



**HAL**  
open science

## Contrôle actif de machines de production mécanique par Internet

Jean Vareille, Philippe Le Parc, Lionel Marce, Stéphane Barre, Abdeslam Mamoune, Joël Le Guen, Gilbert Floc

► **To cite this version:**

Jean Vareille, Philippe Le Parc, Lionel Marce, Stéphane Barre, Abdeslam Mamoune, et al.. Contrôle actif de machines de production mécanique par Internet. Congrès Français de Mécanique 2003 (CFM2003), AFM, Sep 2003, Nice, France. hal-01694128

**HAL Id: hal-01694128**

**<https://hal.univ-brest.fr/hal-01694128v1>**

Submitted on 26 Jan 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Contrôle actif de machines de production mécanique par Internet

Jean Vareille<sup>14</sup>, Philippe Le Parc<sup>1</sup>, Lionel Marcé<sup>1</sup>,  
Stéphane Barré<sup>2</sup>, Abdeslam Mamoune<sup>2</sup>, Joël Le Guen<sup>3</sup>, Gilbert Floc'h<sup>4</sup>

Université de Bretagne Occidentale

<sup>1</sup>Equipe Langages et Interfaces pour Machines Intelligentes (LIMI) EA2215  
20 av. Le Gorgeu BP 809 29285 Brest Cedex – France

<sup>2</sup>LUSIG, <sup>3</sup>département GEII, <sup>4</sup>département Génie Mécanique,  
IUT de Brest rue de Kergoat 29285 Brest Cedex - France  
<prénom.nom>@univ-brest.fr

### Résumé :

*Le contrôle des machines mécaniques demeure local encore actuellement. Dans le futur, avec le développement des e-technologies, il se fera à distance, à travers des réseaux, même non déterministes comme Internet. Dans la première partie, nous présentons le principal intérêt d'un tel type de contrôle, et nous décrivons un certain nombre d'applications existantes. Dans la seconde partie nous décrivons une architecture générique pour réaliser un tel contrôle qui prend en compte le caractère imprévisible de la communication. Dans la troisième partie nous présentons les réalisations brestoises, au laboratoire d'informatique EA2215, à l'IUT de Brest, ainsi que les contrôles actifs des caméras installées à l'UBO et à Océanopolis. Dans la dernière partie nous présentons les résultats de mesures collectées lors des connexions. Elles montrent la faisabilité dès à présent, à l'échelle du monde, avec l'infrastructure installée, de contrôles actifs avec un aller retour des informations suffisamment rapide stable et fiable.*

### Abstract :

*Currently, the control of mechanical systems is local. In the future, with the development of new e-technologies, this control will be remote and made over networks, even unpredictable networks such as the Internet. In the first part of this paper, we present the principal concerns of such a control and we describe some existing applications. In the second part, we propose a generic software architecture to implement such remote control taking into account the unpredictable nature of communication. In the third part we present some implementations in Brest : in the laboratory of computer science, in the IUT, and active control of cameras with variable pan/tilt/zoom situated in the UBO and in Oceanopolis. In the last part we present some results of measurements performed during connections. It appears that active remote control is feasible even today on a world scale with good reliability.*

**Mots-clefs : robotique, contrôle distant, qualité de service.**

## 1 Introduction

Le développement d'Internet est actuellement un des principaux changements dans le monde industriel. Accessible aujourd'hui à peu près partout sur Terre, Internet est devenu très rapide, peu onéreux, facile à utiliser et à déployer.

Dans le domaine des automatismes, la « technologie IP » associée à Internet devient une solution alternative aux bus industriels comme Telway, Profibus ou DeviceNet. Une large gamme d'outils ont été développés autour d'elle. Installer des micro-Web serveurs ou des serveurs WEB embarqués est devenu aisé pour mettre par exemple à disposition des pages html afin de voir les données fournies par les capteurs dans le but de surveiller des productions.

