
**ANESTHESISTES ET PATIENTS DEVANT LE RISQUE D'ERREUR HUMAINE :
DEVELOPPEMENT D'UNE METHODOLOGIE D'EVALUATION DES SYSTEMES
INFORMATISES DE CONTROLE ET DE SURVEILLANCE**

Prof. V. De Keyser (coördinateur)
Prof. M. Lamy
Prof. A. d'Hollander

Service de Psychologie du Travail et des Entreprises - ULG
Département d'Anesthesiologie et Réanimation - ULG
Département d'Anesthesiologie et Réanimation - ULB

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE 1. INTRODUCTION	6.
1. 1. CADRE GÉNÉRAL DE LA RECHERCHE	6.
L'erreur humaine et l'évolution technologique	
1. 2. RAPPEL DES OBJECTIFS DE RECHERCHE ET PLAN DE TRAVAIL	7.
CHAPITRE 2. CADRE CONCEPTUEL	9.
2.1. PROPRIÉTÉS DES TECHNOLOGIES MODERNES : Autonomie,	9.
Autorité et Opacité des systèmes techniques modernes	
2.2. L'ANESTHÉSIE : VERS UN SYSTÈME HOMME-MACHINE	10.
MODERNE	
2.2.1. Évolution de l'anesthésie	10.
2.2.1. L'Anesthésie du futur, assistée par ordinateur	12.
2.3. CADRE MÉTHODOLOGIQUE D'ÉVALUATION DES	13.
TECHNOLOGIES	
2.3.1. Les différentes approches d'évaluation des systèmes techniques	13.
2.3.2. La simulation comme nouvel outil d'évaluation	16.
2.3.3. Notre philosophie pour une méthodologie d'évaluation	16.
CHAPITRE 3. RECHERCHES RÉALISÉES ET RÉSULTATS	18.
3.1. INTRODUCTION	18.
3.2. MÉTHODOLOGIE CONSTRUITE LORS DE L'ÉTUDE PRÉALABLE	19.
ET APPLICATION	
3.2.1. Analyse de la situation d'interaction homme-machine	19.
3.2.2. Décomposition fonctionnelle des outils	20.

3.2.3.	Critères d'évaluation et application	21.
3.2.4.	Apports et limites de la méthodologie première	24.
3.3.	RECUEIL DES SITUATIONS PROBLÈMES SUR LE TERRAIN ET ANALYSE	25.
3.3.1.	Objectif et méthodologie	25.
3.3.2.	Résultats	27.
3.3.2.1.	Caractéristiques des situations problèmes	27.
3.3.2.2.	Facteurs associés aux situations problèmes	28.
3.3.2.3.	Activités cognitives critiques	28.
3.3.2.4.	Situations prototypiques à risque	29.
3.3.3.	Apports de l'étude dans le cadre d'une méthodologie d'évaluation	31.
3.4.	ANALYSE SUR SIMULATEUR DES RÉPONSES DES ANESTHÉSISTES À 5 SITUATIONS DE CRISE	32.
3.4.1.	Objectif et contexte de l'étude	32.
3.4.2.	Matériel et méthode	33.
3.4.2.1.	Le simulateur	33.
3.4.2.2.	Déroulement d'une séance de simulation	34.
3.4.2.3.	Protocole d'étude	34.
3.4.2.4.	Collecte et analyse des données	35.
3.4.3.	Résultats	36.
3.4.3.1.	Précision et délais de diagnostic	36.
3.4.3.2.	Ventilation des activités	37.
3.4.4.	Apports de l'étude dans le cadre d'une méthodologie d'évaluation	38.
3.5.	MIEUX COMPRENDRE L'IMPACT, À MOYEN TERME, DES INNOVATIONS SUR LES STRATÉGIES DES UTILISATEURS, SUR LEURS CONNAISSANCES ET LEURS RAISONNEMENTS. ÉTUDE ANNEXE	40.
3.5.1.	Introduction	40.
3.5.2.	Analyse de la situation d'interaction homme-machine	42.
3.5.3.	Observation des situations d'interaction et recueil des problèmes d'interaction	43.
3.5.3.1.	Avant implémentation	43.
3.5.3.2.	Juste après l'implémentation	43.
3.5.3.3.	Un mois d'utilisation	44.
3.5.4.	Questionnaire : Appréciation du logiciel par les utilisateurs	45.
3.5.5.	Apport de l'étude dans le cadre d'une méthodologie d'évaluation	46.
3.6.	CADRE MÉTHODOLOGIQUE POUR L'ÉVALUATION DES INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES	47.
3.6.1.	Introduction	47.
3.6.2.	Une méthodologie structurée d'évaluation	48.
3.6.3.	Dimensions et critères d'évaluation	49.
3.6.3.1.	Dimension technique	49.

3.6.3.2.	Dimension clinique	52.
3.6.3.3.	Dimension cognitive	56.
3.6.3.4.	Dimension organisationnelle	55.
3.6.3.5.	Dimension économique	56.
3.6.3.6.	Autres dimensions	57.
3.6.4.	Conclusions	57.
3.7.	DÉVELOPPEMENT ET UTILISATION DE NOUVEAUX SYSTÈMES D'INFUSION EN ANESTHÉSIE	58.
3.7.1.	Enquête auprès des anesthésistes belges au sujet des systèmes de gestion d'infusion	58.
3.7.2.	Étude de terrain sur un système de contrôle de 4 systèmes d'infusion	60.
	en anesthésie pour adulte	
3.7.2.1.	Utilisation en neuro-anesthésie	61.
3.7.2.2.	Utilisation en chirurgie cardiaque adulte	61.
3.7.3.	Élaboration et test d'un système d'administration de drogues à objectif de concentration	62.
3.7.4.	Mise au point et utilisation d'un système en boucle fermée pour	62.
	la réduction des accès hypertensifs durant la chirurgie cardiaque adulte	
3.7.4.1.	Développement du système en laboratoire	62.
3.7.4.2.	Utilisation assistée sous contrôle du concepteur en salle d'opération	63.
3.7.4.3.	Intégration d'un input de contrôle de tension	64.
	 CHAPITRE 4. IMPACTS ET DIFFUSION DES RÉSULTATS	65.
	 RÉFÉRENCES	69.
	 ANNEXE 1	71.
	 ANNEXE 2	105.

PRÉAMBULE

Le texte ci-dessous résume les travaux réalisés depuis quatre ans par le Service de Psychologie du Travail de l'Université de Liège en collaboration avec les Départements d'anesthésie et réanimation des hôpitaux universitaires de Liège et de Bruxelles en vue de réduire les erreurs humaines en anesthésie grâce à l'évaluation de l'utilisation des innovations dans ce domaine et à la mise au point d'une méthodologie d'évaluation qui assure une meilleure émergence des besoins et des conditions de travail des utilisateurs.

Deux remarques préalables doivent être formulées :

- Un tel projet a exigé une véritable collaboration interdisciplinaire entre les équipes de psychologues, les équipes de médecins anesthésistes-réanimateurs et les concepteurs de matériel pour mettre au point une méthodologie pointue qui va à la fois au coeur de la technique et au coeur du savoir anesthésique et pour produire une réelle avancée dans la diminution des erreurs humaines dans ce domaine. Ces équipes ont eu accès au terrain et au simulateur d'anesthésie pleine échelle situé à l'Hôpital militaire de Bruxelles.

- La réflexion d'une telle recherche dépasse largement le cadre spécifique de l'anesthésie. L'évolution technologique des systèmes de surveillance que connaît l'anesthésie est comparable à celle que des secteurs industriels (sidérurgie, engrais, verre, aviation) ont rencontré dans les processus continus. L'ensemble de ces secteurs sont confrontés aux problématiques des innovations technologiques tant au niveau de l'emploi que dans des domaines qualitatifs plus classiques (problèmes de formation et d'organisation, désaccords, nouveaux risques pour la sécurité et la santé etc.). Il s'avère donc important de développer un instrument méthodologique applicable dans d'autres contextes et par d'autres acteurs pour accroître l'opérationnalité et la diffusion des résultats de la recherche.

S'agissant d'un rapport de réseau, ce texte intègre l'ensemble des recherches interuniversitaires réalisées dans le cadre dudit projet, en faisant apparaître la part prise par chacune des équipes participantes dans les recherches poursuivies.

CHAPITRE I

INTRODUCTION

1.1. CADRE GÉNÉRAL DE LA RECHERCHE

L'erreur humaine et l'évolution technologique

Dans des domaines très divers, le développement et les progrès technologiques ont permis d'augmenter la performance, la précision et la sécurité des systèmes complexes qu'on connaît actuellement. En même temps, les problèmes posés par la fiabilité humaine ont pris davantage de relief de nos jours que par le passé. En 1990, plus de 80% des accidents d'aviation sont attribués à l'erreur humaine (Amalberti, 1993). Dans l'ancienne Russie, 60 % des arrêts d'urgence des réacteurs nucléaires sont imputés à l'opérateur humain. En général, tout système complexe à haut risque présente un pourcentage similaire (Hollnagel, 1993).

L'augmentation de la fiabilité technique a sans aucun doute déplacé l'attribution de la causalité d'un accident sur l'opérateur humain. Dans les débuts de l'ère industrielle, des défaillances techniques manifestes limitaient l'analyse à ce seul facteur. Au fur et à mesure que la fiabilité technique a augmenté, d'autres causes relevant de la composante humaine de la situation vont être évoquées. Aujourd'hui, beaucoup de spécialistes de la fiabilité, et parmi eux Cellier (1990), mettent en doute la pertinence d'une telle dichotomie entre facteur technique et facteur humain pour expliquer un accident. Une analyse plus globale de la situation les conduit à voir dans l'accident le symptôme d'un dysfonctionnement du système homme-machine dont l'opérateur n'est qu'une composante. Or, dans les systèmes complexes, les composantes isolées sont rarement seule en cause dans les accidents. Ce sont le plus souvent les interactions entre ces composantes qu'il faut incriminer (Reason, 1990).

Ce projet de recherche vise à apporter une contribution à l'analyse de ces interactions. L'accent sera mis sur le développement d'une méthodologie d'évaluation des situations d'interactions homme-machine afin de réduire le risque d'erreur humaine. Dans nos recherches, on sera conduit à développer une thèse clairement formulée par Woods (1986) selon laquelle : "les concepteurs des systèmes homme-machine ont involontairement créé des situations de travail dans laquelle bon nombre de technologies normalement supportant la performance humaine ont été transformées en risque potentiels pouvant avoir des conséquences catastrophiques". On verra que notre fascination pour l'innovation technologique nous a souvent empêché de voir que l'introduction d'une technologie dans un domaine de travail introduit un changement et crée de nouvelles demandes sur l'opérateur qui peuvent conduire à de nouvelles formes d'erreur.

