

L'IRCCYN DE NANTES

LE LABORATOIRE NANTAIS DE LA CYBERNETIQUE

Après avoir visité le LAAS, un autre laboratoire dépendant du CNRS dans un précédent numéro de Planète Robots, c'est à Nantes — la ville natale de notre magazine — que nous allons découvrir ce centre de recherche réparti sur trois sites prestigieux — de véritables temples de la connaissance !

« **L'activité** robotique y est centrée autour de trois équipes (Robotique, Méthode de conception en mécanique et Maîtrise et optimisation des procédés de production) dont les membres s'intéressent à de nombreux domaines... »



L'Institut de recherche en communications et cybernétique de Nantes (IRCCyN).

TROIS LIEUX ET DES PROJETS DIVERS

L'Institut de recherche en communications et cybernétique de Nantes (IRCCyN) est une unité mixte de recherche du CNRS. Ce laboratoire se trouve aussi sous la tutelle de l'École centrale de Nantes, de l'université de Nantes et de l'École des mines de Nantes. Il est hébergé dans les trois établissements, l'École centrale y ayant son siège. Le personnel comprend environ deux cent soixante chercheurs et enseignants chercheurs, dont quatre-vingt-dix-neuf permanents (quinze du CNRS), mais également des chercheurs invités (venant de l'étranger afin de travailler sur des projets collaboratifs). Des doctorants formés au sein du laboratoire constituent la moitié de l'effectif... L'IRCCyN est divisé en quatre axes de recherche principaux...

— **Image Signal Commande (ISA)**, la branche historique, qui se focalise sur les traitements du signal, la théorie de la commande et la communication (traitement de l'image et de la vidéo).

— **Systèmes Mécaniques et Productive (SMP)**, la partie dont les travaux concernent la robotique, les méthodes de conception en mécanique, les procédés de production et le génie industriel.

— **Systèmes de Production (SDP)**, dont les travaux concernent la modélisation des sys-

tèmes embarqués, la commande des systèmes temps réel, etc.

— **PsyCoTec (Psychologie, Cognition, Technique)**, qui cherche à répondre à la question : « *Comment les outils informatiques et cybernétiques communiquent-ils avec l'humain ?* » Cette branche était historiquement dédiée au travail avec les contrôleurs aériens. Aujourd'hui, elle s'occupe entre autres d'étudier les comportements lors de la conduite d'un véhicule.



