

Zeitschrift: Tracés : bulletin technique de la Suisse romande
Herausgeber: Société suisse des ingénieurs et des architectes
Band: 134 (2008)
Heft: 02: Supermaçon

Artikel: Quand les robots se mettent à construire
Autor: Rihs, Sandra
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-99651>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 08.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Quand les robots se mettent à **construire**

ROBOTIQUE

Il y a bientôt trente ans que les premiers robots sont arrivés sur les chantiers – japonais, bien sûr. Depuis, plusieurs systèmes de construction automatisés suscitent de grands espoirs, notamment au niveau de la prévention des accidents. Mais les résultats ne sont pas encore probants, même si le succès des robots industriels a pu laisser penser le contraire. La situation sur le chantier est plus complexe qu'en usine.

Le terme de robot apparaît pour la première fois au début des années 20, dans une pièce de théâtre de l'écrivain Karel Capek : « robota », dans les langues slaves, signifie « travail forcé ». Robots aspirateurs ou robots miniatures, robots médicaux et infirmiers, robots qui jouent au foot ou au golf, robots humanoïdes ou robots industriels... La panoplie est vaste. En 2007, selon la Fédération Internationale de Robotique (IFR)¹, il y avait 951 000 robots en utilisation dans le monde entier, dont 50% en Asie, un tiers en Europe, 16% en Amérique du Nord, l'Australie et l'Afrique se partageant le 1% restant. En 2006, la croissance a été significative : en Europe, le nombre total de livraison de robots a augmenté de 11%. L'Allemagne constitue ici le plus grand marché, avec des robots destinés avant tout à l'industrie automobile.

Le Japon en tête

L'utilisation de robots sur les chantiers a commencé il y a bientôt une trentaine d'années. En l'occurrence, ce sont les Japonais qui sont les plus avancés. Au début des années 80, la productivité de l'industrie de construction nipponne fonctionne au ralenti. Il y a pénurie de main d'œuvre, et les professions de la construction sont peu attractives pour la relève. Les jeunes considèrent le travail sur le chantier comme faisant partie des tâches désignées en japonais par l'abréviation « 3K » : « kitsui » (difficile), « kitanai » (sale, salissant), « kiken » (dangereux). L'industrie de la construction subit

donc une pression pour améliorer son image et, d'autre part, son environnement de travail². *Shimizu* est la première entreprise à relever ce défi. En 1983, le premier robot de construction SSR-1 gicle de la peinture réfractaire sur une structure en acier.

Les raisons de l'introduction des robots dans l'industrie de la construction sont multiples. Pour l'International Association for Automation and Robotics in Construction (IAARC, fondée en 1990)³, les facteurs déterminants sont les suivants : éviter les travaux difficiles, sales et dangereux (les « 3K ») ; faciliter la tâche aux opérateurs de machines ; améliorer la sécurité sur les chantiers.

En 2006, l'IAARC a recensé 550 types de robots de construction au Japon. La grande majorité de ces derniers sont développées par les *Big Five* – les cinq plus grandes entreprises de construction nipponnes. Avec des revenus annuels bruts qui dépassent les 15 milliards de dollars, *Shimizu*, *Taisei*, *Kajima*, *Obayashi* et *Takenaka* consacrent 1% de leurs revenus à la recherche. Chaque entreprise développe et teste ses nouvelles technologies dans des laboratoires qui ressemblent à de véritables campus².

De manière générale, on distingue les robots qui effectuent une seule tâche (robots unifonctionnels ou « single-task », voir ci-dessous) des systèmes de construction automatisés (réalisation d'un ensemble d'opérations, voir plus loin). Parmi les premiers, 25% sont conçus pour la construction des structures en béton, notamment pour la fabrication et la pose des armatures, la manipulation des coffrages, pour couler, vibrer, lisser, polir et assécher le béton ; 21% effectuent des travaux de finition extérieurs, tels que les peintures, la pose de carrelages, de vitrage et de panneaux préfabriqués ; 21% des robots unifonctionnels sont utilisés pour les travaux d'entretien, comme l'inspection des carrelages, des tuyaux et le nettoyage de fenêtres ; 15% manipulent, ajustent et soudent l'acier ; 10% interviennent dans les travaux de finition intérieurs, le traitement des sols, la manutention de panneaux légers et les travaux de peinture ; 3% accomplissent des travaux de démolition de structures en béton alors que les 4% restants s'occupent de tâches diverses.

