

Gérer l'information dans l'intervention chirurgicale à distance. Méthodologie de mise au point d'un système de commande en chirurgie cardiaque

René PATESSON, Éric BRANGIER
Professeurs

Université Libre de Bruxelles
rpatess@ulb.ac.be; Brangier@online.fr

Comme et en parallèle des NTIC, la chirurgie évolue avec elles. Les NTIC se caractérisent entre autres par l'action et les interactions à distance. De plus en plus souvent le chirurgien intervient lui aussi à distance. Et pas nécessairement rien qu'en téléchirurgie. Présent à la table d'opération, il ne voit ni ne touche plus directement avec ses mains l'organe à réparer mais agit avec des systèmes intermédiaires souvent miniaturisés, tels des cathéters et des instruments robotisés, réduisant aussi les durées d'intervention et de récupération pour le patient. Une des questions qui se pose est celle de l'information utile et indispensable qu'utilise le chirurgien ou qu'il devrait utiliser ? Quelles sont ses sources, comment traite-t-il l'information, lesquelles sont indispensables, lesquelles doivent être médiatisées ou transformées et comment ? Cette communication porte sur la méthodologie conduisant à **la conception** d'un système de commande et d'information d'un device chirurgical en grande partie automatisé. Nous formulons également des recommandations sur l'organisation des activités lors de l'intervention.

I. INTRODUCTION

Les opérations sont de plus en plus souvent minimalement invasives, par l'endoscopie elles se pratiquent plus souvent par des orifices naturels ou de petites incisions. On considère pour différentes raisons que c'est un progrès même si cela entraîne de nouveaux risques. De ce fait, comme l'organe opéré reste caché à la vue directe que l'on avait en cas d'ouverture du corps, de nouvelles problématiques du traitement de l'information surgissent.

Lorsque l'organe était visible, toutes les personnes, chirurgiens et assistants, présentes autour du champ opératoire voyaient ce qui se pratiquait et en temps réel. La coordination des activités était en partie déterminée par cette vision collective sur le champ opératoire. Les feed-back étaient multiples et immédiats.

Dans l'intervention à distance, les informations sont médiatisées. L'importance relative de leur nature change. Ainsi lorsque le chirurgien utilise des cathéters pour agir sur un organe caché, c'est la part sensorimotrice de l'information et de l'action, la sensibilité au toucher et les feedbacks moteurs qui dominent. Il est aussi souvent le seul dans la boucle. Dans un certain nombre de cas, aucun endoscope n'est couplé au cathéter et donc aucune information visuelle directe n'est accessible. Seules les informations indirectes, souvent fragmentaires ou devant être virtuellement reconstruites, telles celles obtenues avec des rayons X ou par échographie, sont utilisables. Donc la collaboration chirurgien-technologie évolue, certaines actions sont automatisées, mais doivent aussi pouvoir être reprises en manuel en cas de problèmes.

Sur le plan ergonomique cela ouvre des perspectives notamment sur l'organisation des activités, la distribution et la répartition des tâches et sous-tâches entre les différents acteurs, technologiques et humains, le couplage et la coordination entre elles, la conception, l'utilisabilité et la fiabilité des systèmes d'information et de commande.

Une des questions qui se pose est celle de l'information utile et indispensable qu'utilise le chirurgien ou qu'il devrait utiliser ? Quelles sont ses sources, comment traite-t-il l'information, lesquelles sont indispensables, lesquelles doivent être médiatisées ou transformées et comment ?

L'ergonomie fonde sa démarche d'analyse en recourant à deux concepts centraux, deux faces d'une même pièce, qui articulent le travail. La **tâche** qui recouvre ce qui est à faire, ce qui est prescrit, ce qui peut se décrire par des procédures à mettre en œuvre pour atteindre des résultats. L'**activité** qui correspond à ce qui se fait réellement, en temps réel, pour atteindre les résultats d'une manière performante et efficace, ce qui est observable dans le courant de l'action de travail. L'ergonomie s'intéresse alors aux écarts entre la tâche et l'activité, cherche à les comprendre et va s'en servir pour formuler des recommandations en termes d'adaptation du travail à l'homme, de sa réorganisation, de la conception d'outils, d'instruments, de systèmes de commande, d'interfaces adéquats pour optimiser le travail. Elle se base aussi sur des connaissances de l'homme, sa physiologie, sa composante motrice, son fonctionnement cognitif en particulier dans le traitement de l'information. Elle vise à augmenter la fiabilité et la sécurité, mais aussi la performance et le confort d'utilisation qui constituent ensemble autant d'éléments

indissociables en cours de travail. On doit principalement à Leplat (1993, 1997), Leplat et Hoc (1993) et Rasmussen & all. (1994) les travaux sur ces fondements de l'ergonomie de l'activité.

