billions d'objets ou 270'000 tonnes en surface; on ne peut que supposer les quantités présentes en profondeur. Chaque année, cinq à douze millions de tonnes s'y ajoutent. Le plastique est très résistant; il faut attendre 350 à 400 ans pour qu'il se décompose entièrement. Les particules qui surnagent à la surface sont désagrégées en minuscules billes par les vagues, l'eau salée et la lumière UV. Les organismes marins les confondent avec de la nourriture et les déchets plastiques intègrent ainsi la chaîne alimentaire, menaçant aussi l'être humain.

Une étude de l'EPFL a montré que les lacs suisses, en particulier le Lac de Constance, étaient également pollués par des microplastiques. Selon l'Office fédéral de la santé publique, les concentrations mesurées pour l'instant ne représentent pas encore de risque direct pour l'environnement et la qualité de l'eau – mais le sujet est maintenant aussi d'actualité pour la Suisse.

Conséquences pour la Suisse: Ce sont en première ligne les fabricants d'emballages qui sont appelés à agir: ils doivent développer des emballages intelligents, c'est-à-dire dégradables, et étudier la nocivité des produits de décomposition. Le repêchage des déchets à la surface de l'eau n'est pas réaliste dans le cas de lacs car contrairement aux océans il ne s'y forme pas d'îlots de déchets. Il faut également sensibiliser les consommateurs au fait que les emballages plastiques doivent être évités ou tout au moins réutilisés.

Perspective

L'économie et la société en profonde mutation

Les chapitres qui précèdent décrivent les développements technologiques actuels d'un point de vue professionnel. Ces développements ouvrent de nombreuses possibilités nouvelles aux utilisateurs. Pour l'industrie, ils représentent des perspectives et des défis inédits. Mais leurs implications sont aussi d'ordre sociétal. La transformation numérique dont traite en détail le chapitre «Le monde numérique» appelle sur ce point une attention toute particulière. Les progrès en matière d'intelligence artificielle et de systèmes autonomes font rêver – et créent des appréhensions.

Ces deux évolutions présentent en effet le potentiel de modifier radicalement les conditions de travail et de vie. Comme on le sait, chaque évolution s'accompagne à la fois d'opportunités et de risques. Rétrospectivement, le constat souvent exprimé selon lequel chaque révolution industrielle a créé plus d'emplois qu'elle n'en a détruits est peut-être juste. Mais il ne s'agit pas d'une loi naturelle et on ne peut donc pas s'en tenir là.

L'évolution qui se profile se distingue fondamentalement des cycles précédents. Jusqu'à présent, le travail manuel était remplacé par du travail intellectuel. Il semble aujourd'hui que même ce domaine, jusque-là réservé à l'être humain, devient accessible à l'automatisation. Auparavant, les emplois se déplaçaient de l'agriculture et de l'industrie vers les services; dorénavant, même les emplois dans ce dernier secteur seront fortement menacés.

Dans une première phase de transition, seule la coexistence de l'être humain et de la machine va évoluer. Dans un premier temps, cela créera peut-être même des emplois supplémentaires. A plus long terme, on ne peut cependant pas exclure que des machines remplacent en grande partie l'être humain dans de nombreuses activités clé du secteur des services. La menace pèse en premier lieu sur les activités intellectuelles routinières, dans lesquelles le contact interpersonnel ne joue pas de rôle important. Une étude de l'université d'Oxford est récemment parvenue à la conclusion qu'une bonne moitié des emplois actuels étaient automatisables.

Même si cette évolution entraîne aussi l'émergence de nouveaux profils d'occupation, par exemple dans le domaine créatif, il n'est pas certain que ces emplois seront suffisamment rémunérés pour assurer les moyens de subsistance. Il en découle que, pour éviter à l'avenir des conflits sociaux majeurs, il est essentiel de réfléchir sérieusement à des modèles de compensation financière. Même certains entrepreneurs et investisseurs de la Silicon Valley envisagent entre-temps sérieusement de telles mesures d'accompagnement. L'objectif doit être d'aller à la rencontre des incertitudes et des appréhensions qui pourraient entraver le progrès en proposant des solutions adaptées, et non de les ignorer ou de les nier.