¹ <www.ifr.org>

² L. COUSINEAU, N. MIURA : « Construction Robots, The Search for New Building Technology in Japan », *ASCE Press*, USA, 1998

³ <www.iaarc.org>

Fig. 1 et 2 : Robot humanoïde portant un panneau avec un ouvrier, puis le posant
(Photos Junichiro Maeda, Shimizu Cooperation, Japon)

Robots humanoïdes

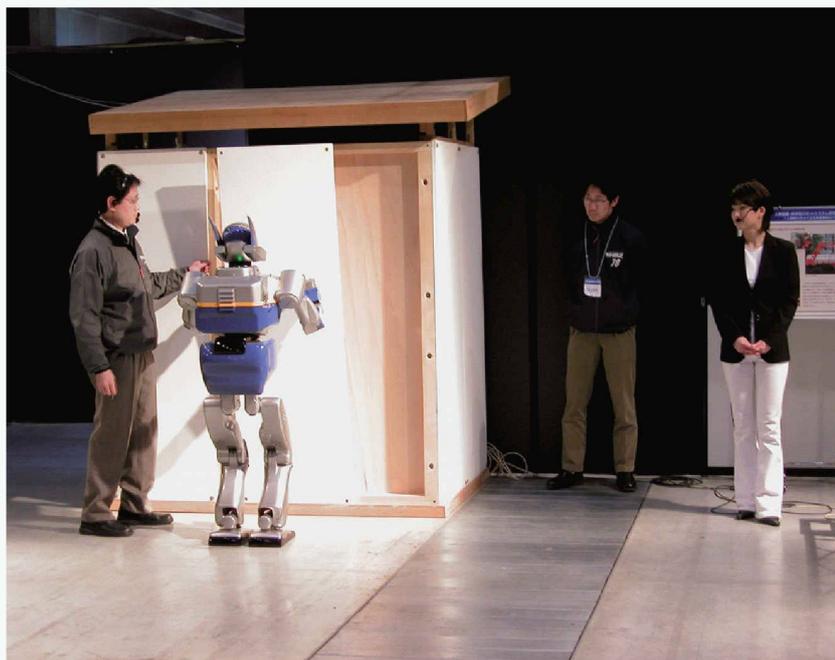
Maeda et Abe de Shimizu ainsi que Takada de l'Université de Waseda⁴ ont mené une recherche sur une possible collaboration d'un robot humanoïde avec un ouvrier. Elle regroupe trois enquêtes : la première porte sur la coordination d'une demande particulière avec la performance d'un robot humanoïde, ici le *Human Robotics Project 2* (HRP2) ; la deuxième étudie la manière dont un ouvrier collabore avec un robot humanoïde pendant qu'ils transportent un panneau à sa position finale, et qu'ils le fixent ensemble (fig. 1 et 2) ; la troisième évalue, auprès des gestionnaires de projets, les avantages de l'utilisation d'un robot humanoïde sur un chantier.

Les résultats montrent qu'un robot humanoïde peut travailler 24 heures sur 24. Il effectue des travaux contraignants et fatigants, des tâches impersonnelles. Equipé de capteurs, il est également habilité à effectuer de petits services. L'introduction d'un robot humanoïde sur un chantier peut provoquer les changements suivants :

- le travail peut être facilité (répartition appropriée des tâches entre l'être humain et le robot, méthode de travail et procédure claires et simplifiées) ;
- le travail administratif est considérablement réduit ;
- les matériaux sont transportés à temps en fonction de leur position sur le chantier et le contrôle est effectué instantanément ;
- de nombreux travaux d'assemblage et de transport nécessitent une fabrication sur le site ; le chantier doit donc fonctionner comme une usine et être opérationnel 24 heures sur 24 ;
- la présence du robot sur le site améliore considérablement la sécurité ; elle augmente également la salubrité dans les cabanes de chantier (toilettes, salle à manger, etc.).

Le robot humanoïde est utile sur un chantier pour de nombreuses tâches, telles que la pose du béton, l'assemblage d'éléments, la manipulation de la grue, le contrôle des ouvriers, la surveillance de la sécurité, le contrôle de qualité, la patrouille de nuit, la transmission des modifications au chef de chantier, le respect des délais et le nettoyage des installations sanitaires, des sols et des fenêtres.