L'emploi courant de l'expression "erreur humaine" fait à l'opérateur un mauvais procès. L'erreur humaine est le résultat le plus souvent d'une situation d'interaction homme-machine inadaptée. On argumentera en montrant que les bénéfices de l'automatisation s'observent en général pendant les périodes à faible coût du point de vue de la charge de travail (Wiener & Curry, 1980). En revanche, elle augmente souvent les demandes sur l'opérateur précisément aux périodes critiques de l'activité, où la charge de travail est déjà élevée. Woods (1995) parle à cet égard de "*clumsy automation*". L'expression décrit cette forme de coopération homme-machine qui crée de nouvelles demandes sur l'opérateur précisément aux moments où il aurait le plus besoin d'aide (Sarter & Woods, 1995). Ces demandes peuvent concerner de nouvelles tâches à réaliser à des moments critiques, comme l'initiation ou la programmation d'un dispositif automatique; elles peuvent concerner des changements dans les tâches habituelles, de séquence par exemple. Elles peuvent aussi porter sur l'activité cognitive mise en jeu par l'opérateur pour réaliser une tâche comme par exemple la nécessité de disposer de nouvelles connaissances, de superviser le fonctionnement de l'outil, de modifier ses stratégies attentionnelles, de

communiquer et de coopérer avec l'outil. Toutes ces nouvelles demandes modifient, on le verra, la répartition dynamique de la charge de travail de l'opérateur humain et peuvent conduire à des erreurs.

Pour que notre propos se fonde dans une réalité concrète, on a fait choix d'étudier un domaine où les technologies se trouvent à un tournant de leur développement : celui de l'anesthésie. Suivant l'exemple américain, la Belgique, comme la plupart des pays d'Europe, s'oriente vers une anesthésie assistée par ordinateur. Les anesthésistes sont confrontés à la gestion d'une situation dynamique, c'est-à-dire qui se transforme même lorsque ils n'agissent pas sur elle (spontanément et sous l'action des chirurgiens). Ils ont à superviser et à contrôler des processus physiologiques avec des techniques informatiques et automatiques de plus en plus sophistiquées. Le point de focus de ce programme est la situation d'interaction entre l'anesthésiste et un nouveau dispositif technique, un système d'administration automatique des drogues. Cet appareil représente le premier pas vers un système d'anesthésie en boucle fermée. Le rapprochement avec le contrôle de processus industriel ou avec l'aviation constitue plus qu'une simple analogie.

Plusieurs méthodes d'approche ont été utilisées pour analyser la situation d'interaction et construire une méthodologie d'évaluation qui aborde les questions posées par les activités cognitives que les nouveaux systèmes visent à soutenir. Les observations sur le terrain ont conduit à un modèle de l'activité de l'anesthésiste en interaction avec le nouvel outil. Le recueil et l'analyse des erreurs sur le terrain ont permis de dresser une typologie des problèmes (nature et circonstances) et d'identifier les activités cognitives critiques du point de vue de l'anesthésiste. Le passage des situations réelles à des situations simulées a conduit à une analyse plus fine de l'activité psychologique (en particulier des stratégies de supervision et de prises de décision en situation de crise) en tenant compte du niveau d'expertise de l'anesthésiste. Ces recherches ont bénéficié de la collaboration installée depuis plusieurs années entre le département de psychologie du travail de l'Université de Liège et les départements d'anesthésie-réanimation des hôpitaux Universitaires de Liège et de Bruxelles.

1.2. RAPPEL DES OBJECTIFS DE RECHERCHE ET PLAN DE TRAVAIL

L'objectif principal du programme de recherche est double:

- développer une méthodologie d'évaluation des nouveaux outils de surveillance et de contrôle du patient, aussi générale que possible pour englober différentes formes d'outils.
- influencer les concepteurs, pour les amener à intégrer aussitôt que possible dans le cycle de conception cette méthode d'évaluation.

L'étude poursuit aussi des buts spécifiques :

- diminution des erreurs et amélioration de la qualité des soins
- évaluer l'impact émotionnel des incidents
- mieux comprendre l'impact, à moyen terme, des innovations sur les stratégies des utilisateurs, sur leurs connaissances et leurs raisonnements : ÉTUDE ANNEXE

Plan de travail avec contribution des équipes aux recherches poursuivies

Le plan de travail comprenait :

1. l'affinement de l'analyse cognitive de la tâche par des études de l'activité sur le terrain, par l'équipe du Service de Psychologie du Travail (Prof. V. De Keyser), en collaboration avec l'expertise anesthésique des départements d'anesthésie-réanimation des Universités de Liège (Prof. M. Lamy) et de Bruxelles (Prof. A. d'Hollander)
2. l'organisation d'un recueil systématique des erreurs en milieu hospitalier et l'étude de l'impact émotionnel et du stress des incidents en collaboration avec M.L. Faymonville, anesthésiste-réanimateur de l'Université de Liège et A.S. Nyssen, chercheur au Service de Psychologie du Travail (U.Lg).
3. la décomposition fonctionnelle des produits étudiés en l'occurrence un équipement de monitoring intégré et MINA : un nouveau système d'administration automatique des drogues développé par les Professeurs F. Cantraine et L. Barvais du département d'anesthésie de l'Université Libre de Bruxelles. Familiarisation à leur maniement, et détermination des fonctions à évaluer avec l'assistance des services d'anesthésie-réanimation de Liège et de Bruxelles. Aménagement des critères et construction des micro-tâches par A. Haché, chercheur au Service de Psychologie du Travail (U.Lg)
4. la mise au point, le démarrage et la poursuite du programme expérimental sur simulateur, incluant le recueil des traces de l'activité, y compris des erreurs et les verbalisations permettant de reconstruire, à partir de l'activité, la structure de la tâche et les représentations mentales qui lui sont associées afin d'en dériver certains critères cognitifs, en collaboration avec l'expertise anesthésique du Professeur A. d'Hollander (CUB), des anesthésistes-réanimateurs seniors R. Larbuisson et M. Janssens (CHU), et d'A.S. Nyssen, psychologue (U.Lg)
5. La mise à la disposition d'outils d'administration de drogues, la poursuite de l'évaluation des outils étudiés en fonction des méthodologies proposées et la remise d'un rapport spécifique aux concepteurs des deux outils étudiés en l'occurrence la firme Datex et les docteurs F. Cantraine et L. Barvais du département d'anesthésie de l'Université Libre de Bruxelles.
6. L'ÉTUDE ANNEXE : L'évaluation longitudinale de l'impact des innovations par A.S. Nyssen, psychologue (U.Lg) en collaboration avec un anesthésiste-réanimateur R. Larbuisson (U.Lg). Évaluation à mesures répétées d'un nouveau système d'administration automatique de drogue conçu par la firme Zeneca.
7. L'intégration des résultats de terrain, du simulateur, des évaluations des dispositifs, pour l'élaboration finale de la méthodologie.
8. L'écriture du rapport final par l'équipe du Service de Psychologie du Travail (Prof. V. De Keyser).

CHAPITRE 2

CADRE CONCEPTUEL

2.1. PROPRIÉTÉS DES TECHNOLOGIES MODERNES : Autonomie, Autorité et Opacité des systèmes techniques modernes . . .

Le terme "automation" désigne, selon le domaine d'application, une variété de systèmes techniques qui diffèrent dans leur conception et dans leurs capacités coopératives. L'expression coopération homme-machine ne s'est imposée que récemment. Plus modestement, on a d'abord parlé d'interaction homme-machine. Le passage de l'interaction à la coopération homme-machine s'est justifié par le fait que les progrès technologiques ont permis aux concepteurs de créer des systèmes de plus en plus autonomes et autoritaires par rapport à l'opérateur. Le système de pilotage automatique (Flight Management System - FMS) à bord des avions modernes en est un exemple typique. Une fois initié, le système agit sans ordre préalable immédiat du pilote.

L'autonomie des systèmes techniques modernes est rendue possible par le fait qu'ils peuvent ajuster leur comportement en fonction de nombreux inputs provenant de sources variées de l'environnement . L'autorité du système fait référence à sa capacité à prendre le contrôle des actions ou à empêcher certaines interventions de l'opérateur humain, jugées par le système comme dangereuses (Sarter & Woods, op. cit.) .

Mais, même si la machine est devenue de plus en plus "intelligente", ses capacités cognitives restent limitées. Les tâches que réalise automatiquement la machine ou celles qu'elle est capable de réaliser sur demande restent encore réduites aux situations anticipées par le concepteur. C'est à l'opérateur humain qu'incombe la tâche de détecter et de gérer les interférences. En tant que superviseur, il reste responsable de la réalisation correcte de l'ensemble de la tâche du système homme-machine. Par conséquent, il doit pouvoir maîtriser l'ensemble de la situation.

Maîtriser la situation implique de disposer à tout moment d'une représentation de l'histoire de la situation (passée, présente, future) pour pouvoir prendre une décision adaptée au contexte situationnel. Une telle représentation doit intégrer la dynamique de la situation contrôlée, ses propres actions sur la situation mais aussi celles de la machine (Hoc, 1996). Sarter & Woods (1994) ont montré dans la domaine de l'aviation comment toute représentation incorrecte ou insuffisante du rôle joué par la machine peut avoir des conséquences désastreuses. En effet, il faut constater que l'augmentation de l'autonomie et de l'autorité de la machine s'accompagne souvent d'une plus grande opacité de la machine, qui peut favoriser certaines erreurs humaines. Certes, le nombre d'informations disponibles sur les écrans n'a cessé d'augmenter mais la complexité du système a rendu parfois difficile une représentation explicite des informations de nature fonctionnelle sur les interfaces. Certaines informations sensorielles pertinentes (auditives ou tactiles) ont été enlevées de l'environnement de travail de l'opérateur humain.

La vitesse du processus est également un facteur de complexité à considérer. Bainbridge (1989) insiste sur la difficulté éprouvée par l'opérateur dans le contrôle d'une machine qui va plus vite que lui et qui peut fonctionner très différemment de lui. Dans ses conditions de travail, le rôle de supervision et de diagnostic est particulièrement malaisé pour l'opérateur humain.

A ceci s'ajoute le fait que les systèmes automatisés en prenant à leur compte certaines tâches de l'opérateur créent des situations de sous-charge pour l'opérateur (hors de la boucle de contrôle) et de perte d'expertise. De tels systèmes augmentent les risques objectifs d'avoir, en cas d'incident, un opérateur non préparé (réactif) et stressé. L'opérateur humain doit alors mettre en oeuvre ses capacités de résolution de problème dans des conditions qui ne sont guère satisfaisantes (Reason, 1988).

Pour améliorer les conditions de coopération homme-machine, certains chercheurs ont proposé de ne plus établir a priori la répartition dynamique des tâches entre l'homme et la machine mais de la faire reposer sur des critères de performance de l'ensemble du système et de charge de travail de l'opérateur humain (Hoc, op. cit.). L'idée est que lorsque les capacités limites de l'homme ne sont pas dépassées, celui-ci réalise lui-même les tâches. On évite ainsi les périodes de sous-charge ("hors de la boucle"), dont Bainbridge (1987) avait décrit les dangers : ennui, diminution de la vigilance, perturbation des activités d'anticipation.

L'objectif de ce programme est d'évaluer l'impact de cette évolution des systèmes techniques modernes dans la situation homme-machine d'anesthésie.