Dans le cadre de son programme prioritaire «Intelligence artificielle et transformation digitale», la SATW va étudier attentivement les évolutions futures et en aborder au besoin les conséquences sociétales avec ses partenaires du réseau des Académies suisses des sciences.

Références

Introduction

Brynjolfsson E, McAfee A. Race against the machine. How the digital revolution is accelerating innovation, driving productivity, and irreversibly transforming employment and the economy. Lexington: Digital Frontier Press; 2011

Joy B. Why the future doesn't need us. Wired 2000; 8.04: 1^{er} avril 2000

Denning S. The jobless future is a myth. Forbes Online: 4 juin 2015. Disponible en ligne sous <http://www.forbes.com/sites/stevedenning/2015/06/04/the-robots-are-not-coming/#9ab37172e392>. Dernière consultation le 16 février 2017

Le monde numérique

Fleisch E, Weinberger M, Wortmann F. Geschäftsmodelle im Internet der Dinge. zfbf 2015; 67: 444–464

Porter ME, Heppelmann JE. How smart, connected products are transforming competition. Harvard Business Review: novembre 2014. Disponible en ligne sous <https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-are-transforming-competition>. Dernière consultation le 17 février 2017

Bosch internet of things and services lab. A cooperation of HSG and Bosch. Disponible en ligne sous <http://www.iot-lab.ch>. Dernière consultation le 17 février 2017

IBM Research. Global technology outlook 2015. Disponible en ligne sous [http://www-03.ibm.com/procurement/proweb.nsf/objectdocswebview/file3+-+ibm+gto+overview+-+agerwala/\\$file/3+-+ibm+gtooverview+-+agerwala.pdf](http://www-03.ibm.com/procurement/proweb.nsf/objectdocswebview/file3+-+ibm+gto+overview+-+agerwala/$file/3+-+ibm+gtooverview+-+agerwala.pdf). Dernière consultation le 17 février 2017

Horizontale Integration. Disponible en ligne sous https://de.wikipedia.org/wiki/Horizontale_Integration. Dernière consultation le 17 février 2017

Smart industry. Disponible en ligne sous www.smartindustry.nl. Dernière consultation le 17 février 2017

Schnell U. Maschinenbau-Professoren entwerfen Roadmap für Industrie 4.0. Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP)-Standpunktpapier: 24 juin 2016. Disponible en ligne sous <http://www.maschinenmarkt.vogel.de/maschinenbau-professoren-entwerfen-roadmap-fuer-industrie-40-a-539820>. Dernière consultation le 17 février 2017

Technischer Bericht zur eingesetzten Schadsoftware beim Cyberangriff auf die RUAG. Disponible en ligne sous https://www.melani.admin.ch/melani/de/home/dokumentation-berichte/fachberichte/technical-report_apt_case_ruag.html. Dernière consultation le 17 février 2017

Cyber security strategy for Germany. Disponible en ligne sous http://www.nato.diplo.de/contentblob/3067702/Daten/1132940/Cyberstrategy_engl_DLD.pdf. Dernière consultation le 17 février 2017

SN002 - Nationale Strategie zum Schutz der Schweiz vor Cyber-Risiken (NCS). Disponible en ligne sous https://www.isb.admin.ch/isb/de/home/ikt-vorgaben/strategien-teilstategien/sn002-nationale_strategie_schutz_schweiz_cyber-risiken_ncs.html. Dernière consultation le 17 février 2017

Strategie des Bundesrates für eine digitale Schweiz. Disponible en ligne sous <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-61417.html>. Dernière consultation le 17 février 2017

Strategie „Digitale Schweiz“ – Umsetzung. Disponible en ligne sous <https://www.bakom.admin.ch/bakom/de/home/digital-und-internet/strategie-digitale-schweiz/aktionsplan.html>. Dernière consultation le 17 février 2017

Künstliche Intelligenz. Disponible en ligne sous https://de.wikipedia.org/wiki/Künstliche_Intelligenz. Dernière consultation le 17 février 2017

Algorithmus. Disponible en ligne sous <https://de.wikipedia.org/wiki/Algorithmus>. Dernière consultation le 17 février 2017