La recherche dont il est question dans cette communication porte sur la conception d'un nouveau système de remplacement de la valve aortique sténosée, calcifiée, sans ouvrir le cœur et sans circulation sanguine externe, donc à cœur battant, par cathéter empruntant la voie apicale. En particulier les systèmes existants d'intervention à distance consistent à placer une endovalve (comparable à un stent) en écrasant la valve calcifiée. Alors que dans l'intervention classique, le cœur est mis à nu, l'aorte sectionnée, la valve découpée et la nouvelle valve cousue. La contrainte principale du remplacement de la valve à distance est liée à la nécessité d'arrêter le cœur par fibrillation durant un temps maximum d'une minute pendant le positionnement et le déploiement de l'endovalve. En effet ces tâches doivent être effectuées sans circulation sanguine pour éviter le décrochage de l'endovalve et des embolies lors de l'écrasement de la valve calcifiée.

L'objet de la recherche consiste à effectuer pendant la même opération la résection à distance de la valve malade par cathéter et son évacuation tout en plaçant la nouvelle valve. Et tout ceci pendant la minute critique.

La recherche est entreprise par un consortium comportant 3 partenaires universitaires et deux industriels et financée en grande partie par le programme Biowin de la Région Wallonne (Belgique).

Notre contribution à la recherche porte principalement sur **la conception** du système de commande à distance du device en grande partie automatisé. Nous formulons également des recommandations sur l'organisation des activités pendant la minute critique.

Cette communication porte donc aussi sur de la conception et sur l'ergonomie d'un produit - dans la mesure où le device qui sera développé sera « jetable », à usage unique, et susceptible d'être utilisé par tous les chirurgiens concernés dans le monde. De ce fait ses caractéristiques en termes d'utilisabilité et son fonctionnement doivent correspondre à des standards, en particulier en ce qui concerne l'activité chirurgicale et le traitement de l'information en cours d'opération.

II. L'ACTIVITÉ

L'activité est complexe, collective, instrumentée, et comporte de nombreux risques, essentiellement pour le patient. Le chirurgien y apparaît comme l'acteur d'une double gestion. Comme acteur principal de l'intervention chirurgicale, il a le contrôle de l'opération, coordonne les gestes techniques, il gère les risques, prend les décisions des différents actes opératoires à exécuter. Mais aussi il est superviseur et coordinateur de l'équipe : il gère un environnement complexe, à la fois humain avec ses particularités, un environnement technologique avec ses limites et ses failles. Cet environnement est variable, unique et renouvelé à chaque fois. Ainsi les personnes de l'équipe changent d'une opération à l'autre – assistants, nurses, cardiologue, anesthésiste, techniciens,..... (= apprentissages croisés). Ce ne sont pas des équipes fixes. Le chirurgien doit gérer une équipe ayant des caractéristiques différentes d'une intervention à l'autre, un savoir faire variable et parfois incertain. Il doit en prendre conscience en cours d'action contrôler et corriger selon le cas, ce qui mobilise une part importante de son attention.

II.1. Plusieurs situations dynamiques simultanées

L'activité du chirurgien est alors de contrôler et coordonner l'évolution simultanée de plusieurs dynamiques : celle du malade d'abord, la sienne ensuite, celle de l'équipe et enfin celle des technologies qui impactent nécessairement les unes sur les autres.

La situation dynamique étudiée est complexe en raison des éléments suivants :

- Les membres de l'équipe et leurs caractéristiques (psychosociale, aspects cognitifs, rôles, expériences et compétences,...)
- Les systèmes technologiques et le matériel (limites, imperfections, failles, dysfonctionnements...)
- Les systèmes d'information : sources multiples, informations variables dans l'instant, fragmentaires pour se construire une représentation cohérente (unique ?) et opératoire.
- Le patient
- La non immédiateté des feedbacks sur les actions (délais dans la vérification de l'effet des actions alors que les systèmes continuent à évoluer)

De cette diversité et variabilité des dynamiques découlent des incertitudes. Nos analyses montrent que ces incertitudes ont pour origine :