2.2. L'ANESTHÉSIE : VERS UN SYSTÈME HOMME-MACHINE MODERNE

2.2.1. Évolution de l'anesthésie

Au cours de ces dernières années, l'anesthésie s'est considérablement transformée, tant par le jeu des produits nouveaux que par le développement de nouvelles techniques et de nouveaux moyens de surveillance du patient. Le savoir anesthésique est mieux maîtrisé qu'autrefois et la formation des médecins spécialistes en anesthésie-réanimation toujours plus poussée. Même si la technique anesthésique a progressé et que le nombre d'accidents n'a cessé de diminuer, sa pratique se diversifie et, par conséquent, le nombre d'accidents qu'elle peut entraîner reste important. En Belgique, pour 900 000 patients anesthésiés par an, on estimait en 1989 à 1215 les accidents et à 378 les décès ou dommages cérébraux possibles suite à l'anesthésie. En cause, l'erreur humaine, impliquée dans 82 % des accidents d'anesthésie, selon une enquête menée aux États-Unis par Cooper et al. (1978). La sensibilité aiguë du public à la situation, le nombre croissant de procès intentés aux anesthésistes - 5 081 dossiers pour dommage corporel examinés entre 1977 et 1991 en France -, les réticences des compagnies d'assurance à les assurer - 1 248 victimes d'accidents médicaux pour faute avec dommage corporel indemnisées dont la compensation couvre une fourchette de 20 000 FF et 10 MFF -, ne sont que la partie émergente du problème, l'autre partie étant le vécu psychologique, la souffrance des victimes, les procès vécus comme un calvaire par les malades, l'attitude culpabilisante vis-à-vis du praticien découlant de l'axiome de la perfection et l'émotion soulevée par la perte d'une vie humaine.

Dès les années quatre-vingts, de larges enquêtes ont tenté de cerner les facteurs à l'origine des erreurs humaines. Cooper et al. (1984) ont identifié les principales sources de défaillances, les classant en fonction de la mesure qui, prise en temps utile, aurait empêché l'accident de se produire. Nous en retiendrons deux: la conception des équipements et des appareils de surveillance (réduction de 22 % des erreurs) et la formation des praticiens (réduction de 25 % des erreurs).

1.	Formation complémentaire des anesthésistes	25%
2.	Meilleure organisation	13%
3.	Meilleure supervision ou consultation d'un confrère	12%
4.	Monitoring plus élaboré	11%
5.	Équipement mieux conçu	11%
6.	Vérification préalable du matériel	6%
7.	Meilleure évaluation préopératoire	6%
8.	Meilleure communication	6%
9.	Meilleur schéma de travail	5%
10.	Critères de sélection ou de renvoi plus rigoureux	3%

Tab. 1 - Stratégies potentielles pour la prévention des incidents, d'après Cooper et al., 1984.

En réponse à ces enquêtes statistiques, le département d'anesthésiologie de la Harvard Medical School édite en 1986 des standards de sécurité concernant le monitoring minimum nécessaire à la surveillance du patient . C'est à la fois un énorme progrès, car la sécurité pour le patient va augmenter, et un énorme marché pour les concepteurs d'appareils médicaux. L'hypoxie, par exemple, peut très souvent être détectée et traitée en temps utile au moyen d'appareils de monitoring adaptés. Il est clair que ces systèmes techniques en apportant des informations plus précises facilitent le diagnostic et le contrôle du patient. Mais ils ont transformé aussi profondément la tâche de l'anesthésiste : désormais l'anesthésiste surveille, détecte et régule les incidents à travers des écrans. La figure ci-dessous représente le système homme-machine d'anesthésie.

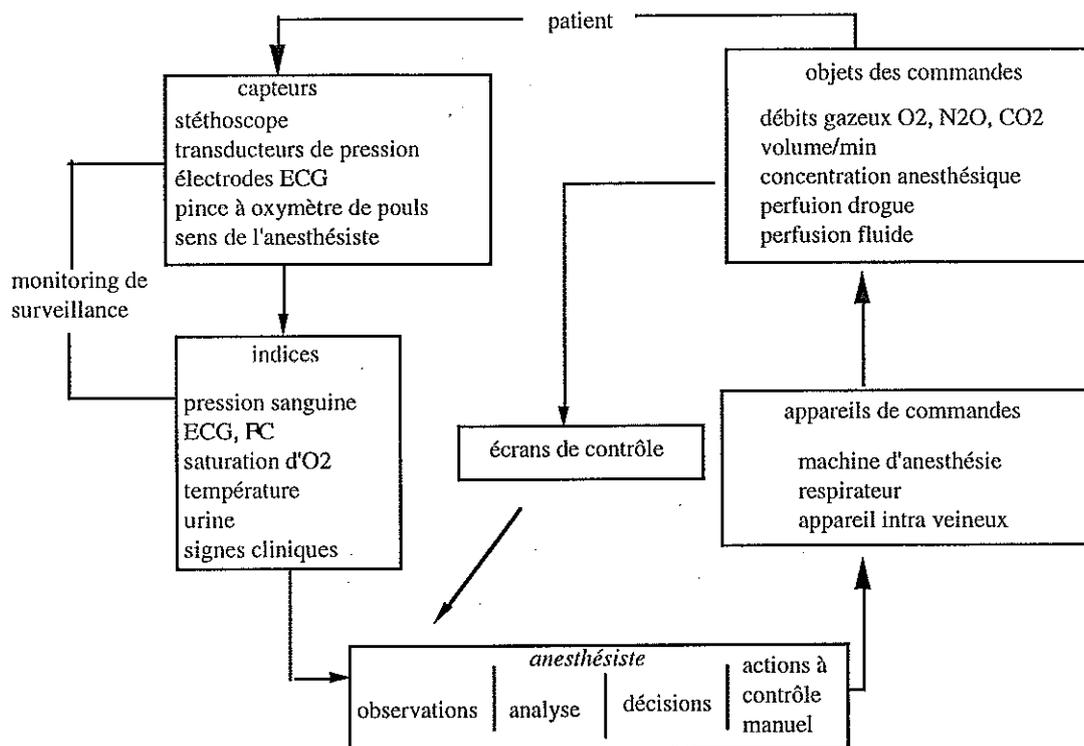


Fig. 1 - Représentation du système homme-machine (adaptation de Gravenstein et al. 1979)

La multiplication des monitoring dans les salles d'opération a poussé au développement de solutions intégrées, informatisées. Ainsi, des informations sur le patient, initialement isolées, ont été regroupées au sein d'un même monitoring. Certains systèmes d'infusion intégrés visent la perfusion des différentes drogues utilisées en anesthésie (voir chap. 10). Récemment, des systèmes de perfusion automatique de drogues, assistée par ordinateur, ont fait leur apparition dans les salles d'opération. Ils ne s'agit pas encore de système qui contrôle automatiquement le niveau de l'anesthésie. Mais l'utilisation en parallèle de l'EKG avec analyse bispectrale permettra peut-être de réaliser un système en boucle fermée. On reconnaît bien là l'évolution technologique qu'ont connu d'autres secteurs industriels comme la sidérurgie et l'aviation - et on peut craindre l'apparition des même problèmes de coopération homme-machine.

Il est important de garder à l'esprit que le domaine de l'anesthésie est utilisé ici comme un laboratoire naturel de recherche qui présente certaines des propriétés qui caractérisent les environnements technologiques modernes (dynamicité, risque, incertitude, travail collectif). Les détails propres au domaine sont présentés uniquement pour faciliter la compréhension des questions soulevées par nos recherches.

2.2.2. L'Anesthésie du futur, assistée par ordinateur

Il existe actuellement deux techniques pour administrer les anesthésiques : soit directement dans le sang, soit indirectement par inhalation. En intraveineux, les anesthésiques sont diffusés dans le cerveau en fonction de leur propriétés pharmacocinétiques. Les agents volatils sont administrés dans le poumon, diffusent dans le sang puis dans le cerveau. Les arguments sont actuellement nombreux pour que l'anesthésie intraveineuse supplante l'anesthésie volatile. Les agents volatils sont plus polluants pour l'atmosphère du bloc opératoire et toxiques pour le patient. Ils induisent fréquemment des nausées et vomissements au réveil avec un inconfort pour le patient.

Le produit de référence en anesthésie intraveineuse est actuellement le propofol pour sa simplicité d'emploi, sa demi-vie courte et la qualité de l'anesthésie qu'il procure. Mais l'utilisation d'agent intraveineux pour l'entretien de l'anesthésie demande une technique différente par rapport aux agents volatils délivrés par des vaporisateurs calibrés. Pendant longtemps l'administration d'anesthésique intraveineux s'est faite grâce à une seringue, soit en bolus itératifs, soit en perfusion continue. Plusieurs programmes de perfusion d'abord manuelle puis informatique ont été proposés afin de maintenir constante la concentration sanguine lors de l'anesthésie. Cependant de tels programmes ne peuvent répondre précisément aux modifications chirurgicales et anesthésiques.

Le système de perfusion à concentration-cible (TCI : Target Controlled Infusion) délivrera des programmes de perfusion variables fondés sur la pharmacocinétique décrivant l'élimination et la redistribution du propofol. La concentration sanguine du produit pourra être modifiée rapidement de façon aussi simple que pour les agents volatils afin de répondre aux différents niveaux de stimulation chirurgicale et aux demandes du patient.

Le principal problème a été de mettre au point grâce à des algorithmes complexes des modèles pharmacocinétiques. Ces modèles ont pour but d'évaluer la concentration plasmatique à tout moment et d'adapter la vitesse de perfusion en fonction de ces concentrations. Classiquement la plupart des agents anesthésiques répondent à un modèle bi- ou tri-comportemental ce qui complique considérablement l'élaboration du programme informatique de pharmacocinétique.

Récemment, le laboratoire Zeneca a mis au point un système de perfusion assistée par ordinateur pour le propofol. Ce système appelé Diprifusor est connecté à une seringue électrique. Diprifusor désigne le logiciel TCI (Target Controlled Infusion ou administration intraveineuse à objectif de concentration), le module informatique et les dispositifs intégrés de perfusion.

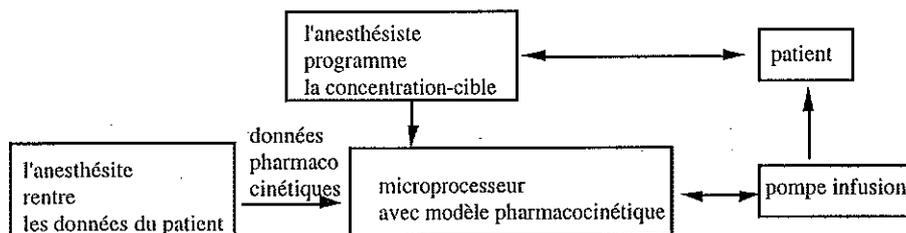


Fig. 2 - Principales composantes du système d'infusion automatique de drogue. Le système comprend une pompe d'infusion attachée à un ordinateur (microprocesseur). Le programme de l'ordinateur contient un modèle pharmacocinétique de la drogue (propofol), décrivant l'élimination et le métabolisme de la drogue, et les données pharmacocinétiques pour différentes populations de patients. La concentration plasmatique cible de la drogue ainsi que les données du patients (âge) sont entrées dans le système par l'anesthésiste. Grâce au modèle pharmacocinétique, le système calcule la dose initiale à injecter pour atteindre la concentration plasmatique désirée et le débit nécessaire pour la maintenir; il contrôle automatiquement l'injection.