IEEE: Advancing technology for humanity. Disponible en ligne sous http://www.ieee.org/index.html?WT.mc_id=mn_ieee. Dernière consultation le 17 février 2017

Hank R. Eine Revolution namens Uber. Frankfurter Allgemeine : 1^{er} janvier 2015. Disponible en ligne sous <http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/unternehmen/digitalisierung-eine-revolution-namens-uber-13342892.html>. Dernière consultation le 17 février 2017

Keller L. Der Mega-Hype in der falschen Realität. Blick: 19 juillet 2016. Disponible en ligne sous <http://www.blick.ch/life/digital/augmented-reality-vs-virtual-reality-der-mega-hype-in-der-falschen-realitaet-id5276109.html>. Dernière consultation le 17 février 2017

ViDi: Seeing what matters. Disponible en ligne sous <http://www.vidi-systems.com/>. Dernière consultation le 17 février 2017

YuMi® - zusammen in die Zukunft der Automatisierung. Disponible en ligne sous <http://new.abb.com/products/robotics/de/industriroboter/yumi>. Dernière consultation le 17 février 2017

SNV. Die Schweiz braucht Normen. Disponible en ligne sous <http://www.snv.ch/de/>. Dernière consultation le 17 février 2017

World robotics report 2016. Disponible en ligne sous <http://www.ifr.org/news/ifr-press-release/world-robotics-report-2016-832/>. Dernière consultation le 17 février 2017

International Federation of Robotics – products. Disponible en ligne sous <http://www.ifr.org/service-robots/products/>. Dernière consultation le 17 février 2017

Zukunftsfonds Schweiz. Disponible en ligne sous <http://www.zukunftsfondsschweiz.ch/d/>. Dernière consultation le 17 février 2017

Children's National Health System. Supervised autonomous in vivo robotic surgery on soft tissues is feasible: Outperforms standard surgery techniques, study shows. ScienceDaily: 4 mai 2016. Disponible en ligne sous <https://www.sciencedaily.com/releases/2016/05/160504151855.htm>. Dernière consultation le 17 février 2017

Precision farming. Disponible en ligne sous https://de.wikipedia.org/wiki/Precision_Farming. Dernière consultation le 17 février 2017

Flourish project. Disponible en ligne sous <http://flourish-project.eu/>. Dernière consultation le 17 février 2017

ETHZ – flying robots. Disponible en ligne sous <http://www.asl.ethz.ch/research/flying-robots.html>. Dernière consultation le 17 février 2017

Robotics. Intelligent robots for improving the quality of life. Disponible en ligne sous <http://www.nccr-robotics.ch/RescueRobots>. Dernière consultation le 17 février 2017

Icarus. Unmanned search and rescue. Disponible en ligne sous <http://www.fp7-icarus.eu>. Dernière consultation le 17 février 2017

Sherpa. Disponible en ligne sous <http://www.sherpa-project.eu>. Dernière consultation le 17 février 2017

Nepal earthquake: ICARUS partners B-FAST and ESRI to the rescue. Disponible en ligne sous <http://www.fp7-icarus.eu/news/nepal-earthquake-icarus-partners-b-fast-and-esri-rescue>. Dernière consultation le 17 février 2017

TRADR successfully deployed robot technology for disaster response in Amatrice. Disponible en ligne sous <http://www.tradr-project.eu/?p=1835>. Dernière consultation le 17 février 2017

National Centre of Competence in Research (NCCR) Digital Fabrication. Disponible en ligne sous <http://www.dfab.ch/research/#>. Dernière consultation le 17 février 2017

Buterin V. Ethereum: a next-generation smart contract and decentralized application platform. Github; 2013. Disponible en ligne sous <https://github.com/ethereum/wiki/wiki/White-Paper>. Dernière consultation le 17 février 2017

Wood G. Ethereum: a secure decentralised generalised transaction ledger – EIP-150 revision. Disponible en ligne sous <http://paper.gawwood.com/>. Dernière consultation le 17 février 2017

Wood G. Polkadot – vision for a heterogeneous multi-chain framework. Github; 14 novembre 2016. Disponible en ligne sous <https://github.com/polkadot-io/polkadotpaper/blob/master/PolkaDotPaper.pdf>. Dernière consultation le 17 février 2017