Centrale
Nantes

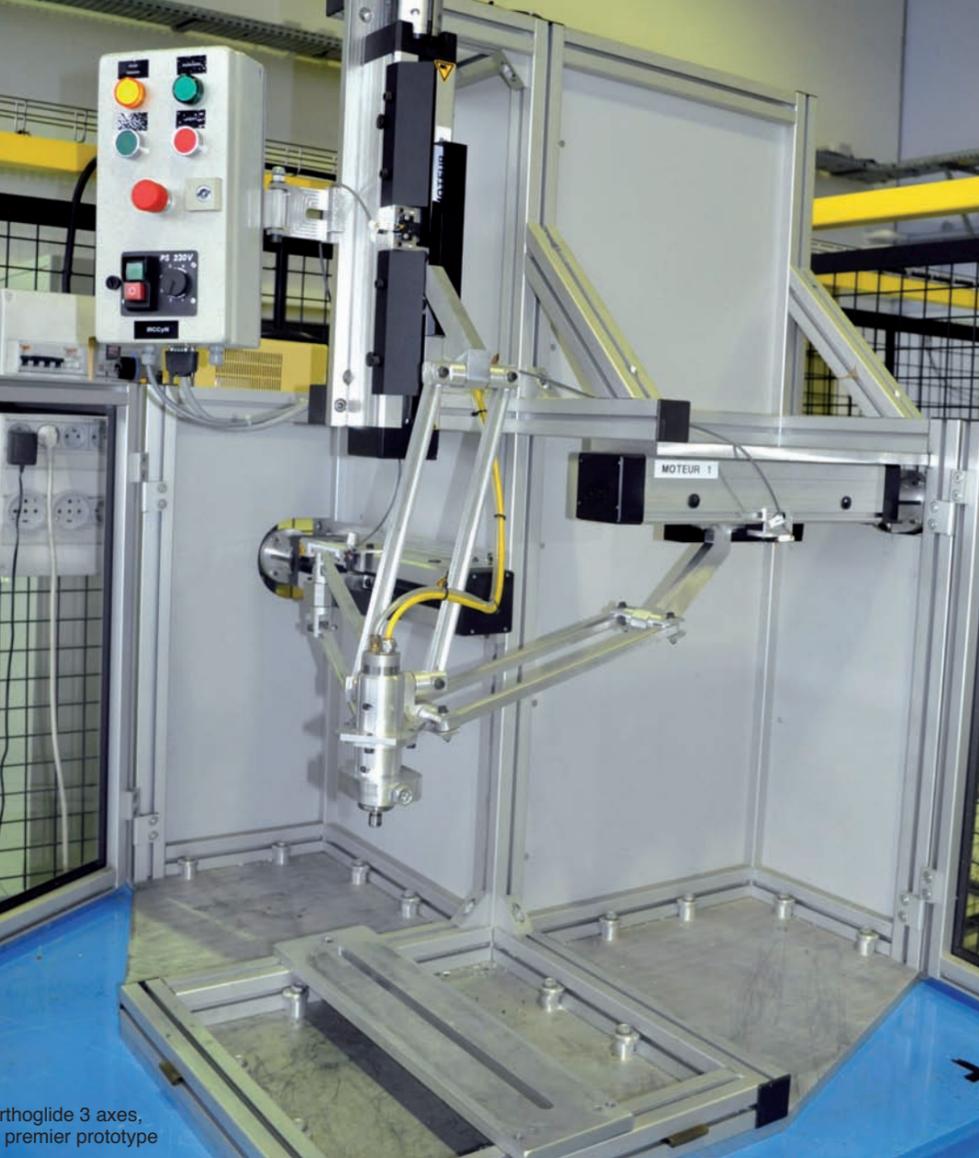
LA ROBOTIQUE À L'IRCCYN

Née en 1984 au sein du laboratoire, la robotique y a pris une place de choix. L'IRCCyN travaille sur la conception, la modélisation et le contrôle des robots et a acquis une expérience mondiale reconnue dans ces domaines. L'une de ses réalisations, diffusée dans le monde entier, est le logiciel SYMORO, qui permet la modélisation (géométrique, cinématique et dynamique) des robots.

L'activité robotique y est centrée autour de trois équipes (*Robotique, Méthode de conception en mécanique et Maîtrise et optimisation des procédés de production*) dont les membres s'intéressent à de nombreux domaines, allant de la robotique industrielle à la robotique humanoïde et biomimétique. En se promenant dans les locaux, on peut très bien tomber sur un chercheur en pleine session de réalité virtuelle, tentant de s'approprier une toute nouvelle interface robots-humains développée en interne. Dans un autre endroit, on étudie la modélisation du comportement dynamique des robots : comment les commander à partir des efforts générés par leurs moteurs, l'expérimentation pour recalculer au mieux les erreurs inhérentes au monde réel, la modélisation du frottement (en partenariat avec le CEA), etc.

ORTHOGLIDE, UN NOUVEAU CONCEPT DE ROBOTS INDUSTRIELS

Ce robot industriel d'un nouveau genre (2000) que l'on peut voir sur le site de l'École centrale est une machine de type parallèle (voir encadré). Il a pour propriété, en regard des robots sériels, d'avoir des masses en mouvement moindres et une chaîne cinématique fermée, ce qui permet d'améliorer ses capacités en termes d'accélération et de raideur. Un des premiers robots parallèles fut la plate-forme de *Gough-Stewart* (hexapode) destinée à l'origine aux tests de pneumatiques, un mécanisme doté de six degrés de liberté et muni de six vérins reliant la base à la plate-forme mobile. Une solution de remplacement de l'architecture hexapode a été présentée par l'ETH Zürich avec l'*Hexaglide*. Ce robot se caractérise par des jambes de longueur fixe qui glissent sur des rails. L'avantage de cette architecture réside dans le fait que les moteurs sont fixés sur le bâti, ce qui diminue les inerties et permet l'emploi de moteurs linéaires. L'IRCCyN a développé son propre robot, dérivé de ces technologies, avec comme ambition la conception d'une machine rapide à trois axes et extensible à cinq, ne présentant pas les inconvénients inhérents aux mécanismes parallèles. Les critères principaux de conception qui ont été retenus sont les suivants...