Le logiciel du dispositif diprifusor TCI comprend les algorithmes de contrôle de vitesse de perfusion reliés à un programme de simulation pharmacocinétique. La simulation repose sur un modèle à trois compartiments, programmé sur la base de paramètres pharmacocinétiques (constantes) spécifiques du propofol. Ce logiciel est installé dans un module informatique qui est l'un des composants du pousse seringue.

Une autre caractéristique du dispositif TCI est qu'il peut identifier la présence de propofol (Diprivan) dans une seringue préremplie.

Le diprifusor n'est pas un système destiné au contrôle automatique de niveau de l'anesthésie. L'anesthésiste indique la concentration plasmatique souhaitée et l'ordinateur relié au système de perfusion calcule en permanence le débit de perfusion en fonction du poids et de l'âge du patient. La concentration cible doit être ajustée par l'anesthésique en fonction des besoins individuels et du degré de la stimulation chirurgicale lors de l'intervention. L'intégration au dispositif de l'EEG avec analyse bispectrale est à l'étude. Elle permettrait de réaliser un système d'anesthésie en boucle fermée en prenant comme input le niveau d'anesthésie mesuré au niveau du cerveau.

2.3. CADRE MÉTHODOLOGIQUE D'ÉVALUATION DES TECHNOLOGIES

2.3.1. Les différentes approches d'évaluation des systèmes techniques

Même s'il existe aujourd'hui un consensus quant au besoin d'évaluer les innovations technologiques, la démarche à suivre ne fait pas l'unanimité parmi les chercheurs. Elle pose le problème très concret des critères retenus dans l'évaluation. Quatre grands courants se dessinent dans la littérature :

- une première approche consiste à faire appel aux opérateurs: Des réponses objectives (erreurs, vitesse de réponse etc.) liées à la performance peuvent être explorées par l'évaluateur (analyste, facteur humain), tout comme des réponses subjectives (appréciations du logiciel, opinions et attitudes etc.). C'est une démarche classique dans le courant d'ergonomie francophone. L'évaluation s'appuie sur des techniques variées : questionnaires, entretiens et observations des opérateurs en interaction avec le logiciel. Des modifications appropriées du logiciel dans la situation-cible peuvent conduire, avec l'assentiment des utilisateurs, à des enregistrements automatiques de données (mémorisation des vues consultées) et des interventions (mémorisation des commandes réalisées). Dans des situations simulées, de telles modifications sont plus aisées. Le recours à l'appréciation des opérateurs est une méthode précieuse pour l'ergonome et le concepteur; il permet d'éviter de s'écarter trop vite de la complexité des situations-cibles. Un des principaux biais de cette technique est l'effet de halo, c'est-à-dire le fait que les utilisateurs se laissent influencer par l'opinion globale qu'ils ont de l'outil pour évaluer les différentes fonctions prises isolément. Certains utilisateurs peuvent aussi éprouver des difficultés à justifier leur appréciation; ils vont essentiellement parler des aspects techniques soit parce qu'ils pensent que c'est ce que l'évaluateur attend d'eux, soit parce qu'il leur est impossible de parler de leur activité de façon intelligible à un interlocuteur sans que ce dernier ait un minimum de connaissances techniques. Le choix de l'évaluateur est important d'autant plus si l'évaluation utilise l'observation comme technique. Dans ce cas, celui-ci doit alors être familier avec le système technique et avec la situation-cible. Le choix des critères des situations d'observation doit couvrir la variété de la situation-cible, aussi bien la situation de marche normale que la situation en mode dégradé.

- une deuxième approche fait confiance aux experts, ingénieurs ou ergonomes. Des listes de critères techniques et ergonomiques sont passées en revue par des experts, et le logiciel est validé et certifié en fonction de sa conformité à ces critères (écart "acquis/requis"). Des exemples peuvent être trouvés chez Van Cott & Kinkake (1972) et Woodson & Conover (1973). Ce sont ces mêmes listes de critères qui, détaillées, enrichies par les acquis d'expérimentations contrôlées et éventuellement adaptées à un contexte plus précis (les tableurs, les logiciels intégrés par exemple) sont à la base des "guidelines", des guides de conception. Ceux-ci fournissent aux concepteurs toute une série de recommandations et de directives pour réaliser leur logiciel (Scapin, 1986). Une des critiques adressées à cette approche tient au fait qu'elle ne prend pas en compte la

réalité organisationnelle dans laquelle le logiciel est amené à être utilisé. Certaines réalisations (Paetau, 1988) tentent de pallier cette limite, en ajoutant un axe d'analyse dynamique (observation des situations d'interaction) en situation réelle.

- un troisième courant repose sur une théorie existante : la théorie de la complexité qui tente de prédire la complexité d'une application logicielle en se basant sur plusieurs mesures comme le nombre de règles de production nécessaires pour l'exploiter. Cette approche s'inscrit dans le cadre d'une approche cognitive de l'interaction homme-machine puisqu'elle se base sur certains concepts cognitifs clés comme la mémoire de travail, les ressources attentionnelles etc. C'est dans ce cadre qu'on rangera les tentatives récentes de Card et al (1983), et celles de Kieras et Polson (1985), ou encore celle de Mitdland (1993). Parmi les outils utilisés dans ce courant, on peut citer le modèle GOM (Card, 1983). La décomposition proposée par ce modèle se fait en terme de buts, d'opérateurs, de méthodes pour atteindre les buts et de règles de sélection pour choisir entre des méthodes concurrentes. Ce genre de modèle vise à cerner comment l'utilisateur réalise une tâche routinière en vue de prédire l'utilisation du logiciel dans la situation de travail. Un autre modèle développé par Bauer (1981) se base sur une décomposition logique du langage de dialogue implémenté dans le logiciel. Ce type de modèle permet de comparer et d'évaluer différentes solutions techniques sur base de la décomposition grammaticale obtenue.

- une quatrième approche repose sur le recueil et l'analyse des problèmes d'interaction et de coopération homme-machine. Elle présuppose une connaissance approfondie de la situation d'interaction et des critères de performance. Les recherches de Cook et al. (1990, 1994) en anesthésie et de Woods & Sarter (op. cit.) dans l'aéronautique s'inscrivent dans ce courant. Il s'agit d'une approche descriptive et explicative qui n'est possible qu'en fin de phase de conception. Le retour de l'information au concepteur déterminera l'impact de l'approche.

Le cadre conceptuel développé par Sweeney, Maguire et Shackel (1993) propose une vue synthétique des différentes approches d'évaluation et des indicateurs utilisés (Tab. 2). On y retrouve les approches décrites précédemment, à l'exception de l'approche par retour d'expérience.

Selon ces auteurs, l'évaluation vise à déterminer l'"usability" du système technique. L'"usability" du système se définit comme la qualité d'une conception *optimum*, qui se reflète dans l'utilisation *effective* et *satisfaisante* du logiciel.

- *optimum* = la fonctionnalité du logiciel doit s'appuyer sur une analyse des coûts/bénéfices et des compromis possibles, afin que l'investissement demandé à l'utilisateur pour atteindre et maintenir un haut niveau de performance ne soit pas trop important;
- l'utilisation *effective* = se reflète dans la productivité, le niveau de performance que peut atteindre l'utilisateur : vitesse d'exécution, complétude, justesse des réponses, etc.
- l'utilisation *satisfaisante* = si le degré de satisfaction et l'attitude des utilisateurs le reflète.

Pour mesurer cette "usability", il importe de définir les caractéristiques de l'utilisateur, de la tâche à effectuer et de l'environnement dans lequel le logiciel est implanté; les caractéristiques du logiciel sont modélisées par les théoriciens; les utilisateurs finaux interviennent directement dans l'évaluation et les caractéristiques sont abstraites mentalement par les experts. L'approche vise à maximiser la performance et la satisfaction des utilisateurs, et à réduire les coûts nécessaires pour maintenir ou atteindre cette performance et cette satisfaction.

<i>Approche</i>	<i>Indicateur d'utilisabilité</i>	<i>Données</i>
Évaluation basée sur l'utilisateur	Performance (de l'utilisateur)	Temps des tâches, % complété, taux d'erreur, durée du temps dans la fonction Aide, étendue de fonction utilisée, etc. <i>(données objectives)</i>
	Comportement non-verbal	Mouvement des yeux, durée d'orientation et fréquence d'accès à la documentation. <i>(données objectives)</i>
	Attitudes (et opinions)	Questionnaire et enquêtes, commentaires d'interviews et cotations, réponses à des questions de compréhension. <i>(données subjectives)</i>
	Cognition (connaissance et compréhension du système)	Protocoles verbaux, commentaires consécutifs à l'utilisation <i>(données objectives)</i>
	Stress	Réponses galvaniques, cardiaque, potentiel évoqué, électroencéphalogramme, etc. Commentaires et cotations <i>(données objectives et subjectives)</i>
	Motivation	Enthousiasme, bonne volonté et effort. <i>(données subjectives)</i>
Évaluation théorique	Performance (idéalisée) (prédictions d'usage)	Prédictions de - Temps de performance de la tâche - Temps d'apprentissage - Facilité de compréhension. <i>(données objectives)</i>
Évaluation basée sur les experts	Conformité (Niveau de conformité avec standards, critères etc.)	Niveau de conformité par rapport à des critères et standards reconnus. <i>(données objectives)</i>
	Attitude (expert) (opinion professionnelle)	Commentaires Évaluation des propriétés d'utilisabilité. <i>(données subjectives)</i>

Tab. 2 - Cadre conceptuel développé par Sweeney et al. (1993)

L'éclectisme des approches d'évaluation que l'on vient brièvement de décrire traduit en fait la reconnaissance de la complexité de l'interaction des composantes humaines et matérielles des situations de travail. Pendant longtemps, la tradition Human-Engineering a dominé les études sur les nouvelles technologies, orientant les analyses vers l'interaction opérationnelle homme-machine. Mais un ensemble d'études comparant les situation in vitro (laboratoire, expérimentation) et in vivo (dans des environnements réels) ont montré l'influence du système (interaction homme-homme, facteurs organisationnels, nature des ressources et des contraintes etc.) sur l'interaction homme-machine et par conséquent sur la fiabilité. L'importance de ces facteurs dans le travail interdit de limiter l'évaluation de l'impact d'une innovation technologique au seul facteur technique ou ergonomique. Bien au contraire, elle rend nécessaire une prise en compte de l'ensemble des composantes de la situation de travail. Elle révèle aussi l'intérêt que peuvent représenter de nouveaux terrains d'analyse du travail comme celui des simulateurs pleine échelle qui permettent d'évaluer les possibilités d'existence d'un nouveau dispositif dans des contraintes ou des fonctionnalités relatives aux futures valeurs d'usage.