Plusieurs problèmes techniques restent cependant à résoudre⁴. La dextérité de leurs mains ainsi que leur vitesse de travail doivent être améliorées. La marche sur un sol inégal a besoin d'être optimisée, tout comme le contrôle de la col-



⁴ J. Maeda, Y. Abe, H. Takada : « Applicable Possibility Studies on a Humanoid Robot to Cooperative Work on Construction Site with a Human Worker », Proceedings of the 21th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC, septembre 2004

Fig. 3 : SMART, Rail City Yokohama

Fig. 4 : SMART, construction automatisée

(Photos Junichiro Maeda, Shimizu Cooperation, Japon)

laboration entre humain et robot. Enfin, il s'agit d'augmenter leur fiabilité et leur durabilité. Dans un même temps, la conception des constructions doit évidemment tenir compte des conditions posées par leur introduction sur le chantier.

Systèmes de construction automatisés

Jusqu'ici, les différents types de construction automatisés sont utilisés uniquement pour la construction de gratte-ciel, du fait de la répétition des étages. Au Japon, on en compte neuf. Sept d'entre eux sont utilisés pour des constructions en acier et deux pour des systèmes en béton. Ils ont également recours à des robots unifonctionnels. Chaque type est constitué de quatre composants :

- une protection assurant la sécurité et l'étanchéité aux intempéries (englobant le site de production),
- une plateforme élévatrice pour soulever le site de production d'un étage à l'autre,
- un système automatisé pour transporter les matériaux,
- un système de contrôle d'informations centralisé.

Pour livrer dans les délais et pour le suivi des matériaux à l'intérieur du bâtiment, la plupart des systèmes de construction automatisés utilisent des codes barres et/ou la *Radio Frequency Identification* (RFID). Le nombre de robots utilisés dépend de l'ampleur de la construction. En règle générale, l'introduction de robots sur le site est possible si le projet présente un certain degré de répétitivité parmi ses éléments².

Le *Shimizu Manufacturing System by Advanced Robotics Technology* (SMART) de l'entreprise *Shimizu* est le premier exemple de construction automatisée. Il a été utilisé pour le projet de la banque *Juroku*, un édifice de 20 étages, construit entre 1991 et 1994. Une deuxième application concerne un bâtiment d'une hauteur de 133 mètres et de 30 étages, le *Rail City Yokohama*, construit entre 1994 et 1997. La méthode a été améliorée afin de créer un environnement de travail plus sûr, propre et confortable, et d'augmenter la productivité jusqu'à construire cinq étages et demi en un mois. Il s'agissait également de réduire à deux heures le temps nécessaire pour soulever la plateforme de production d'un étage,



3

4

Fig. 5 : Contour Crafting pour un mur

Fig. 6 : Contour Crafting pour la NASA

(Photos Behrokh Khoshnevis, Center for Rapid Automated Fabrication Technologies (CRAFT), University of Southern California, USA)

et de réduire les déchets de chantier. Grâce notamment à la préfabrication des éléments de construction, à l'uniformisation des matériaux et au système de contrôle informatisé, la quantité de travail a pu être réduite de 50%, les coûts de 30% et la quantité des déchets de 70%².

Un procédé américain

Aux Etats-Unis, Behrokh Khoshnevis, de l'Université de la Californie du Sud, s'est spécialisé dans un procédé appelé *Contour Crafting*⁵ (fig. 5 à 8). Il consiste à couler couche après couche de la céramique ou du béton visqueux, par exemple, ou d'autres matériaux de construction qui sèchent rapidement. Il utilise une grue guidée par informatique en vue de construire un bâtiment de manière rapide et efficace, sans main-d'oeuvre. Il s'agit d'une méthode d'abord utilisée pour construire des moules dans le cadre de la fabrication d'objets industriels.

Le *Contour Crafting* donne une finition lisse et précise. En combinant l'automatisation d'anciens outils avec la robotique conventionnelle, il permet la fabrication d'objets tridimensionnels en peu de temps. Ses domaines d'application sont très vastes.