- L'incertitude liée à la dynamique de l'état du malade.
- L'incertitude sur les actions pouvant ou devant être mises en œuvre : *si je fais ça à ce moment ci quel risque je prend ?*
- L'incertitude sur la manière dont les actions vont être réalisées par l'équipe (peur de la délégation de confiance, et le chirurgien est obligé de déléguer des tâches et de coordonner ces mêmes tâches). Dont le temps réel que chacune prendra dans la phase critique des 60 secondes d'arrêt du cœur.
- L'incertitude des conséquences de chaque action et de leur efficacité, exactitude et fiabilité (par exemple la recherche d'informations fiables et de visualisations pertinentes sur le positionnement de la valve). Ici, l'incertitude est liée à la faiblesse ou à l'absence de prédictibilité sur l'anticipation de certaines données ou actions. Le fait qu'une conséquence soit incertaine ne signifie pas pour autant que l'environnement dans lequel le chirurgien se trouve est incertain.

L'articulation et la compréhension de l'évolution de ces différents processus dynamiques sont primordiales (Sevdalis et al., 2009), car les circonstances de vie et de santé l'exigent, pour pouvoir assurer une planification des actions compatibles avec le succès de la pose de la valve et donc l'état futur souhaité du patient.

Ainsi au moment de la pose, du fait de la simultanéité des différentes dynamiques, où sont en interaction plusieurs processus, le chirurgien peut alors être amené à devoir gérer une situation où il existe une imbrication forte des causes et des effets, des objectifs flous, des consignes mal définies et/ou enjeux conflictuels, prenant parfois place dans une situation à risques. Le temps pris par le chirurgien pour énoncer ce qu'il faut faire (ce qu'il fait à chaque fois), comment le faire, pour rappeler les consignes, pour décrire à chacun son mode opératoire et surtout pour orchestrer le temps (donner le top départ, par exemple) nous semble tout à fait illustratif de cette nécessité de réduire les incertitudes dans la gestion des dynamiques.

II.2. L'information

L'activité est en grande partie cognitive et comporte de nombreux traitements d'informations. C'est sur cet aspect que nous nous sommes concentrés. Comme l'intervention s'effectue sur le cœur à distance, les informations disponibles pour voir ce qui se fait pendant l'intervention sont restreintes, parcellaires, incomplètes et certaines statiques. Pourtant les sources sont nombreuses : écrans multiples : données physiologiques, images RX, échographie, signaux sonores, le patient lui-même, etc. Le chirurgien doit les intégrer afin de se

construire une représentation globale à la fois de ce qui se passe et de ce qu'il est occupé à faire. La seule vue qu'il a de ce qu'il fait est rapportée par les rayons X sur un écran, en noir et blanc et deux dimensions donc, mais sous formes de « flashes » c'est-à-dire quelques secondes (2 à 5) de prise de vue, qui passent ensuite en boucle.

Le système d'information est donc complexe et chaque source à sa dynamique propre.

Ainsi les sources ou émetteurs sont principalement : le patient , les membres de l'équipe, les actions en cours (dont les gestes), les outils et instruments, les sources technologiques (Rayons X, échographie, contrôle automatisé des paramètres physiologiques comme la tension, le rythme cardiaque). Ces informations ne sont pas homogènes entre elles, présentent chacune et selon le cas certaines caractéristiques dans leur temporalité telles l'instantanéité, l'intermittence, la permanence, la volatilité et la fugacité. Leur nature diffère également : numérique, visuelle, analogique, physique, proprioceptive, sonore. Le chirurgien doit tout décoder et intégrer en une représentation cohérente de l'état de la situation lui permettant la poursuite de ses actes et la prise de décisions. Une des questions ergonomiques qui se pose dans le changement des procédures chirurgicales est alors celle de la gestion et de l'organisation de ces informations : quelles sont les informations indispensables, nécessaires, accessoires et comment les intégrer et les présenter ? Et aussi : qui partage et comment partager ces différentes informations ? C'est donc une forme d'écosystème complexe du système d'information en cours d'action.