2.3.2. La simulation comme nouvel outil d'évaluation

La simulation est depuis longtemps utilisée pour évaluer la faisabilité d'un nouveau projet ou d'un nouveau produit. L'informaticien utilise la maquette informatique, l'architecte et le designer utilisent la maquette volumétrique, l'ingénieur, l'économiste, le chercheur utilisent des logiciels de simulation.

La simulation est utilisée soit comme banc d'essai pour tester et valider l'efficacité d'un dispositif (en comparant les performances observées dans différentes situations, ou en comparant la performance observée avec une performance attendue), soit comme une dimension intrinsèque du processus de conception pour explorer le champ des possibles et participer au processus de réduction de l'incertitude.

Dans certains domaines comme l'aviation ou le nucléaire, les simulateurs pleine échelle ou haute fidélité commencent à être utilisés. Ils permettent non seulement de voir et d'entendre mais aussi de toucher, d'agir en temps réel. Dans un simulateur pleine échelle, il est possible de modifier la situation en temps réel pour analyser les interactions homme-machine dans des conditions de travail normales ou non familières.

Dans cette optique, l'analyse de la situation de référence est une étape préalable indispensable pour identifier les situations d'interaction et construire des scénarios pertinents. La simulation, assise sur cette méthodologie, constitue un instrument essentiel dans la conduite du projet en favorisant l'expression des besoins de la part des différentes parties prenantes (utilisateurs, concepteurs, facteurs humains) et en servant de support à une réflexion en cours d'élaboration (Maline, 1997).

Il serait néanmoins réducteur de limiter l'évaluation des nouveaux dispositifs aux seules situations de simulation. Certaines dimensions du système socio-technique influençant l'interaction homme-machine dans la réalité restent difficile à reconstruire dans la simulation; c'est le cas des relations sociales, de la perception du risque, etc. D'où l'importance de combiner des méthodes d'évaluation variées (simulation, expérimentation, terrain) et de développer une analyse multifacettes du système socio-technique afin saisir l'ensemble des problèmes d'interaction homme-machine susceptibles de se poser à court, moyen et long terme dans une situation de travail particulière.

2.3.3. Notre philosophie pour une méthodologie d'évaluation

De plus en plus d'auteurs, conscients des limites de chaque approche, prônent des démarches intégrées, combinant à la fois les utilisateurs, les experts et les théories. Ils plaident pour une plus large participation du public, une meilleure connaissance des attentes, du contexte et une plus grande concertation entre les acteurs concernés.

Une autre évolution importante est l'adoption d'une démarche qui envisage tous les aspects corrélés d'une manière ou d'une autre à l'innovation technologique. Il s'agit non seulement d'évaluer le logiciel à travers des critères techniques ou ergonomiques, mais aussi d'inclure dans l'évaluation des aspects cognitifs, sociaux, organisationnels, etc. L'originalité est d'intégrer ces différentes dimensions mais c'est également une source de difficultés, car les logiques des différents acteurs impliqués ne présentent pas toujours cette approche intégrée : les uns privilégiant les critères économiques, d'autres les critères techniques, d'autres encore l'opportunité politique.

Cette évolution montre qu'en plus de son rôle d'évaluation classique des innovations technologiques, on s'oriente maintenant vers une plus grande intégration de l'évaluation dans le processus de décision et de conception. Il faut néanmoins constater que, dans la pratique, rares sont les évaluations réalisées assez tôt dans le processus de développement pour avoir un impact sur la conception. Et même dans ce cas de figure, il faut encore que les pouvoirs décisionnels tiennent compte des recommandations de l'évaluation.

Notre proposition méthodologique s'appuie sur ces observations. Quatre options de base forment le point de départ :

- 1^o la recherche de l'inter- ou de la multidisciplinarité avec le souci de faire participer le plus tôt possible les utilisateurs potentiels dans le processus d'évaluation et de conception
- 2^o l'évaluation des différentes dimensions corrélées de près ou de loin à l'introduction de l'innovation dans la situation de travail.
- 3^o l'utilisation de méthodes variées : observations, entretiens, questionnaires, et expérimentation sur simulateur
- 4^o l'exécution à différents moments clé du cycle de vie de l'innovation (en particulier au stade le plus précoce du développement) de manière à pouvoir jouer un rôle dans les prises de décision des concepteurs.

CHAPITRE 3

RECHERCHES RÉALISÉES ET RÉSULTATS

3.1. INTRODUCTION

Les recherches que nous avons réalisées pour la mise au point de la proposition méthodologique d'évaluation des innovations dans les situations de travail modernes se sont déroulées en trois phases. Tout au long de ces phases, plusieurs systèmes de perfusion de drogues ont été mis au point et testés sur le terrain.

La première phase a consisté à appliquer la méthodologie construite lors de la préétude (Méthodologie 1) à deux nouveaux outils d'anesthésie, en l'occurrence un équipement de monitoring intégré et MINA : un nouveau système d'administration automatique des drogues développé par le département d'anesthésie de l'hôpital universitaire de Bruxelles. La méthodologie 1 consiste à appliquer une série de critères aux différentes composantes fonctionnelles du système d'interaction homme-machine. Elle repose sur différentes techniques de récolte de données : documentation, observations, questionnaires et expérimentation.

Cette application a mis en évidence plusieurs limites de la méthodologie: la principale concerne le fait qu'elle s'intéresse essentiellement aux interactions homme-machine, en négligeant l'impact de l'innovation sur les processus cognitifs à l'oeuvre dans la situation d'interaction. Elle a donc une capacité limitée. Une autre limite tient au fait que la méthodologie n'envisage qu'une mesure d'évaluation, négligeant l'analyse des effets à moyen et long terme de l'innovation. En pratique, elle s'est aussi avérée lourde à mettre en oeuvre, avec vingt critères d'évaluation appliqués à l'ensemble des fonctionnalités du système technique (plus de 400 pour le monitoring).

Durant la deuxième phase du programme, les recherches réalisées ont tenté de pallier ces limites. L'accent a été mis sur l'analyse systémique de la situation d'interaction homme-machine, incluant une analyse approfondie des processus cognitifs mis en oeuvre par l'anesthésiste pour atteindre l'objectif. Cette analyse a reposé sur plusieurs méthodes: observation, collecte et analyse des situations problèmes et expérimentation sur simulateur. Le modèle théorique de Rasmussen (1986) nous a aidé à décrire la situation étudiée en terme de hiérarchie de contrôle et de prise de décision.

Durant cette deuxième phase, nous avons aussi organisé et réalisé l'étude annexe dont l'objectif est de mieux comprendre l'impact à court, moyen et long terme des innovations sur le travail. Nous avons pu assister à l'implantation du diprifusor en salle d'opération et analyser l'impact du nouveau système sur les stratégies de l'anesthésiste pendant la première semaine d'utilisation et un mois après la phase de familiarisation. Cette étude apporte des informations importantes sur les stratégies d'adaptation de l'opérateur humain à l'innovation et sur leurs limites.

La troisième phase a été dévolue à l'élaboration du cadre méthodologique d'évaluation proposé. Cette élaboration s'est appuyée sur les réflexions théoriques présentées au chapitre 1, mais est également le fruit des études que nous avons réalisées dans le cadre de ce programme. L'évaluation combine experts, utilisateurs et concepteur de manière à pouvoir jouer un rôle dans le processus de conception. Elle se veut exhaustive et multicritérielle. L'évaluation intègre un axe cognitif et une perspective longitudinale de manière à rendre compte plus largement de l'impact de l'innovation sur le travail tel qu'on le vit dans notre société moderne.

Le texte ci-dessous décrit la progression des nos recherches durant les trois phases. Il reprend les résultats déjà développés dans le rapport d'activité intermédiaire en ce qui

concerne les points 1 à 4 du plan de travail réalisés au cours des deux premières années. Ces recherches ont été nécessaires pour la poursuite de l'évaluation des outils (cfr. point 5 et 6). Les années 1997 et 1998 ont été consacrées principalement à la mise en place de l'étude annexe visant à intégrer un axe longitudinal dans le processus d'évaluation, à l'intégration des résultats provenant des diverses recherches réalisées, à l'élaboration de la proposition méthodologique finale et à l'écriture du rapport final de recherche.

3.2. MÉTHODOLOGIE CONSTRUITE LORS DE L'ÉTUDE PRÉALABLE ET APPLICATION

La méthodologie construite lors de l'étude préalable s'inscrit dans la cadre d'une approche analytique qui intègre à la fois les utilisateurs, les experts (facteur humain) et les théories (théorie de la complexité cognitive). Il s'agit d'une évaluation multicritérielle qui repose sur plusieurs méthodes de récolte de données : observations, questionnaires et expérimentation. Elle insiste sur la décomposition fonctionnelle préalable du logiciel de manière à éviter une évaluation de surface de même que sur la prise en compte du contexte d'utilisation. Elle se déroule en trois étapes :

- 1) analyse de la situation d'interaction homme-machine,
- 2) décomposition fonctionnelle de l'outil étudié
- 3) application des critères d'évaluation aux différentes composantes fonctionnelles mises en évidence par l'expert (analyste-facteur humain)

Deux outils, en l'occurrence un équipement de monitoring intégré et MINA : un nouveau système d'administration automatique des drogues développé par le département d'anesthésie de l'hôpital universitaire de Bruxelles (Prof. d'Hollander), ont été choisis pour être évalués en fonction de la méthodologie construite lors de la préétude. L'évaluation a été réalisée au milieu du cycle de conception des outils et toutes les transformations ont été rapportées au concepteur pour permettre des améliorations ultérieures.

3.2.1. Analyse de la situation d'interaction homme-machine

L'analyse de la situation d'interaction homme-machine cherche à déterminer les composants du système homme-machine sur lequel porte l'évaluation. Elle utilise des méthodes diverses : observation in situ, interview, verbalisation.

La création d'un langage de formalisation a permis de décrire, graphiquement, les différents objectifs et moyens mis en oeuvre séquentiellement dans la poursuite de la tâche (Haché, 1993). Les moments où le nouvel outil était utilisé et les types de fonction à remplir ont été clairement définis.

L'analyse a duré un mois et a été réalisée par observation d'actes chirurgicaux dans deux salles d'opération (CHU de Liège) - la chirurgie digestive où l'anesthésiste dispose d'un *système de monitoring intégré*, fournissant l'ensemble des paramètres indispensables à une surveillance maximale du patient (monitorage des gaz, des paramètres hémodynamiques, du débit cardiaque, des pressions invasives, des agents anesthésiques), - et la neuro-chirurgie où un *nouveau système d'administration des drogues (MINA)* est implanté et utilisé par les anesthésistes .

Au total, 12 anesthésistes (7 en chirurgie digestive et 5 en neurochirurgie) ont été suivis durant 15 interventions avant et après l'implantation des nouveaux équipements en salle d'opération. Les observations intégraient deux axes : - les actions sensori-motrices effectuées par l'anesthésiste, y compris le mode d'administration des drogues

(administration manuelle, semi-automatique - sur des pousse-seringues, automatique - outil MINA), et ses prises d'information (au niveau des appareils, du patient et de l'équipe).