Jusqu'à présent aucune qualité de service (QoS = Quality of Service) n'était garantie sur Internet, dans le futur elle pourra être garantie mais à un coût assez élevé. Malgré tout on restera toujours à la merci de pannes d'alimentation électrique ou de défaillances d'éléments

intermédiaires du réseau. Or sans QoS il est vraiment hasardeux d'entreprendre un contrôle à distance d'un processus industriel.

Pourtant il serait extrêmement bénéfique de contrôler à distance des lignes de production ou des systèmes mécaniques (nous utiliserons dans la suite le terme « machines » pour décrire à la fois les lignes de production et les systèmes mécaniques) dans de nombreux cas :

- Le télé-enseignement, en employant les technologies offertes par Internet les étudiants pourraient « manipuler » des machines réelles à distance en travaux pratiques.
- La télémaintenance, le télé-diagnostic la préparation des interventions sur place : Bicchi *et al.*(2001).
- La télé expertise, un certain nombre d'opérations sur les systèmes mécaniques ne peuvent être accomplies que par des experts dont les déplacements sont coûteux.

Dans les années 90, plusieurs projets de contrôle de systèmes mécaniques utilisant Internet comme réseau de communication sont apparus avec des objectifs variés : le projet Mercury pour prouver la faisabilité Goldberg *et al.* (1999), le télérobot australien pour l'interaction avec l'utilisateur Taylor *et al.* (1995), Rhino Burgard *et al.*(1995), Xavier Simmons (1998), Puma-Paint Stein (1998), la robotique mobile KhepOnTheWeb Saucy *et al.* (1998), la réalité augmentée Ariti Otmane (2000), etc. Ils présentent des structures comparables. Mais aucune d'entre elles n'a été l'occasion de développer une architecture logicielle générique, la nature imprévisible du réseau (Internet) n'a pas vraiment été prise en compte avec toutes ses conséquences. Dans la partie suivante nous allons proposer une solution à ce problème et présenter ensuite différentes applications.

La machine contrôlée est connectée à un ordinateur (serveur local). Des utilisateurs distants qui emploient un navigateur Internet envoient des requêtes. Les technologies réseau sous-jacentes sont basées sur IP (Internet Protocol).

Des capteurs multimédias (extéroceptifs) autour de la machine fournissent des flux sur le réseau grâce à des logiciels appropriés.

L'utilisateur les reçoit par l'intermédiaire d'applet(s) multimédia(s) qui diffusent du son et de l'image presque en temps réel dont la qualité n'est pas élevée, à cause des contraintes du réseau, mais suffisante pour le contrôle.

La machine est contrôlée par un système client serveur spécifique, le nôtre décrit dans la troisième partie, se nomme "Saturne".

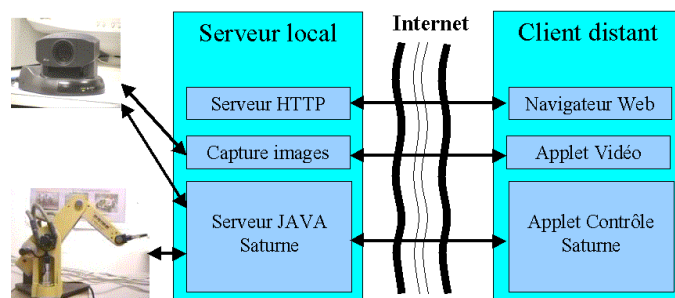


FIG. 1 – Structure classique utilisée en Télérobotique

## 2 Une architecture générique pour le contrôle à distance à travers un réseau sans QoS

Chaque utilisateur a le droit d'envoyer des informations sur le réseau Internet sans classement de priorité. Deux des protocoles basés sur IP sont principalement utilisés, UDP qui permet la diffusion d'informations sans contrôle de l'ordre d'arrivée ni accusé de réception et TCP qui garantit que les paquets sont bien arrivés, sont remis dans l'ordre, et si la connexion se rompt en informe l'utilisateur après quelques essais et dépassement du délai autorisé : Benaji *et al.* (2001). Plusieurs études statistiques et tests ont été menés, qui montrent que le temps d'émission d'un paquet est assez stable avec TCP : Oboe (1997), TCP est donc choisi pour envoyer les ordres.