Selon Behrokh Khoshnevis, cette méthode devrait permettre de construire des structures d'ingénierie civile, des maisons dans des bidonvilles ou dans des régions touchées par des catastrophes, des réalisations à grande échelle comme des immeubles, des œuvres d'art, voire même de bâtir sur la Lune ou sur Mars. Le temps estimé pour la construction d'une maison d'environ 185 m² sur deux étages est de 24 heures, y compris les conduites d'eau et d'électricité et les armatures. La vitesse de déploiement du robot est de 12,5 cm par seconde. Toutefois, à ce jour, aucune maison n'a été construite selon ce procédé. Behrokh Khoshnevis reste cependant optimiste et pense que d'ici 2025, le *Contour Crafting* servira à la construction d'une grande majorité des édifices aux USA.

Un exemple suisse

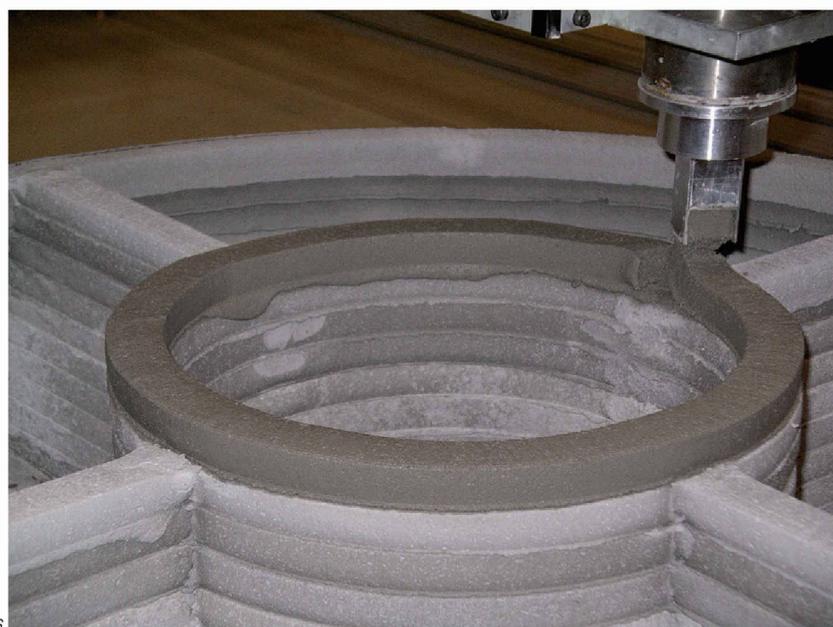
En Suisse, des chercheurs se sont concentrés sur la fabrication d'un mur en briques. Entre mai et juillet 2006, une collaboration entre les architectes Bearth & Deplazes et les professeurs assistants Gramazio & Kohler, de la chaire d'architecture et fabrication digitale de l'EPF à Zurich⁶, a porté ses fruits, puisque les murs extérieurs du domaine viticole *Gantenbein* à Fläsch (GR) ont été fabriqués avec un robot industriel (voir page 12).

⁵ <www.contourcrafting.org>

⁶ <www.dfab.arch.ethz.ch>



5

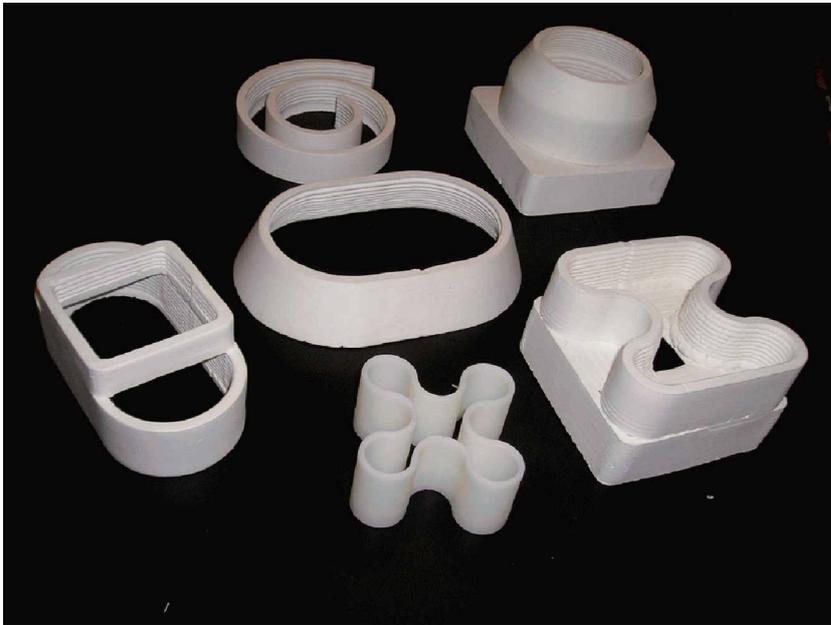


6

Fig. 7 : Contour Crafting en argile

Fig. 8 : Contour Crafting en maquette

(Photos Behrokh Khoshnevis, Center for Rapid Automated Fabrication Technologies (CRAFT), University of Southern California, USA)