L'analyse des données montre que l'analyse cognitive de la tâche est spécifique à l'acte chirurgical. Au niveau cognitif, les objectifs généraux restent les mêmes mais les moyens et les contraintes à respecter changent. Des différences se marquent dans la disposition physique du matériel, dans les prises d'information, dans l'allocation des tâches ainsi que dans leur timing :

- *dans la disposition physique du matériel* : En neuro-chirurgie, les appareils occupent une place importante dans l'espace, ce qui modifie la visibilité des écrans et la place dont dispose l'anesthésiste. Le temps de réglage et de vérification du bon fonctionnement de l'équipement est dès lors plus important.

- *dans les prises d'information*: Alors qu'en chirurgie abdominale, l'anesthésiste peut observer la couleur des lèvres et la dilatation de la pupille de l'oeil pour évaluer l'état du patient, la seule partie visible du patient en neurochirurgie est son bras. L'anesthésiste doit donc se référer à d'autres indices comme l'électromyogramme pour évaluer l'état du patient.

- *dans l'allocation des tâches* : La préparation des drogues est déléguée à une infirmière en chirurgie digestive, non en neurochirurgie où l'anesthésiste prépare lui-même ses drogues, les place dans les pousse-seringues; les injections se font en semi-manuel.

- *dans le timing*: La neuro-chirurgie est une chirurgie longue et lourde qui nécessite une série de préparatifs supplémentaires (couverture chauffante, feuille isolante, sonde de température, etc.), ce qui allonge le temps de la phase d'installation du patient. De même, la phase de régulation d'anesthésie est beaucoup plus longue qu'en chirurgie digestive.

Les résultats de cette étude démontrent l'importance de l'analyse de la situation d'interaction homme-machine spécifique à chaque contexte de travail comme étape préalable de toute évaluation. Cette analyse permet d'identifier les composants du système d'interaction homme-machine, les objectifs et les contraintes spécifiques au contexte du travail et les interactions sur lesquelles portent notre évaluation.

3.2.2. Décomposition fonctionnelle des outils

La deuxième étape a consisté à décomposer fonctionnellement le logiciel. En réaction contre une tendance générale à n'évaluer que les caractéristiques de surface d'une interface, on a proposé ici, au contraire, une décomposition très détaillée des fonctions du logiciel. Cette décomposition repose sur deux analyses :

- une analyse statique réalisée à partir de documentations, de démonstrations d'utilisation, d'explorations directes des logiciels et d'interviews avec les concepteurs et les anesthésistes utilisateurs (ULB), permettant à l'expérimentateur, A. Haché psychologue (U.Lg) de se familiariser avec les logiciels à évaluer et d'en dégager la structure.
- une analyse dynamique en vue de dégager les couches fonctionnelles supérieures des logiciels, celles qui correspondent à des combinaisons de fonctions élémentaires en unités fonctionnelles consistantes et invariables, et au niveau desquelles se déploient les stratégies et se manifestent les intentions des utilisateurs. La décomposition des couches supérieures a été réalisée avec la collaboration des concepteurs des outils étudiés et à partir des observations réalisées in situ.

Les différentes fonctions identifiées ont été organisées de façon hiérarchique. Au niveau le plus élevé, les fonctions générales du logiciel correspondent à des actions complexes et intégrées (stratégies, procédures automatisées, habitudes de l'utilisateur,...) et relèvent des objectifs généraux de l'anesthésiste. Au niveau plus bas, les couches inférieures concernent les activités les plus simples, et comprennent notamment des composantes sensori-motrices, fortement déterminées par la nature des périphériques exploités. La figure ci-dessous illustre la décomposition fonctionnelle réalisée pour le monitoring de surveillance intégré. En annexe se trouve la décomposition du système Mina ainsi que les principaux résultats de l'évaluation.

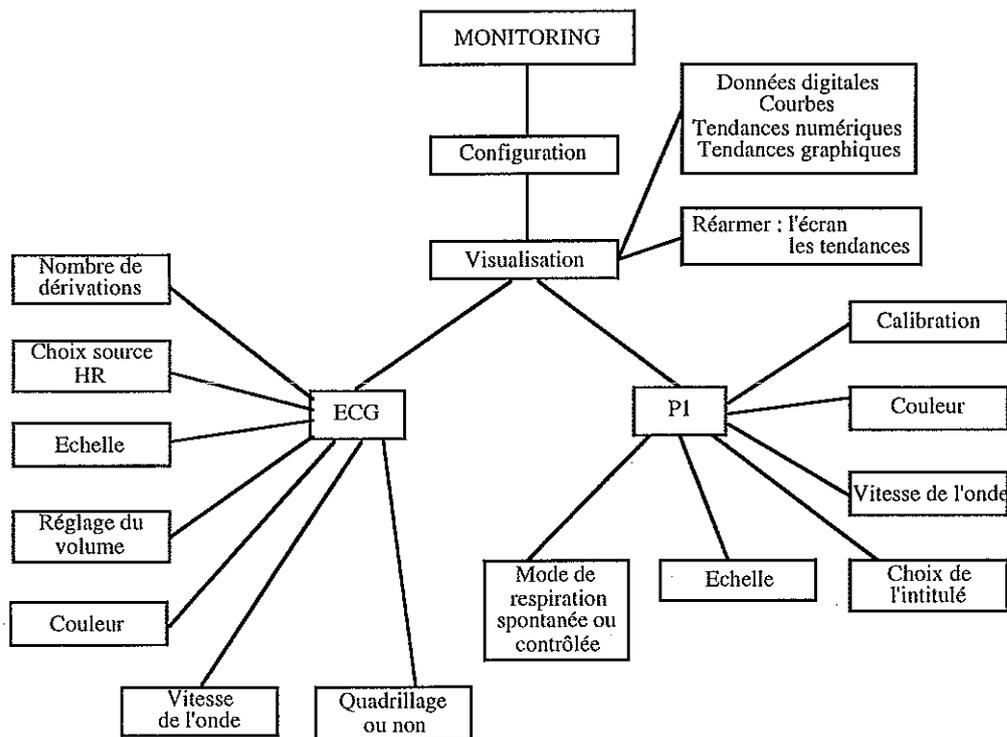


Fig. 3 - Décomposition fonctionnelle réalisée pour le monitoring de surveillance intégré.

3.2.3. Critères d'évaluation et application

La troisième étape consiste à appliquer les critères d'évaluation aux différentes fonctions mises en évidence par la décomposition fonctionnelle des outils. Une liste de 20 critères adaptés à l'évaluation des logiciels a été créée lors de l'étude préalable. Deux types d'analyse sont à la base des mesures d'évaluation:

- une analyse statique de l'outil (AS) réalisée par l'expert en dehors de la salle d'opération, à partir de ses connaissances ergonomiques, de la décomposition du logiciel et de la liste des critères préétablie.
- une analyse dynamique visant à déterminer quelles connaissances ont les utilisateurs de l'outil et comment ils l'utilisent. Cette analyse repose sur plusieurs méthodes de collecte de données:
 - l'observation (DO) : au cours de laquelle, le psychologue observait les utilisateurs sur le terrain, avec enregistrement des actions et verbalisation des objectifs poursuivis,

- l'expérimentation (DE) : à partir des observations sur le terrain, l'expérimentateur avait construit des micro-tâches en vue d'évaluer les utilisateurs en interaction directe avec le logiciel en dehors de la salle d'opération,
- le questionnaire (DQ) : construit à cet effet, il visait à explorer de façon étendue les connaissances des utilisateurs du logiciel.

Le tableau récapitulatif ci-après reprend les différents critères d'évaluation et les outils où ils étaient appliqués :

<u>Liste des critères - outils où ils étaient appliqués</u>	
1. <i>Facilité d'accès, appel</i> La fonction est-elle facile à mettre en oeuvre, de quels outils dispose-t-on ?	AS-DQ-DO-DE
2. <i>Homogénéité des règles d'invocation des fonctions</i> Les règles d'invocation des fonctions sont-elles homogènes ?	AS-DQ
3. <i>Prévisibilité</i> Le comportement de la fonction est-il prévisible ? L'utilisateur peut-il savoir où il en est dans la séance ? Le passage entre années est-il clairement mentionné ?	AS-DQ-DO-DE
4. <i>Feed-back sur l'utilisation</i> Comment peut-on juger qu'une action a bien été effectuée ?	AS-DQ
5. <i>Complétude fonctionnelle</i> Toutes les actions attendues sont-elles possibles ?	AS-DQ
6. <i>Diversité fonctionnelle</i> Existe-t-il différentes manières d'avancer horizontalement ?	AS-DQ-DO
7. <i>Intégration fonctionnelle</i> L'utilisateur peut-il faire de la navigation verticale et horizontale ?	AS-DQ-DE
8. <i>Détection - Signalisation des erreurs</i> Un signal prévient-il d'une erreur, ou d'une manoeuvre impossible ?	AS-DQ-DO-DE
9. <i>Protection - Réversibilité des erreurs</i> Les erreurs sont-elles réversibles ?	AS-DQ-DO-DE
10. <i>Vitesse d'exécution</i> La vitesse de succession des écrans est-elle suffisante, l'utilisateur peut-il la contrôler ?	AS-DQ-DO
11. <i>Fiabilité</i> La fonction a-t-elle un comportement erratique, se bloque-t-elle par moment ?	AS-DQ-DO
12. <i>Documentation</i> La documentation est-elle référentielle ou exclusivement pédagogique. Les aides sont-elles suffisantes ?	AS-DQ
13. <i>Facilité d'apprentissage</i> Les règles d'apprentissages pour l'utilisation de la fonction sont-elles simples, nombreuses ?	DO-DE
14. <i>Homogénéité de la représentation des objets</i> Les objets à manipuler lors de fonctions de même famille sont-ils présentés de manière homogène ?	AS-DQ
15. <i>Charge mentale mnésique</i> La charge mentale nécessaire à l'utilisation de la fonction est-elle élevée ?	(AS)-DQ
16. <i>Interprétation adéquate</i> Les icônes, graphismes ou abréviations sont-ils ambigus ?	AS-DO-DE
17. <i>Visibilité</i> Les textes sont-ils bien visibles ou le feed-back sonore est-il audible et compréhensible ?	AS-DO-DE
18. <i>Ajustement de la représentation des objets</i> L'utilisateur peut-il modifier la représentation des objets manipulés en fonction de ses besoins ?	AS-DQ
19. <i>Possibilité d'automatisation</i> Est-il possible d'automatiser les séquences d'application de la fonction étudiée ?	AS-DQ-DO
20. <i>Connaissance des modes et des états</i> L'utilisateur a-t-il à tout moment connaissance de l'état de la fonction évaluée et de l'objet sur laquelle elle porte ?	AS-DO-DE