La méthode du Ping/Pong permet de mesurer le délai d'aller-retour, un côté du système envoie un paquet (ping) et l'autre doit lui répondre immédiatement (pong). Simple à implémenter, elle ne perturbe pas ou peu le système client/réseau/serveur et donne des informations sur la qualité de communication exploitables pour un contrôle sûr. Mesurer la bande passante n'est plus indispensable aujourd'hui car la moindre connexion par modem offre un débit suffisant pour la visio-conférence.

Les systèmes mécaniques peuvent avoir différents états de fonctionnement, un outil de spécification nommé Gemma (acronyme de "Guide d'Etude des Modes de Marche et d'Arrêt" guide graphique élaboré par l'Adépa) a été défini pour les représenter. Il est composé de trois familles principales d'états : les états d'arrêt, de fonctionnement, et de défaillance. Chaque zone se subdivise en sous parties, qui correspondent à des sous cas. Le Gemma peut être compris comme un Statechart particulier Harel (1987).

Pascal Ogor (2001) a proposé une version modifiée du Gemma, le Gemma-Q, pour ajouter l'aspect d'une communication incertaine par un réseau. Chaque case y est subdivisée en sous cases connectées par des transitions spécifiques, dont les franchissements dépendent de la mesure de la qualité du réseau (figure 2).

Six niveaux différents de qualité ont été discernés :

**Q1** correspond à une très bonne qualité,

- **Q2** correspond à une assez bonne qualité,
- **Q3** dans cet état la qualité est considérée comme insuffisante pour pouvoir prendre en charge le système. Une recherche est lancée parmi les personnes connectées pour proposer d'être contrôleur à celle qui a la meilleure qualité de communication.

- **Q4** correspond à une qualité tout à fait mauvaise, mais l'utilisateur peut tout de même lancer des commandes. Il est supposé alors n'envoyer que des commandes d'arrêt.

- **Q5** dans ce cas, la connexion entre l'utilisateur et le système est considérée comme rompue. Les actions menées visent à placer le système et sa matière d'œuvre dans une situation de préservation et d'en avertir l'utilisateur.
- **Qz** ce niveau a été défini pour tenir compte de la possibilité offerte au système d'avoir un comportement totalement autonome sans utilisateur qui le contrôle. Cela peut être utile dans le cas de tâches très répétitives, mais peut être considéré comme dangereux.

Les limites entre les niveaux de qualité ne sont pas les mêmes d'une application à l'autre, selon les contraintes, toutes ces qualités n'ont pas à être instanciées obligatoirement.

Un Gemma-Q doit être défini pour chaque appareil à contrôler. Il peut être implémenté soit sur l'appareil lui-même s'il a les ressources nécessaires pour le gérer, soit sur un ordinateur qui lui est connecté par une liaison sûre (comme une liaison série).

L'architecture logicielle de Saturne, représentée sur la figure 3, est basée sur un ensemble de modules indépendants exécutés en parallèle. Au centre, le serveur est composé de 3 processus principaux : le "Groom" qui a en charge de la connexion initiale, le "Device Manager" qui dirige les différents appareils contrôlés et le "Connection Manager" qui gère les différents clients connectés, sous le contrôle du module "ControlAlgorithm". "ToolInterface" désigne les modules spécialisés qui pilotent des machines spécifiques. Leur nombre dépend du nombre de machines que l'application contrôle.

La partie droite de la figure 4 représente le côté client. Les processus sont chargés par le navigateur WEB utilisant la technologie des applets Java. "RemoteClientManager" agit comme

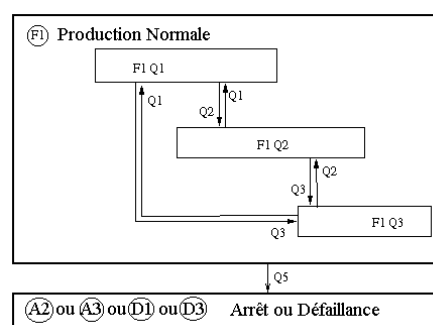


FIG. 2 – le rectangle F1 dans le formalisme Gemma-Q et le cas Q5

un routeur entre les processus "NISender", "NIReceiver" et "ToolGui" ce dernier correspond à l'interface graphique utilisateur associé à un "ToolInterface" destiné à contrôler une machine.