Cosmos – a network of distributed ledgers. Github: juin 2016. Disponible en ligne sous <https://github.com/cosmos/cosmos/blob/master/WHITEPAPER.md>. Dernière consultation le 17 février 2017

Procédés de fabrication

Photonics West 2016: New industrial 16-watts femtosecond laser. Disponible en ligne sous <https://www.jenoptik.com/press/presreleases/2016/02/15/photonics-west-2016-femto-16-laser>. Dernière consultation le 27 février 2017

Taylor Hobson. LupoScan 260/420 HD. Disponible en ligne sous <http://www.taylor-hobson.com/products/34/109.html>. Dernière consultation le 27 février 2017

Wohlers TO. Wohlers Report 2016: 3D printing and additive manufacturing state of the industry. In: Annual worldwide progress report. Fort Collins: Wohlers Associates; ISBN 978-0-9913332-0-2

Robertshaw S, Achilleopoulos N, Bengtsson JE, Crehan P, Giuliano A, Soldatos J. The collaborative economy: impact and potential of collaborative internet and additive manufacturing. Disponible en ligne sous [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/547425/EPRS_STU\(2015\)547425_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/547425/EPRS_STU(2015)547425_EN.pdf). Dernière consultation le 27 février 2017

Van der Zee F, Rehfeld D, Hamza C. Open innovation in industry, including 3D printing. Disponible en ligne sous [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/563445/IPOL_STU\(2015\)563445_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/563445/IPOL_STU(2015)563445_EN.pdf). Dernière consultation le 27 février 2017

AM Platform. Additive manufacturing: strategic research agenda 2014. Disponible en ligne sous <http://www.rm-platform.com/linkdoc/AM%20SRA%20-%20February%202014.pdf>. Dernière consultation le 27 février 2017

Process analytical technology. Disponible en ligne sous https://de.wikipedia.org/wiki/Process_Analytical_Technology. Dernière consultation le 27 février 2017

Arbeitskreis Prozessanalytik der GDCh und der DECHEMA. Disponible en ligne sous <http://www.arbeitskreis-prozessanalytik.de>. Dernière consultation le 27 février 2017

Fukuda K, Watanabe C. Japanese and US perspectives on the national innovation ecosystem. *Technology in Society* 2008; 30: 49-63

Baldwin C, von Hippel E. Modeling a paradigm shift: from producer innovation to user and open collaborative innovation. *Organization Science*, publication en ligne le 11 mars 2011; doi: 10.1287/orsc.1100.0618

Autres technologies

Attosekundenlaser: Bis ins Innere der Atomhülle. Disponible en ligne sous <http://www.weltderphysik.de/gebiet/atome/konventionelle-laser/attosekundenlaser-bis-ins-innere-der-atomhuelle/>. Dernière consultation le 28 février 2017

SwissFEL – die neue Grossanlage des Paul Scherrer Instituts. Disponible en ligne sous <https://www.psi.ch/media/ueberblick-swissfel>. Dernière consultation le 28 février 2017

Quantum technologies. Disponible en ligne sous <https://www.epsrc.ac.uk/research/ourportfolio/themes/quantumtech/>. Dernière consultation le 28 février 2017

European Commission will launch 1 billion quantum technologies flagship. Disponible en ligne sous <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/european-commission-will-launch-eu1-billion-quantum-technologies-flagship>. Dernière consultation le 28 février 2017

Mali P, Esvelt KM, Church GM. Cas9 as a versatile tool for engineering biology. *Nature Methods* 2013; 10: 957–963

Die neue Gen-Revolution: Was man zu CRISPR/Cas wissen sollte. Disponible en ligne sous <http://www.transgen.de/forschung/2564.crispr-genome-editing-pflanzen.html>. Dernière consultation le 28 février 2017

CRISPR/Cas9 and targeted genome editing: a new era in molecular biology. Disponible en ligne sous <https://www.neb.com/tools-and-resources/feature-articles/crispr-cas9-and-targeted-genome-editing-a-new-era-in-molecular-biology>. Dernière consultation le 28 février 2017

Gene-edited CRISPR mushroom escapes US regulation. Disponible en ligne sous <http://www.nature.com/news/gene-edited-crispr-mushroom-escapes-us-regulation-1.19754>. Dernière consultation le 28 février 2017