Orthoglide 3 axes, le premier prototype

- Trois actionneurs fixes de type glissière (diminution des inerties, possibilité d'utiliser des moteurs linéaires, meilleure dissipation thermique).
 - Un volume de travail de forme régulière, proche de celle d'un cube.
 - Une homogénéité des performances dans tout le volume de travail et dans toutes les directions.
 - Une symétrie de construction (diminution des coûts).
 - Des articulations simples (pas de cardan ni de rotule).
- L'*Orthoglide* était donc né ! Aujourd'hui pleinement fonctionnel au sein de l'IRCCyN, le prototype originel fonctionne avec trois axes (de translation). Chaque moteur offre de plus une translation perpendiculaire aux deux autres, de façon à proposer des performances homogènes dans l'espace de travail. Ce premier prototype est rapide (ses accélérations peuvent atteindre 4 G!). La grosse différence entre l'*Orthoglide* et les robots de type Delta (les robots araignées) consiste en une légère perte de vitesse (mais qui détermine une précision accrue). Une PME mexicaine qui fait de l'usinage de marbre de décoration possède un proto-

type semblable afin de tester son robot en grande nature. Il se révèle d'ailleurs simple à construire pour un coût réduit... Une version cinq axes de l'*Orthoglide* (avec trois translations et deux rotations) a été proposée plus récemment par les chercheurs de l'Institut. Cette version est destinée à l'industrialisation et un prototype préindustriel a été réalisé. Beaucoup plus gros, ce robot atteint quand même une accélération de près de 2 G. Il a pour vocation d'usiner des matériaux durs comme l'acier ou l'aluminium en UGV (usinage à grande vitesse). Il constitue à ce jour l'un des symboles les plus aboutis des travaux de l'IRCCyN en robotique parallèle.

LES SPÉCIALISTES DE LA MARCHÉ

Depuis 1996, l'IRCCyN travaille sur la robotique humanoïde et plus spécialement sur la marche des robots bipèdes. Contrairement à de nombreux robots marcheurs japonais, ceux qui sont développés ici apparaissent dynamiquement stables (ils ne sont pas en équilibre mais acquièrent cet équilibre dans la durée et la dynamique du mouvement). À Nantes, c'est grâce au *SemiQuad* que le projet a été étudié

ROBOTS SÉRIELS OU PARALLÈLES

Dans le monde industriel, il existe principalement deux types de robots manipulateurs, basés sur des technologies différentes...



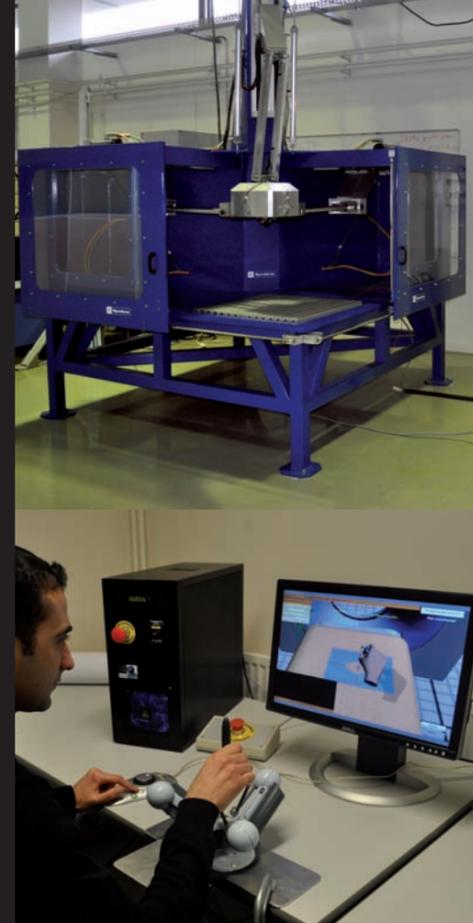
Robot sériel Fanuc.