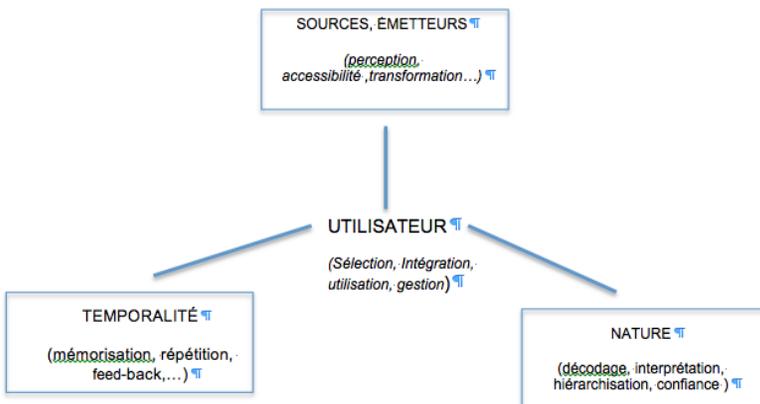


Fig.1. Le système d'information

Le schéma précédent illustre cette complexité : l'utilisateur (ici le chirurgien) sélectionne, intègre, utilise, gère des informations provenant de sources diverses qu'il doit percevoir, donc qui doivent être accessibles et sur lesquelles il peut éventuellement agir pour les adapter, les transformer ou les questionner. Les natures diverses des informations à traiter dans le cours de l'action impliquent des décodages fiables, une interprétation, l'attribution d'un degré de confiance, leur hiérarchisation (comme faire passer le proprioceptif avant le numérique). Enfin leur temporalité entraîne des comportements cognitifs divers, comme la nécessité de mémoriser ce qui est volatil, vérifier et donc répéter la prise d'information notamment en variant les sources et en recourant à des informations de nature différentes, gérer des feedbacks.

La nécessité d'analyser et comprendre ce système est indispensable pour la conception du nouveau device. C'est l'analyse de l'activité (en temps réel) qui offre le moyen d'atteindre cet objectif.

II.3. Méthodes d'analyse de l'activité

L'analyse de l'activité consiste à mettre en œuvre un ensemble de moyens d'observation, d'analyses, de formalisation et modélisation de ce qui se passe dans le travail réel. Les techniques d'observation que nous avons utilisées sont classiques pour les ergonomes. Elles consistent à multiplier les formes de collecte des données :

- L'observation directe en salle d'opération (lors de 4 opérations TAVI par voie apicale) en utilisant différentes caméras, des appareils photos et des enregistrements audio
- L'études des traces dont des enregistrements d'opérations antérieures et leurs vidéos RX.
- Les verbalisations du chirurgien (hors salle d'opération et en cours d'opération)
- Des focus groups et entretiens avec divers professionnels (comme chirurgiens, cardiologues, anesthésistes,...)

Les données recueillies sont ensuite analysées au moyen de différentes méthodes :

- Analyses de contenu des entretiens, verbalisations, focus groups.
- Analyses séquentielles des activités observées (à partir des vidéos) avec Actogram-Kronos (Kerguelen, 2008)

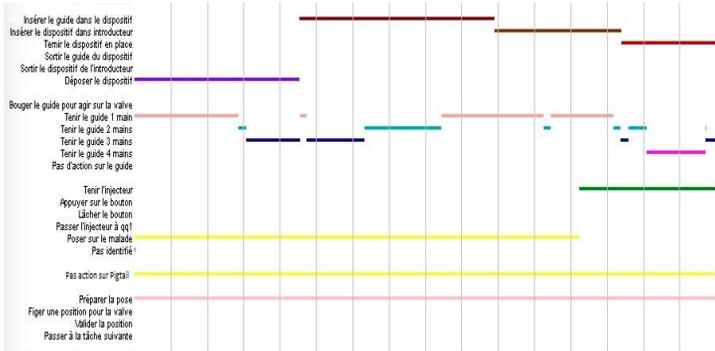


Fig.2. Illustration d'une décomposition de l'activité avec Actogram-Kronos

- Découpage, hiérarchisation et modélisation des tâches avec MAD - Méthode Analytique de Description de tâches (Scapin et al, 1989, 2001)

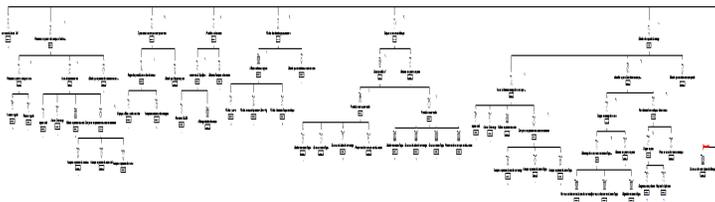


Fig.3. Illustration d'une modélisation de l'activité avec MAD

III. L'INFORMATION POUR LA CONCEPTION DU SYSTÈME DE COMMANDE.

Cet ensemble d'acteurs concourant à une même finalité, les sources d'information multiples avec leurs limites, les dynamiques en parallèles, l'environnement technologique contribue à la lecture de la situation de travail globale de travail comme celle d'un ensemble d'entités en interaction tendant à en faire une forme métaphorique d'écosystème où la partie numérique devient centrale. C'est le numérique et la numérisation sous toutes ses formes qui constitue le ciment de la performance de l'intervention chirurgicale à distance. L'interdépendance, tant du vivant (le patient) que de l'information, pour la réussite de l'opération passe donc par le numérique.