Kickbusch I. The food system. Disponible en ligne sous <http://www.ilonakickbusch.com/kickbusch-wAssets/docs/White-Paper---The-Food-System.pdf>. Dernière consultation le 28 février 2017

Kraft P. 9 out of 10 start-ups fail - how can the lean startup method help to found businesses more successfully? Disponible en ligne sous <http://www.munich-business-school.de/insights/en/2016/01/lean-startup/>. Dernière consultation le 28 février 2017

Kollmann T, Linstaedt J, Kensbock J. European startup monitor. Disponible en ligne sous http://europeanstartupmonitor.com/fileadmin/presse/download/esm_2015.pdf. Dernière consultation le 28 février 2017

Forum for a better functioning food supply chain. Disponible en ligne sous http://ec.europa.eu/growth/sectors/food/competitiveness/supply-chain-forum/index_en.html. Dernière consultation le 28 février 2017

World Food System Center. Disponible en ligne sous <http://www.worldfoodsystem.ethz.ch>. Dernière consultation le 28 février 2017

Food for Life Switzerland. Strategic research agenda 2009 – 2020. Disponible en ligne sous http://www.swissfoodnet.ch/fs/documents/Forschungsagenda/SRA_E.pdf. Dernière consultation le 28 février 2017

Allredge K, Newaskar P, Ungerman K. The digital future of consumer-packaged-goods companies. Disponible en ligne sous <http://www.mckinsey.com/industries/consumer-packaged-goods/our-insights/the-digital-future-of-consumer-packaged-goods-companies>. Dernière consultation le 28 février 2017

Food Drink Europe. European food and drink industry 2014 - 2015. Disponible en ligne sous http://www.fooddrinkeurope.eu/uploads/publications_documents/Data_and_Trends_2014-20152.pdf. Dernière consultation le 28 février 2017

The Nielsen Company. The sustainability imperative. New insights on consumer expectations. Disponible en ligne sous http://richesses-immaterielles.com/wp-content/uploads/2015/10/9053_Global_Sustainability_Report_Site-Web-RRI.pdf. Dernière consultation le 28 février 2017

Lipinski B, Hanson C, Waite R, Searchinger T, Lomax J, Kitinjoja L. Reducing food loss and waste. Disponible en ligne sous <http://www.wri.org/publication/reducing-food-loss-and-waste>. Dernière consultation le 28 février 2017

Stenmarck Å, Jensen C, Quested T, Moates G. Estimates of European food waste levels. Disponible en ligne sous <https://www.eu-fusions.org/phocadownload/Publications/Estimates%20of%20European%20food%20waste%20levels.pdf>. Dernière consultation le 28 février 2017

How to feed the world in 2050. Disponible en ligne sous http://www.fao.org/fileadmin/templates/wfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf. Dernière consultation le 28 février 2017

European Commission. A European consumer agenda - boosting confidence and growth. Disponible en ligne sous http://ec.europa.eu/consumers/archive/strategy/docs/consumer_agenda_2012_en.pdf. Dernière consultation le 28 février 2017

Deloitte. Industry 4.0. Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies. Disponible en ligne sous <http://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf>. Dernière consultation le 28 février 2017

Hofrichter B, Dümmler P. The Swiss medical technology industry 2014: the dawn of a new era. Disponible en ligne sous http://www.ehealthnews.eu/images/stories/pdf/SMTI_2014.pdf. Dernière consultation le 28 février 2017

Powell D, Scheel O, Tribe B. Medical devices: equipped for the future? Disponible en ligne sous <http://www.akearney.de/documents/856314/5231135/BIP-medical-devices-equipped-for-the-future.pdf/b77fb934-6eec-458f-a3b1-c566e76de37c>. Dernière consultation le 28 février 2017

Europäischer Gesundheitsversorger. Disponible en ligne sous <https://www.avanade.com/de-ch/clients/euro-public-health-provider>. Dernière consultation le 28 février 2017

Parker L. Ocean trash: 5.25 trillion pieces and counting, but big questions remain. Disponible en ligne sous <http://news.nationalgeographic.com/news/2015/01/150109-oceans-plastic-sea-trash-science-marine-debris/>. Dernière consultation le 28 février 2017