Le type le plus largement employé est le robot sériel. Représenté par le tout à fait commun bras robotisé, il consiste en un alignement de liens rigides reliés par des axes (coudes) où sont placés les servomoteurs. Chaque coude permet un degré de liberté supplémentaire. Quant aux robots de type parallèle, ils n'ont été utilisés que plus récemment, en majeure partie dans le domaine agro-alimentaire (pour la technique du « Pick and Place »). Un robot parallèle (dit aussi delta) se présente comme un mécanisme à chaîne cinématique fermée dont l'organe terminal est relié à la base par plusieurs bras indépendants. On les appelle parfois robots araignées car les mouvements des différents bras font que leur démarche ressemble à celle d'un arachnide. Ils possèdent souvent six degrés de liberté, liés au déplacement dans l'espace (x, y, z, tangage, lacet et roulis). Mais il existe aussi des robots parallèles disposant de degrés de liberté moindres (allant de deux à six). L'animation des sièges de cinéma dynamiques constitue un parfait exemple de l'utilisation d'un robot parallèle...



Robot parallèle Adept.

et développé en parallèle avec le robot bipède *Rabbit*, basé au LAG (Laboratoire d'automatisme de Grenoble). En effet, ces deux machines comportent de nombreux points communs. Elles n'ont pas de pieds et se trouvent en déséquilibre constant. Seul le mouvement leur permet de rétablir cet équilibre (orbital). Elles y gagnent en liberté et le *Rabbit* peut même atteindre la vitesse de 12 km/h, en quittant complètement le sol entre deux pas. De plus, ce type de marche (et de course) utilise très peu d'énergie.



Une application d'interface haptique : entraînement à une opération chirurgicale.

Ces projets ont pour ambition de définir des allures de marche dynamiquement stables et économes en énergie. Les deux robots sont commandés directement en couple et non en vitesse : agir sur le couple et non sur la vitesse permet une plus grande maîtrise de la dynamique du robot marcheur ou coureur. Expérimentalement, seule la marche dans un plan sagittal a été étudiée pour le moment. Ces robots seront prochainement équipés d'accéléromètres afin qu'on puisse déterminer leur position dans l'espace.

SAVOIR COMMUNIQUER À TRAVERS DES INTERFACES HAPTIQUES

Un des pôles principaux de l'IRCCyN se penche sur le comportement des personnes face aux interfaces haptiques. Ce nouveau genre d'interface homme-machine pourrait être considéré comme un des avènements possibles de la souris (devenue si banale aujourd'hui en informatique). Le principe des interfaces haptiques consiste à redonner à l'utilisateur les sensations qu'il percevait s'il évoluait dans un monde virtuel, de l'autre côté de son écran d'ordinateur. L'interface ressemble à une sorte de crayon qu'on tient et qu'on déplace dans un petit espace en trois dimensions. Les sensations sont perçues grâce à un retour de force, un principe déjà fort connu et bien souvent utilisé (mais de manière moins performante) par les fans de jeux vidéo quand

Prototype pré-industriel de l'Orthoglide à 5 axes.

ils manipulent les joysticks qui simulent les vibrations d'un moteur de voiture dans une course de F1, par exemple. Conjointement avec le Commissariat à l'énergie atomique (CEA), l'IRCCyN étudie aussi comment l'homme emploie les interfaces haptiques pour reproduire un geste technique. En effet, il se révèle très difficile de verbaliser ou d'expliquer précisément par des mots la façon dont on doit reproduire un geste. L'interface utilisée pour cela est de type Haption (conçue par le CEA). Et l'application développée pour l'étudier concerne l'apprentissage du geste technique par les étudiants chirurgiens, grâce à une simulation de manipulation médicale en vue de ponctionner des tumeurs sur un corps imaginaire. Les enseignants en médecine peuvent ainsi faire apprendre le geste technique aux étudiants en utilisant une interface maître qui transmettra les informations aux interfaces esclaves : elles permettront de faire ressentir les bons gestes à réaliser grâce au retour de force. Ce type d'application pourrait très bien être mis en service dans les écoles de médecine pour enseigner des gestes précis aux étudiants, sans qu'ils aient besoin de toucher un corps réel lors de leurs premières tentatives...