Cette architecture a été conçue pour être un noyau de services qui prend en charge la connexion, la gestion des utilisateurs et des machines, et l'observation du comportement opérationnel du réseau. Des modules indépendants ont été disposés autour pour gérer des outils spécifiques et peuvent être ajoutés en utilisant les mécanismes "plug and play".

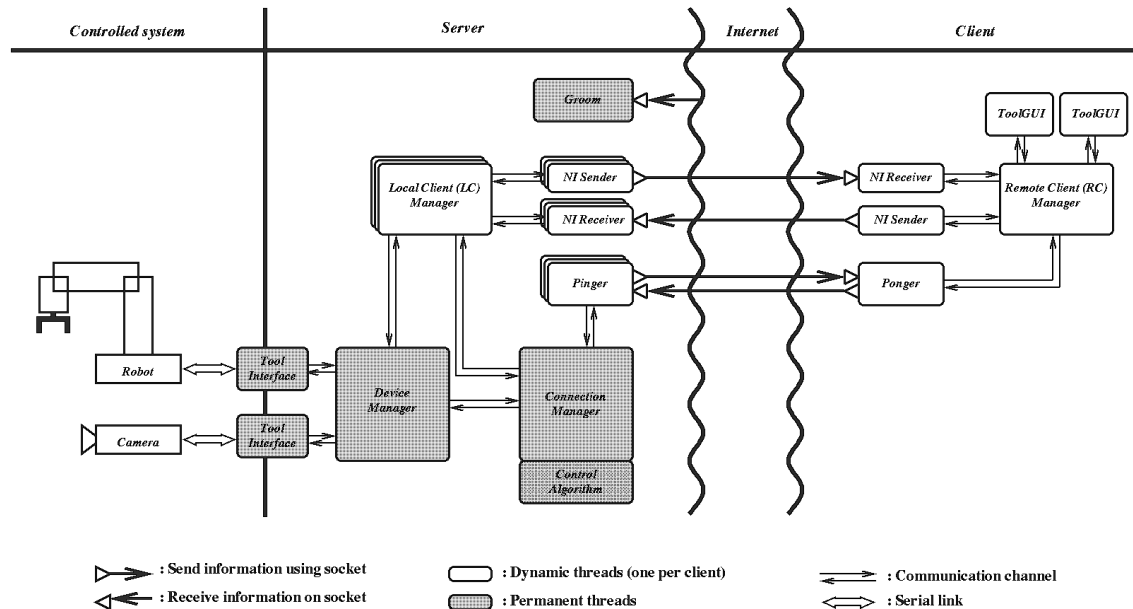


FIG. 3 – architecture logicielle générique

### 3 Applications de l'architecture logicielle proposée

#### - Les bras manipulateurs Ericc et la fraiseuse 3 axes

La toute première application de l'architecture a été effectuée pour le contrôle d'un bras manipulateur à 5 degrés de liberté voir figure 4 : Le Parc *et al.*(1999). Ce robot peut saisir des petits objets avec sa pince et les déplacer. Une première caméra (Sony EVI-D31) est disposée en face du robot. Elle est motorisée, à orientation et focale variable. Elle permet à l'opérateur distant d'ajuster l'image de travail.

Le logiciel Webmedia (de l'Université d'Ulm en Allemagne) est employé pour la diffusion des images animées sur le réseau. Une seconde caméra à mise au point et focale fixes (Axis 2110) est placée au-dessus du robot pour donner un autre point de vue sur la scène, elle possède un serveur WEB embarqué qui diffuse le flux vidéo et le son.

Ce robot est utilisé pour l'enseignement auprès des étudiants de notre université, et aussi par des collègues d'autres universités en France et à l'étranger. Il sera accessible 24h/24 dans quelques mois. Un double de ce robot a été installé au département Génie Mécanique et Productique de l'IUT de Brest. Le même développement a été appliqué une petite fraiseuse 3 axes Isel pour le prototypage rapide, et nous avons en projet de l'utiliser de la même façon pour l'enseignement à distance.