Das kann kein Meer mehr schlucken: Unsere Ozeane versinken im Plastikmüll. Disponible en ligne sous <http://www.wwf.de/themen-projekte/meere-kuesten/unsere-ozeane-versinken-im-plastikmuell/>. Dernière consultation le 28 février 2017

Faure F, de Alencastro F. Evaluation de la pollution par les plastiques dans les eaux de surface en Suisse. Disponible en ligne sous <https://www.news.admin.ch/newsd/message/attachments/37656.pdf>. Dernière consultation le 28 février 2017

L'économie et la société en profonde mutation

Frey CB, Osborn MA. The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation? Disponible en ligne sous <http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/future-of-employment.pdf>. Dernière consultation le 28 février 2017

Brynjolfsson E, McAfee A. The second machine age: work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies. New York: W.W. Norton & Co., 2014

Glossaire

Industrie 4.0. Disponible en ligne sous https://de.wikipedia.org/wiki/Industrie_4.0. Dernière consultation le 28 février 2017

Optik. Disponible en ligne sous <https://de.wikipedia.org/wiki/Optik>. Dernière consultation le 28 février 2017

Photonik. Disponible en ligne sous <https://de.wikipedia.org/wiki/Photonik>. Dernière consultation le 28 février 2017

Desoxyribonukleinsäure. Disponible en ligne sous <http://flexikon.doccheck.com/de/Desoxyribonukleins%C3%A4ure>. Dernière consultation le 28 février 2017

Glossaire

Optique

L'optique traite de la propagation de la lumière et de son interaction avec la matière, en particulier dans le contexte d'images optiques. Aujourd'hui, on considère que la notion de lumière couvre non seulement la partie visible du spectre située entre 380 nm (violet) et 780 nm (rouge), mais aussi les deux zones adjacentes de l'infrarouge à ondes plus longues (780 nm – 1 mm) et de l'ultra-violet à ondes plus courtes (10 nm – 380 nm).

Electronique

Un électron est une particule élémentaire à charge électrique négative dans la couche électronique. Dans un conducteur électrique comme le métal, les électrons se meuvent quasi librement. Dans les composants électroniques semi-conducteurs, par exemple les transistors, les électrons ne sont en revanche que partiellement mobiles. L'application technique de tels composants est désignée par le terme d'électronique.

Photonique

La photonique associe deux domaines des sciences physiques: l'optique et l'électronique. La photonique s'est tout d'abord développée dans le domaine des techniques de communication optiques – la fibre de verre sert de moyen de transmission et les diodes laser de source lumineuse modulable. Le domaine d'application de la photonique s'est massivement élargi ces dernières années grâce au développement plus poussé des fondements optiques et des composants optoélectroniques.

Biotechnologie

La biotechnologie concerne l'association des sciences naturelles et de la technique en vue de la fabrication de produits et du développement de procédés sur la base d'organismes ou de parties d'organismes naturels ou modifiés. En tant que technologie transversale, la biotechnologie forme la base de secteurs extrêmement variés tels l'(agro-)chimie et la pharmaceutique, la diagnostique, l'énergie et la cleantech, la nanotechnologie et l'industrie alimentaire.

ADN

L'acide désoxyribonucléique, ou ADN, est une macromolécule porteuse de l'information génétique. Celle-ci est inscrite dans l'ADN sous une forme particulière, le code génétique. L'ADN sert de «modèle» pour la production des protéines endogènes.

Technique médicale

La technique médicale couvre principalement la fabrication de produits médicaux, c'est-à-dire de produits, d'instruments, d'appareils ou de machines visant la prévention, le diagnostic et le traitement de maladies et de blessures. Les produits médicaux servent également à détecter, mesurer, reconstituer, corriger ou modifier des structures et des fonctions corporelles pour des raisons de santé. Généralement, un produit médical remplit sa fonction non par des moyens pharmacologiques, immunologiques ou métaboliques, mais par des approches relevant de la technique et de l'ingénierie.



satw it's all about
technology

Académie suisse des sciences techniques
Gerbergasse 5 | 8001 Zurich | 044 226 50 11 | info@satw.ch | www.satw.ch