DES ROBOTS ANGUILLES POUR NAVIGUER EN MILIEU OPAQUE

Deux autres projets coexistent au sein de l'IRCCyN, à l'École des mines et à l'École Centrale et visent à créer un robot de type anguilliforme, capable de se mouvoir dans des zones sans lumière ou chargées de particules rendant les autres sens (sonar, vue, etc.) inopérants. C'est par bio-inspiration que ces robots vont assimiler leur environnement. En effet, certains poissons génèrent un faible champ électrique autour d'eux et mesurent ses déformations en fonction de l'environnement, ce qui leur permet de trouver de la nourriture, de se repérer dans l'obscurité ou la turbidité des eaux et de trouver un partenaire, voire de communiquer. À l'IRCCyN, des poissons éléphants (*Gnathonemus petersii*) et des poissons couteaux (*Apteronotus albifrons*) sont étudiés dans leurs comportements et leurs déplacements toutes lumières éteintes. Sont nés de ces études le projet RAAMO (Robot Anguille Autonome en Milieu Opaque) et le projet européen Angels (www.theangelsproject.eu), en partenariat avec SUBATECH (physique nucléaire), la DSEE (Systèmes énergétiques et environnement) et sept autres laboratoires, européens et uruguayens. Avec quasiment chaque vertèbre équipée d'un processeur PowerPC (cela plaira à certains aficionados, NDLR!) et de trois degrés de liberté, RAAMO est le premier des projets à devenir un vrai prototype. Il se présente comme un robot anguille de deux mètres de long pour dix-huit centimètres de section, doté de douze vertèbres et entièrement

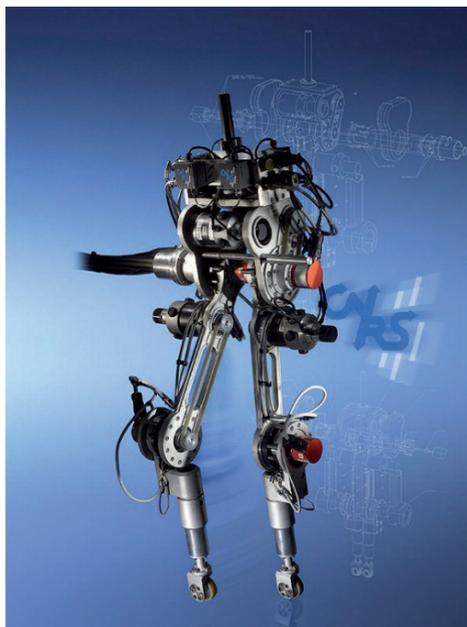
conçu en interne, même pour l'usinage des pièces. Il est recouvert d'une cotte de mailles en plastique déformable garnie d'une peau souple en latex, le tout gonflé à l'air comprimé afin de garder de la pression en profondeur. Le prototype a été régulièrement testé dans l'eau et devrait rejoindre un bassin de cent cinquante mètres de long au moment où vous lirez ces lignes (au Bassin d'essais des Carènes). Ce projet est labellisé ANR depuis 2006.

Le prototype du projet européen *Angels* est également un robot anguille (différence principale : chacune de ses vertèbres est un robot autonome et suffisant). En effet, il se démultiplie en plusieurs petits robots afin de se faufiler dans des lieux où, entier, il ne pourrait se mouvoir. Chaque section est également équipée d'hélices. Comme dans le cas des héros de *Transformers*, les petits robots se rejoignent grâce à l'énergie électromagnétique, qui sert également de repoussoir et d'attireur pour créer les mouvements du robot complet. (Chaque module est de plus équipé du sens électrique pour se repérer.) Ces robots anguilles pourraient rendre de grands services en travaillant dans des milieux hostiles et/ou opaques comme les plates-formes offshore, les bassins nucléaires, les zones de surveillance militaire...

DES ROBOTS À LA FAC

À l'IUT (université de Nantes), quelques robots industriels ont pris place dans les ateliers d'usinage. Des doctorants travaillent à améliorer leur utilisation et les modélisations de l'usinage même par la création de logiciels perfectionnés, adaptés au concept SMMS (Smart Machining Methods and Systems), développé à l'IRCCyN. Les robots employés sont des robots Kuka et Belotti de type classique (industriel), mais c'est leur exploitation qui se révèle tout à fait originale. L'équipe MO2P (Maîtrise et optimisation des procédés de production) s'y est collée. Un des logiciels développés est Stormibox, utilisé entre autres par des géants comme Dassault Aviation ou Airbus sur des contrôleurs Siemens...