L'analyse de l'activité et la décomposition des différentes actions, prises d'information, contrôle, feed-back, décisions pendant la minute critique sera déterminante pour parvenir à intégrer la tâche supplémentaire de résection de la valve calcifiée. On montrera également la nécessité de l'automatisation de certaines parties de la tâche, compte tenu de sa complexité, de la densité des actions et

prises d'informations à réaliser dans ce temps très court. Le but étant in fine d'améliorer la qualité et l'ergonomie du geste chirurgical.

Notre travail sur le système de commande du device d'intervention à distance s'articule sur les différentes informations récoltées dans l'analyse de l'activité. Le travail se fait au départ de maquettes de commande allant de celles proches, placées sur le cathéter et comportant des analogies avec la situation de travail existante, à celle fortement digitalisée, distante, éloignant le chirurgien du champ opératoire.



Fig.3. Commande sur le cathéter



Fig.4. Commande à distance

La mise à l'épreuve des maquettes dans des focus groups réunissant des chirurgiens va montrer progressivement l'intérêt du contrôle à distance. Cet éloignement contribuera alors et entre autres à la sécurité du chirurgien qui s'expose moins aux rayons X, tel que le mettent en évidence les participants à ces groupes.

La commande devra incorporer certaines actions qui s'effectuaient manuellement sur le guide du cathéter (nature proprioceptive des feedbacks) et dont l'analyse de l'activité a révélé l'importance, mais c'est l'automatisme qui devra prendre le relais compte tenu de la contrainte du temps d'action.

Compte tenu des différentes contraintes et de la nécessité de néanmoins avoir à la fois la conscience de la situation, savoir et comprendre ce qui se passe dans ce temps très court, pour pouvoir réguler les différentes actions et permettre aux autres acteurs de suivre les séquences de l'intervention (ce qui souvent pose problème dans l'intervention à distance), on développe sur le système de commande un système d'information montrant d'une manière virtuelle et imagée ce qui est en train de se passer dans le cœur réel.

Le système de commande et le système d'information deviennent donc intimement interdépendants.

IV. BIBLIOGRAPHIE

- Kerguelen, A. (2008). Actogram Kronos : Un outil d'aide à l'analyse de l'activité. In Norimatsu, H, & Pigem, N. *Les techniques d'observation en sciences humaines*. Paris: Armand Colin, 142-158.
- Leplat J. (1993). *L'analyse du travail en psychologie ergonomique*. Tomes 1 et 2. Toulouse : Éd. Octares.
- Leplat, J, & Hoc J.M. (1993). Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations de travail. In Leplat : *L'analyse du travail en psychologie ergonomique*. Recueil de textes. Toulouse : Éd. Octares.
- Leplat, J. (1997). *Regards sur l'activité en situation de travail*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Rasmussen, J., Pejtersen, A.M., Goodstein, L.P. (1994). *Cognitive systems engineering*. New York: J. Wiley.
- Scapin, D. L. et Bastien, J. M. C., (2001). Analyse des tâches et aide ergonomique à la conception : l'approche MAD* in *Systèmes d'information et Interactions homme-machine*, C. Kolski (Ed.), Hermes
- Scapin D. L. et Pierret-Golbreich C. (1989). MAD : une méthode analytique de description des tâches. In *Actes du colloque sur l'ingénierie des Interfaces Homme-Machine*, Sophia-Antipolis, France.
- Sebillotte S. (1994) . *Méthodologie pratique d'analyse de la tâche en vue de l'extraction de caractéristiques pertinentes pour la conception d'interfaces*. RT-0163, 1994, pp.65.<inria-00070006>

Sevdalis, N., Undre, S., Henry, J., Sydney, E., Koutantji, M., Darzi, A., & Vincent, C. a. (2009). Development, initial reliability and validity testing of an observational tool for assessing technical skills of operating room nurses. *International journal of nursing studies*, 46(9), 1187–93. doi:10.1016/j.ijnurstu.2009.03.002