FIG. 4 – Le robot Ericc

### - Les caméras motorisées de l'UBO de la manchotière et de l'aquarium des requins

Une base expérimentale LIMI 2001 a été mise en place pour le contrôle dynamique de l'orientation de caméras Sony EVI-D31 en horizon, azimut, et focale. Deux autres versions ont été installées dans le musée océanographique brestois "Océanopolis", l'une pour voir les manchots, l'autre des requins : LIMI (2001). Le flux vidéo est réglé à 4/5 images par seconde.

Elles sont aussi utilisées pour étudier les connexions réseau, à chaque fois qu'un client se connecte ; un mécanisme de Ping/Pong est lancé sur le serveur, qui en collecte les mesures.

### - L'unité d'assemblage

Une unité d'assemblage didactique Festo réunissant des unités de convoyage, de tri et un manipulateur, installée au département Génie Electrique de l'IUT de Brest a été restructurée et câblée avec un automate Schneider doté d'un coupleur IP qui supporte un serveur WEB embarqué avec lequel dialoguent des consoles distantes : Barré *et al.* (2002).

## 4 Mesures effectuées sur les connexions

Nous collectons les données de mesure de pings et pongs systématiquement pour chaque accès aux serveurs de caméra. L'amélioration du réseau Internet en terme de stabilité et de rapidité du délai d'aller-retour entre deux machines est sensible au fil des mois. Cependant le risque des délais accidentellement grands ou des déconnexions intempestives subsiste, il impose bel et bien de gérer ces cas lors de l'étude des modes de marche et d'arrêt.

Selon le type de connexion à Internet, via un modem, l'ADSL, le câble, ou via un réseau informatique local, les temps d'aller retour vont de 800 ms à 100 ms en moyenne : Debatisse (2002). La figure 5 montre les valeurs moyennes selon les pays.

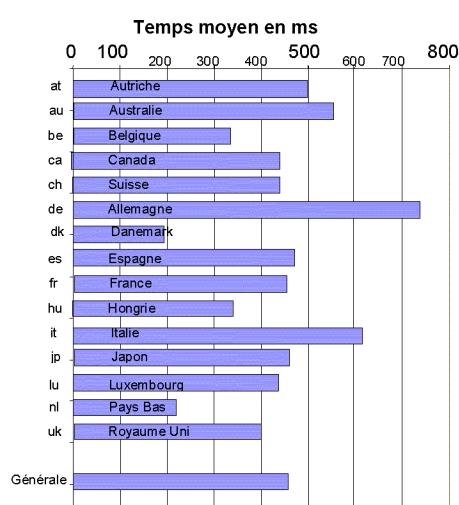


FIG. 5 – aller retour des pings/pongs

Le Japon, l'Australie et le Canada présentent de meilleures caractéristiques que des pays proches comme l'Allemagne ou l'Italie. La charge du réseau proche de nos serveurs influe probablement largement, celle-ci est faible lors des connexions à longue distance du fait du décalage horaire, de plus les « clients » éloignés qui ont pu se connecter l'ont fait par l'intermédiaire de réseaux locaux rapides et de liens haut débit à des heures creuses chez eux.

La largeur de dispersion (en rapport avec la gigue) a été aussi calculée, il apparaît que 22,28% des temps d'aller-retour sortent de la bande  $\pm 50\%$  de la moyenne, et que 3,33% sortent de la bande  $\pm 100\%$ .

Comparons ces résultats avec le temps de réaction d'un opérateur qui surveille une production dans un atelier à 3 mètres de distance du pupitre de la machine. Le temps de propagation du son jusqu'à l'opérateur est de 10 ms, le temps de réflexe est le même que l'opérateur soit éloigné ou près de la machine, le temps de déplacement de l'opérateur jusqu'à la machine à la vitesse de la marche rapide serait d'au moins une seconde ce qui est supérieur au temps de réaction d'un opérateur situé n'importe où sur la terre mais qui disposerait à portée de vue et des mains d'une console si la communication est correcte.