On y développe actuellement un autre logiciel, afin d'optimiser le placement des trajectoires de tâches confiées au robot, en minimisant le fléchissement de ce dernier sous les charges variables qu'il subit ou lorsqu'il a complètement étendu son bras. Pour arriver à cela, on emploie des capteurs d'efforts et un laser tracker (destiné à l'origine au ciblage militaire). Sans oublier un autre concept, en cours de développement en partenariat avec le Cetim, Axiome et Gébé2, deux intégrateurs de robots, et des industriels qui seront de futurs exploitants comme Préforme, Cero, ALLIO et Europe Technologies, tous des Pays de la Loire.



Rabbit fut le premier robot capable de courir

Il s'agit du *RoMobSys* (Robot mobile système) dédié à l'usinage et au ponçage robotisé de pièces composites de très, très grande dimension par fenêtrage. Les mouvements d'origine sont enregistrés par motion capture. (On filme la personne qui exécute le travail demandé et le logiciel analyse le mouvement puis programme le robot pour qu'il refasse la même série de mouvements et les recrée ainsi à l'identique.)

Enfin, les équipes de l'IRCCyN participent activement, en collaboration avec le pôle de compétitivité EMC2, le GIP Technocampus EMC2, les écoles et l'université de Nantes aux fins de présenter une candidature commune à l'appel à projets gouvernemental concernant les instituts de recherche technologique. Ce projet, baptisé IRT Jules Verne, possède des atouts de taille et les travaux de recherche autour de la robotique, mais aussi de la réalité virtuelle et des interactions homme-machine menés par l'IRCCyN, prendront à coup sûr une place très importante dans le développement de l'usine du futur...

D'autres programmes tournant autour de la robotique occupent l'IRCCyN... Cela concerne notamment la robotique automobile, avec PSA, ou la voiture électrique *Lumeneo*, un projet dans lequel le laboratoire travaille sur l'optimisation d'une tenue de route dynamique. Les drones sont également à l'honneur avec des concepts comme *EVA* (un drone de la taille d'une libellule) ou des études sur le contrôle par vision et sur la résistance au vent.

Un grand merci à l'ensemble de l'IRCCyN qui



UNE BRÈVE HISTOIRE DE L'IRCCyN

Ce laboratoire, créé en 1965 à l'ENSM (l'École nationale supérieure de mécanique, devenue Centrale Nantes en 1991) par le professeur Romane Mezencev, a été associé au CNRS pour la première fois en 1968. Il regroupait à l'époque une vingtaine de personnes. Il y avait alors à Nantes deux unités associées au CNRS : le laboratoire de chimie de Jean Rouxel (qui deviendra plus tard l'IMN) et le laboratoire d'automatique de Romane Mezencev (qui deviendra plus tard l'IRCCyN). Les années passèrent et ledit laboratoire d'automatique s'étoffait en termes de thématique scientifique, notamment grâce à l'arrivée de nouveaux enseignants chercheurs de l'université et de personnels du CNRS. À la fin des années 1980, il comptait environ cinquante personnes, thésards compris. En 1992, le laboratoire d'automatique devint commun à l'ENSM et à l'université (la moitié des enseignants chercheurs en provenaient), et prit le nom de LAN (Laboratoire d'automatique de Nantes). Le LAN se transforma en IRCCyN (Institut de recherche en communications et cybernétique de Nantes) en 1995. Il y avait une volonté locale de développer les télécommunications et le CNRS était prêt à soutenir cet axe au sein du projet IRCCyN. Cette structure naquit ainsi dans le cadre du contrat quadriennal 2000-2003, structuré en quatre divisions : Image, Signal et Automatique, Systèmes mécaniques et Productique, Systèmes de production, Systèmes électroniques, Télécom et Radar. Parallèlement, en 2001, l'IRCCyN accueillit une équipe des sciences de la vie, *PsyCoTec*, spécialisée dans la psychologie cognitive et qui travaille sur les problèmes d'interaction homme-machine.

nous a accueillis très chaleureusement durant la journée que nous avons passée sur les trois sites du laboratoire de recherche!...

■ Frédéric Boisdrion



L'équipe des étudiants doctorants travaillant sur la modélisation de l'usinage.