Tab. 3 - Liste des critères et outils où ils étaient appliqués

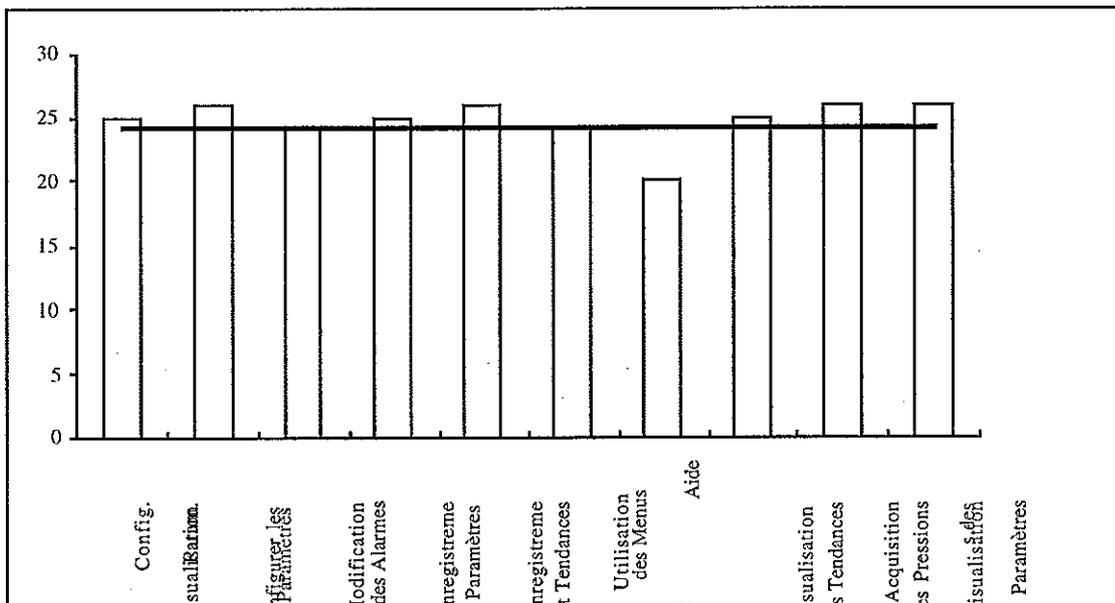
L'évaluation a consisté

- à intégrer les données provenant des différentes sources (analyse statique, analyse dynamique comprenant les observations, les micro-tâches et les réponses des anesthésistes aux questionnaires)
- à synthétiser les résultats de l'évaluation pour chaque composante fonctionnelle en vue de dissocier les fonctions bien implémentées de celles qui ne le sont pas.

Le tableau et la figure 4 illustrent, pour le monitoring intégré, un exemple des résultats obtenus sur le critère: "homogénéité de l'invocation des fonctions", pour l'ensemble du logiciel et par fonction.

	Cotation					Somme pondérée
	1	2	3	4	5	
Niveau global			2	2	2	24
Config. Visualisation Param.			1	3	2	25
Configurer les Paramètres			1	2	3	26
Modification des alarmes			2	2	2	24
Enregistrement Paramètres			1	3	2	25
Enregistrement Tendances			1	2	3	26
Utilisation des Menus			3		3	24
Aide		1	2	3		20
Visualisation des Tendances			1	3	2	25
Acquisition des Pressions			2		4	26
Visualisation des Paramètres			1	2	3	26

Tabl. et Fig. 4 - Exemple de résultats (cotation de 1 à 5 allant du moins bon au meilleur) par fonction sur le critère: homogénéité de l'invocation des fonctions. La colonne de droite, la somme pondérée, représente le degré de satisfaction des anesthésistes. 26 étant le niveau jugé satisfaisant par les concepteurs, qui correspond à 75% des sujets satisfaits.



L'évaluation des deux outils a fait l'objet d'un rapport soumis aux concepteurs. Ceux-ci ont pu juger de la pertinence des micro-fonctions et de leur intégration dans les macro-fonctions. Ils ont pu voir dans quelle mesure et à quel niveau leurs exigences de base correspondent à celles de la pratique des anesthésistes et apporter certaines modifications sur la prochaine génération d'outil.

3.2.4. Apports et limites de la méthodologie première

Dans la pratique, la méthodologie s'est avérée lourde à mettre en oeuvre. En effet, l'évaluation d'un logiciel tant soit peu complexe (comme le monitoring intégré) s'est étalée sur plusieurs mois et a demandé la collaboration des concepteurs, de l'expert et des utilisateurs. Ces derniers doivent évaluer, sur les 24 critères, l'ensemble des fonctions mises en évidence par la décomposition fonctionnelle (plus de 400); certaines d'entre elles leur étaient inconnues. La mise en place des micro-tâches a aussi posé certaines difficultés (disposition d'un logiciel, assentiment des utilisateurs, time-consuming).

L'approche décompositionnelle s'est avérée à la fois un avantage et un inconvénient.

Avantage : L'approche analytique décompositionnelle rentre assez bien dans une logique Human Engineering qui domine chez les concepteurs des systèmes techniques. Chaque fonction mise en évidence dans la décomposition est mesurée par les utilisateurs sur les différents critères. Cette approche quantitative fournit un feedback quant à l'appréciation des utilisateurs par rapport à l'interface utile pour le concepteur. Les recommandations sont néanmoins locales; elles portent sur des unités et des niveaux fonctionnels très précis. Selon les possibilités (effort que le concepteur est prêt à y consacrer), il est possible d'effectuer des modifications qui concernent des niveaux de plus en plus élevés. Il faut d'ailleurs noter que la tendance actuelle est à l'approche prototypique du développement des logiciels : les unités fonctionnelles du logiciel, qui sont significatives du point de vue de l'interaction avec l'utilisateur, correspondent à des segments de code isolables et séparables (programmation orientée objet par exemple).

Inconvénient : La décomposition fonctionnelle du logiciel repose sur une analyse statique (décomposition des potentialités du logiciel par l'expert) et sur une analyse dynamique (observation des situations d'interaction). Néanmoins, on peut regretter que l'adéquation des fonctionnalités du logiciel aux caractéristiques de l'activité ne soit pas analysée de façon plus spécifique. En effet, l'évaluation s'intéresse essentiellement à la logique technique qui sous-tend le logiciel (modalité de dialogue, présentation des informations). L'analyse de l'impact du logiciel sur l'activité cognitive mise en jeu par l'anesthésiste pour atteindre l'objectif fait défaut. A la question : *Le système supporte-t-il la performance dans le situation de travail ou au contraire complexifie-t-il la tâche de l'opérateur humain avec comme corollaire de nouvelles formes d'erreurs potentielles ?* La méthodologie n'apporte pas de réponse précise.

Le mode sur lequel repose l'évaluation en est peut-être la cause. L'évaluation du logiciel s'appuie surtout sur l'appréciation des utilisateurs. Or, l'utilisateur, comme nous l'avons suggéré plus haut, peut éprouver certaines difficultés à parler de son activité. L'expert devra alors inférer l'activité psychologique à partir des observations des situations d'interaction, des entretiens avec les utilisateurs et des réponses aux questionnaires. Cette axe d'évaluation nécessite une connaissance approfondie de la situation de travail et un modèle clair de l'activité cognitive. Seule cette base de connaissances permettra à l'expert de spécifier les critères pertinents par rapport aux caractéristiques de l'activité étudiée.

Dans la partie suivante, nous présentons deux études réalisées en vue d'augmenter nos connaissances sur l'activité psychologique mise en jeu par l'anesthésiste pour atteindre l'objectif. Elles concernent respectivement le recueil et l'analyse des situations problèmes sur le terrain (§ 8) et l'analyse sur simulateur des réponses des anesthésistes, en fonction de leur expérience, à 4 situations de crise (§ 9). Ces deux études introduisent des concepts connexes au concept de coopération homme-machine. Elles nous ont permis de déterminer le champ conceptuel de notre méthodologie d'évaluation finale.

3.3. RECUEIL DES SITUATIONS PROBLÈMES SUR LE TERRAIN ET ANALYSE

3.3.1. Objectif et méthodologie

Le recueil et l'analyse des situations problèmes sur le terrain a pour objectif de mieux comprendre la nature et les circonstances des problèmes que rencontre l'anesthésiste sur le terrain. Ceci en vue de faire reposer l'évaluation des innovations techniques non plus sur des critères généraux, construits a priori, mais sur des critères de performance de l'ensemble du système homme-machine.

L'étude a été réalisée au Centre Hospitalier Universitaire de Liège (CHU), en collaboration étroite avec le département d'anesthésie-réanimation (Prof. Lamy).

Bien que la collecte et l'analyse des données se poursuive actuellement, une première analyse de données a été réalisée dans le cadre de ce programme. De janvier 1995 à avril 1996, 30 situations problèmes ont été recueillies par un anesthésiste senior sur base de quatre critères de sélection : 1) l'incident a constitué une menace potentielle pour la sécurité, à un ou plusieurs moments de son déroulement; 2) les actions d'un ou plusieurs anesthésistes ont joué un rôle critique dans l'évolution ou les conséquences de l'incident; 3) l'incident a une valeur pédagogique; les circonstances, l'évolution et/ou la nature du problème apportent un éclairage différent sur la pratique anesthésique; 4) l'anesthésiste ayant vécu la situation est disposé à présenter la situation à ses collègues.

Deux autres outils ont été mis en place pour collecter et analyser les données, à savoir : un questionnaire et des réunions mensuelles de "sécurité".

Le questionnaire a été construit pour recueillir des renseignements individuels pour chaque situation problème retenue. Il devait être rempli, sans délai, par l'anesthésiste ayant vécu la situation. Il reprend de façon détaillée les conditions de la situation problème, incluant les caractéristiques liées au patient, à l'opération, à l'anesthésie, à l'environnement physique (équipements, monitoring etc.) et social (personnel présent : anesthésistes, chirurgiens, infirmiers et autres) ainsi qu'une description précise de l'incident et du vécu émotionnel associé.

Nous avons utilisé le modèle cognitif de Rasmussen (1986) (Fig. 5), de prise de décision pour identifier les activités cognitives critiques pour l'anesthésiste. Rasmussen a décomposé le processus de prise de décision au moins en 4 phases : détection des conditions anormales et recherche d'information, identification de l'état du système (diagnostic), évaluation de la situation et des conséquences, formulation d'une procédure et exécution. Nous avons distingué trois moments dans l'évaluation afin de tenir compte de la séquentialité d'une procédure d'anesthésie: l'évaluation préopératoire (visite préanesthésique), l'évaluation peropératoire et l'évaluation postopératoire.