La diminution des délais devrait tendre asymptotiquement vers la valeur limite de propagation des informations à travers le réseau physique. Les boucles d'asservissement les régulations ou les traitements en temps réels n'engloberont sans doute pas de passage par les réseaux numériques à longue distance sauf pour le contrôle des systèmes dont les constantes de temps seront compatibles. Par contre à l'échelle d'une machine, d'un véhicule, d'un atelier ou d'une usine cette technique est prometteuse.

## 5 Conclusion

Nos travaux montrent que le télé-contrôle de systèmes mécaniques de production à travers un réseau de communication imprévisible comme Internet est faisable. Il sera développé pour le télé-enseignement dans un futur proche, pour la télémaintenance, la télé-expertise et la télé-production. Un tel système doit disposer d'un noyau de services de communication, pour gérer les utilisateurs, les machines, pour mesurer les performances opérationnelles du réseau continuellement, et pour adapter son fonctionnement à celles ci.

## Références

- S. Barré, A. Mamoune et J. Le Guen "Les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) dans les systèmes d'automatismes" *Actes du Colloque National de la Recherche dans les IUT, Le Creusot, 255-261*, mai 2002
- A. Benaji, V. Idasiak, and J.G. Fontaine. "Remote robot teleoperation via internet. A first approach ". *IEEE International workshop on Robot and Human Interactive Communication*, pages 306-312, 2001.
- A. Bicchi, A. Coppelli, F. Quarto, L. Rizzo, F. Turchi, and A. Balestino. "Breaking the lab's walls telelaboratories at the university of pisa. In *Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 1903 - 1908, Seoul, Korea, May 2001.
- W. Burgard, A.B. Cremers, D. Fox, D. Hähnel, G. Lakemeyer, D. Schulz, W. Steiner, and S. Thrun. "The mobile robot Rhino". *AI Magazine*, 1995.
- S. Debatisse "Capteurs réseau dans le cadre de la téléproductique" *Rapport de TER, maîtrise d'informatique, Université de Bretagne Occidentale Brest* juin 2002
- K. Goldberg, S. Gentner, C. Sutter, and J. Wiegley. "The Mercury project: a feasibility study for Internet robotics". *IEEE Robotics & Automation Magazine*, pages 35—40 1999
- D. Harel. STATECHARTS : A visual formalism for complex systems. *Science of Computer programming*, volume 8, 3, June 87.
- Laboratoire LIM-EA2215, Oceanopolis, and IRVI-Progeneris. "The penguin project". <http://www.oceanopolis.com/visite/visite.htm>. 2001
- P. Le Parc, P. Ogor, J. Vareille, and L. Marcé. "Robot control from the LIM lab". <http://similimi.univ-brest.fr> 1999.
- R. Oboe and P. Fiorini. "Issues on internet-based teleoperation". in *Syroco 97*, pages 611--617, Nantes, France, 1997.
- P. Ogor. "Une architecture générique pour la supervision sûre à distance de machines de production avec Internet". *PhD thesis, Université de Bretagne Occidentale*, 2001
- S. Otmane, M. Mallem, A. Kheddar, and F. Chavand. "Anti : an augmented reality interface for teleoperation on the internet". *Advanced Simulation Technologies Conference 2000 "High Performance Computing" HPC 2000*, pages 254-261, Wyndham City Center Hotel, Washington, D.C., USA, April 2000.
- P. Saucy and F. Mondada. "Khep on the web: One year of access to a mobile robot on the internet." In *IEEE International Conference On Intelligent Robots and Systems (IROS): Workshop on Web Robots*, 1998.
- R. Simmons. "Xavier : An autonomous mobile robot on the WEB". *International Workshop On Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Victoria, Canada, 1998.
- M. R. Stein. "Painting on the world wide web : the pumapaint project". *Proceeding of the IEEE IROS'98 Workshop on Robots on the Web*, Victoria, Canada, October 1998.
- K. Taylor and James Trevelyan. "A telerobot on the world wide web." *1995 National Conference of the Australian Robot Association*, 5-7 juillet 1995.