Plus de sécurité

En ce qui concerne la sécurité, il est indispensable de réfléchir à de nouvelles solutions. Le domaine de la construction compte le taux le plus élevé de blessures du secteur secondaire. En effet, selon la statistique de l'assurance-accidents LAA⁷, 47,5% des accidents enregistrés dans le secteur secondaire en Suisse se produisent dans la construction, ce qui a engendré en 2005 des coûts de 443 millions de francs. Pour l'industrie de la construction, le coût des accidents représente 3% du chiffre d'affaires, alors que le profit se situe autour de 1,3% : un investissement supplémentaire en matière de sécurité pourrait donc considérablement augmenter le profit. La Fédération européenne de l'industrie de la construction (FIEC)⁸ a attribué les maladies professionnelles aux causes mentionnées sur la figure 9. Les causes d'accidents fatals des trente dernières années figurent quant à elles sur la figure 10. Comme mentionné par le syndicat UNIA⁹, le nombre d'accidents a continuellement baissé en Suisse depuis 1992 ; cependant, le travail sur le chantier a toujours de l'impact sur la santé des ouvriers. Les aspects les plus souvent oubliés, et qui tous peuvent provoquer des accidents, sont le stress, les changements irréguliers d'équipes et le travail mal coordonné.

Gain économique

Economiquement parlant, l'introduction de robots et de systèmes de construction automatisés est liée à l'idée d'augmenter le rendement tout en produisant à un coût unitaire réduit. Le succès des robots industriels pouvait en effet laisser croire que les robots de construction seraient synonymes d'une augmentation de la productivité. Mais, comme mentionné par Cousineau et Miura², les exigences sont plus complexes. En termes d'efficacité, les robots unifonctionnels ont partiellement atteint les buts de leur mission : pour l'exécution de certains travaux répétitifs comme les points de soudure de constructions métalliques, ils sont plus efficaces que leurs collègues humains. Par contre, ils provoquent une multitude d'opérations supplémentaires : il faut les mettre en place, les ranger, etc. Dans ce cas, l'amélioration de la productivité est moins évidente.

En ce qui concerne la construction automatisée, l'augmentation de la productivité devrait tenir à la gestion informatisée des différentes tâches. Le nombre d'ouvriers travaillant



⁷ <www.unfallstatistik.ch/f/index_f.htm>

⁸ FIEC : « Guide of Best Practice on the Coordination of Health and Safety in the Construction Sector (Part II) », avril 2003

⁹ D. MORDASINI : « Steigende Gesundheitsbelastung auf dem Bau », UNIA, 2005

sur un site utilisant des robots ne baisse pas, les compétences se déplacent : les robots remplacent certains ouvriers, mais créent des postes de planification, de programmation et de surveillance. La réduction du temps est donc relative. Un robot peut travailler beaucoup plus rapidement qu'un ouvrier, mais cet avantage est réduit par le temps nécessaire à son installation. Ainsi, la réduction des coûts devient insignifiante. Avant de pouvoir réellement parler de gains économiques, il faudra que le système soit utilisé plus souvent, et qu'il ait subi des ajustements.

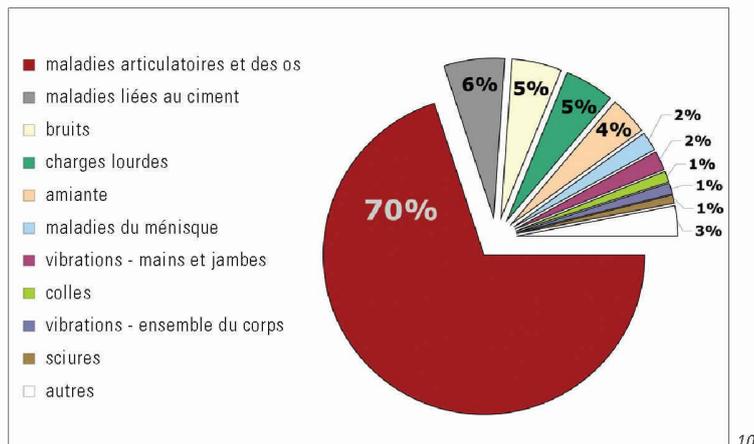
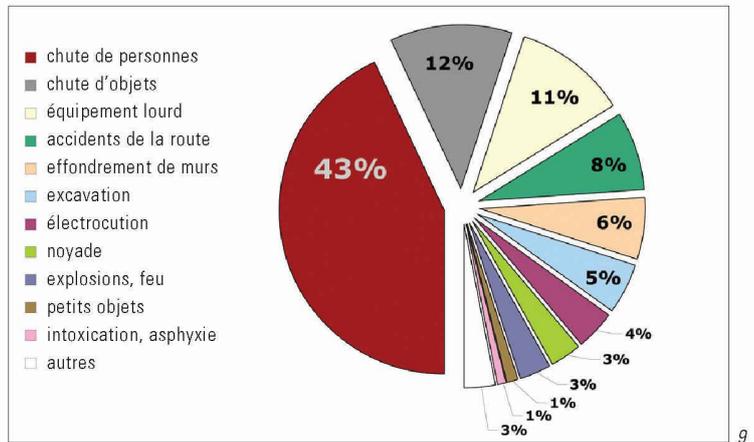
Qualité et conditions de travail

Le robot peut faire un travail constant et uniforme, mais il lui manque la capacité de détecter des irrégularités et d'entreprendre des corrections. Alors qu'un robot industriel peut être ajusté lors de tests, le robot de construction travaille souvent dans des conditions nouvelles, exécutant des opérations nettement moins répétitives. En revanche, la grande précision de certains robots permet de réduire les travaux de retouches : on obtiendra donc un gain de qualité si les projets seront conçus en fonction des aptitudes des robots et lorsqu'ils pourront entreprendre des corrections de manière autonome

L'utilisation de robots permet d'améliorer les conditions de travail pour les ouvriers, notamment s'ils sont en mesure de réaliser les travaux de gros œuvre les plus pénibles – comme la pose de dalles en béton ou les travaux de polissage. La manutention de matériaux à l'intérieur du bâtiment de manière robotisée est elle aussi efficace. L'introduction de robots capables d'effectuer les tâches les plus dangereuses – travail en hauteur, peinture extérieure ou lavage des fenêtres – réduit les risques d'accident. L'environnement de travail des ouvriers est plus agréable : ils contrôlent le robot à distance, là où il y a moins de vapeurs, de chaleur, de poussière et de bruit. Le travail est plus confortable, plus propre, plus tranquille, bref, plus sain. Le voisinage également souffre moins des nuisances du fait que le bruit et la poussière se voient confinés.

Avancée technologique

Jusqu'à aujourd'hui, les ouvriers prennent des décisions basées sur l'expérience et l'intuition. Dans le souci d'améliorer la précision, plusieurs robots ont été développés pour fournir des informations sur le déroulement des travaux : ils utilisent des technologies sophistiquées pour, par exemple, la détection de microfissuration dans un carrelage. D'autres robots accomplissent des tâches impossibles pour un être humain, comme les vérifications de la tuyauterie.



En résumé, les avantages ne sont aujourd'hui pas encore probants en comparaison des inconvénients, mais en regard du développement durable, à l'avenir, les premiers risquent de prendre le dessus. Le résultat du développement durable est constitué de la somme de trois capitaux : le capital environnemental, le capital économique et le capital social. En ce qui concerne le premier, l'utilisation des robots peut engendrer une réduction des déchets allant jusqu'à 70%. Si le gain économique est pour l'instant insignifiant, le gain social est par contre important pour la santé des ouvriers, leur sécurité ainsi que la qualité du travail. Les progrès de la robotique promettent un avenir captivant et auront, nous l'espérons, des effets positifs sur la recherche qui s'oriente vers une construction durable.

Sandra Rihs, arch. EPFZ
Ruelle des Erables 1
CH – 1026 Denges