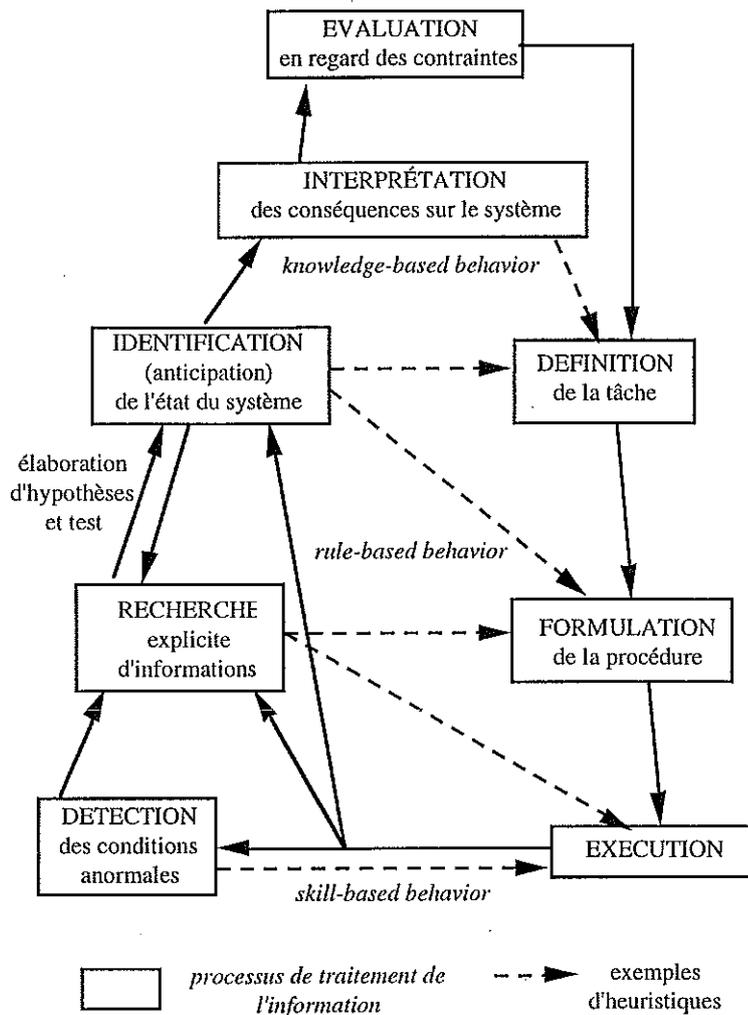


Fig. 5 - Modèle de prise de décision d'après Rasmussen (op.cit.) et revu par Hoc et al.(1995). Bien que la prise de décision, dans ce modèle, se présente sous forme d'une séquence d'activités, les individus, avec l'expertise, introduisent des courts-circuits qui vont de pair avec l'automatisation. Par exemple, un médecin anesthésiste peut mettre en oeuvre directement une procédure thérapeutique sur la base de la simple détection de conditions anormales (comportement basé sur des automatisme, *skill-based behavior*) et faire un diagnostic plus approfondi par la suite. Quelquefois, au contraire, le diagnostic doit être construit soit par des heuristiques de résolution de problèmes (comportement basé sur des règles de type si...alors, *rule-based behavior*), soit par des procédures d'investigation systématique (comportement basé sur des connaissances, *knowledge-based behavior*).

Chaque situation problème recueillie a été discutée collectivement lors des conférences "Sécurité en anesthésie" préparées et présentées tous les mois au CHU par M.E. Faymonville, anesthésiste-réanimateur senior et A.S. Nyssen, psychologue (U.LG), en présence du service d'anesthésie -réanimation. Ces réunions ont joué un rôle déterminant pour l'évaluation de la performance : elles nous ont permis d'apprécier le degré d'adaptation du comportement à la situation à travers le flux des verbalisations entre les anesthésistes experts et ceux en formation.

L'ensemble des données a été encodé puis traité par informatique en vue de caractériser d'un point de vue descriptif les facteurs de risque. Un certain nombre d'activités mentales jugées critiques par l'anesthésiste ont été dégagées du déroulement de chaque situation problème. Dans la partie suivante, nous présentons une vue synthétique des principaux résultats obtenus. L'ensemble des résultats est présenté en détail dans la thèse de doctorat d'A.S. Nyssen (U.LG).

3.3.2. Résultats

3.3.2.1. Caractéristiques des situations problèmes

Le tableau 5 reprend les caractéristiques des patients concernés par les situations problèmes recensées. La majorité des incidents concerne des sujets de 20 à 64 ans (n=23), 3 sujets ont moins de 2 ans et 4 sujets ont plus de 65 ans. L'état de santé du patient a été apprécié à partir de l'indice de gravité ASA. La majorité des incidents recensés (n= 23) concerne des patients relativement en bonne santé : ASA 1 et ASA 2.

Classe ASA	Hommes (n=18)				Femmes (n=12)			
	Age				Age			
	<2ans	20-44	45-65	>65	<2ans	20-44	45-64	>65
1	2	2	1	-	-	3	2	-
2	-	3	2	1	-	3	2	2
3	1	1	2	1	-	-	-	-
4	-	-	2	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 5 - Répartition des situations problèmes selon l'âge, le sexe et la classe ASA

L'intervention est réalisée par l'équipe habituelle dans 70 % des cas recensés et dans la salle habituelle dans 80 % des cas. La majorité des situations problèmes recensées concernent des actes prévus et réalisés dans le cadre d'un programme opératoire établi à l'avance. Seulement 4 situations concernent des anesthésies pratiquées en urgence.

Les problèmes recensés recouvrent les accidents habituels liés à l'anesthésie comme le montre le tableau ci-dessous.

	Nombre de problèmes	Nombre de décès ou coma
Nature cardiovasculaire		
collapsus cardiovasculaire	4	1
arrêt cardiaque	1	-
ischémie coronarienne	2	1
embolie gazeuse	1	-
embolie pulmonaire	1	1
Nature respiratoire		
désaturation < à 90	7	3
laryngospasme	3	-
inhalation	2	-
autre	3	-
Nature allergique		
choc anaphylactique	3	1
Hyperthermie maligne	1	-
Autres	2	-

Tab. 6 - Typologie des problèmes observés

3.3.2.2. Facteurs associés aux situations problèmes

Le tableau 7 présente les facteurs associés par les anesthésistes aux situations problèmes recensées.

Facteurs associés	n (réponses)
manque d'expérience	32
communication inappropriée	26
fatigue	24
supervision inadéquate, insuffisante	16
pression productive (retard sur le planning)	16
rapport chirurgien/anesthésiste	14
environnement inhabituel	12
présence d'un distracteur (stagiaire, etc.)	10
monitoring, accès veineux insuffisants	9
champ visuel réduit	9
interruption dans le travail (coup de téléphone, appel, etc.)	8
non uniformité du matériel	1
urgence du cas	1

Tab. 7 - Fréquence des facteurs associés

Le manque d'expérience, la communication inappropriée et la fatigue sont les facteurs les plus fréquemment associés aux situations problèmes par les anesthésistes. Les problèmes de communication se manifestent de deux façons : dans certains cas, l'indication chirurgicale est insuffisamment précise ou évolue en peropératoire et le médecin anesthésiste n'adapte pas sa stratégie (problème de représentation occurrente dans une situation dynamique). Dans d'autres cas, le chirurgien n'informe pas ou de façon insuffisante, l'anesthésiste sur les difficultés pratiques peropératoires qu'il rencontre dans le champ opératoire (problème de situation awareness lié à un mauvais feedback du chirurgien).

3.3.2.3. Activités cognitives critiques

Les activités cognitives jugées critiques par l'anesthésiste dans les situations problèmes sont résumées dans la tableau ci-dessous.

	n réponses
Évaluation préopératoire	11
Détection et observation	13
Diagnostic	8
Évaluation peropératoire	9
Définition de la tâche	5
Procédure	10
Exécution	6
Évaluation postopératoire	5

Tab. 8 - Fréquence des activités cognitives critiques(n). Des difficultés peuvent se produire aux différentes étapes de la prise de décision; c'est pourquoi la somme des fréquences ne correspond pas à la somme des situations problèmes recensées (n=30).

Sur les 30 situations, la phase de *détection et d'observation* a été signalée critique treize fois. Soit l'anesthésiste n'a pas perçu certains indices utiles, soit il les a perçus avec retard.

C'est principalement et le plus souvent un geste chirurgical qui n'a pas été détecté ou qui a été traité avec retard. C'est le cas, par exemple, d'une chirurgie prévue limitative (obstruction sur adhérence, durée prévue : 1h30) qui s'est transformée en un acte majeur en cours d'intervention (résection du grêle et du moignon de l'estomac avec décapsulation hépatique accidentelle et hémorragie active).

L'évaluation préopératoire, ou la préparation de l'activité, est mentionnée 11 fois. Ce type d'erreur est à l'origine d'un plan d'action inadéquat principalement à deux moments : lors de l'intubation et à l'occasion d'un geste chirurgical. Ceci fait référence au fait que l'examen clinique préopératoire peut laisser présager une intubation difficile et permettre à l'anesthésiste de choisir la technique la plus adaptée à l'état du patient. De même, une discussion préopératoire entre chirurgien et anesthésiste peut faciliter l'ajustement à l'acte chirurgical pendant l'opération.

L'étape de la *procédure* (par ex. omission d'une vérification ou d'une opération, inversion de séquence, etc.) a été signalée 10 fois à l'origine des problèmes.

Sur ce point, la mise en correspondance avec le degré d'apprentissage de l'anesthésiste est intéressante. Elle est présentée dans le tableau 9.

La grande majorité des défaillances de ce type ont été mentionnées par des anesthésistes de 2ème et de 3ème année. A ces degrés intermédiaires de formation, on peut penser que l'anesthésiste travaille en s'appuyant sur des traitements de l'information conscients, lents, séquentiels, fastidieux et dont les ressources sont limitées. La mémoire de travail peut très vite être saturée et conduire à des erreurs d'omission.

	2ème année (n=5)	3ème année (n=7)	4ème année (n=6)	5ème année (n=2)	senior (n=2)	mixte (n=8)
	n	n	n	n	n	n
Évaluation préopératoire	2	3	1	2	1	2
Détection et observation	3	4	3			3
Diagnostic	2	4	1		1	
Évaluation peropératoire	3	3	1			2
Procédure	4	4	1	1		
Exécution	2	3	1			
Évaluation postopératoire		2	1	1		1
Σ n (réponses)	16	23	9	4	2	8

Tab. 9 - Répartition du nombre des réponses (n) selon le degré d'apprentissage

Le *diagnostic* est cité 8 fois. Ce résultat montre combien il est important de mieux cerner en quoi consiste l'expertise médicale. Face à une situation problème, l'objectif premier de l'anesthésiste n'est pas de procéder à un diagnostic mais de ramener l'état du patient dans des limites acceptables. L'activité de diagnostic s'inscrit dans une stratégie d'ensemble de gestion de crise où la détection et la préparation de l'activité jouent plus souvent un rôle critique, d'après nos résultats.

S'agissant de l'identification du problème, le tableau 9 fait apparaître que ce sont principalement les anesthésistes de 3ème année de formation qui éprouvent des difficultés.

3.3.2.4. Situations prototypiques à risque

La mise en correspondance des résultats obtenus, fait émerger quatre configurations de situations prototypiques à risque qui associent quatre types d'erreurs, les propriétés du système impliquées, les facteurs contextuels, les mécanismes psychologiques inférés par l'expert et le degré de formation de l'anesthésiste.

Type d'erreur	Propriété du système impliquée	Facteurs contextuels présents	Mécanismes psychologiques sous-jacents	Degré de formation
erreur de détection et de procédure "erreur d'omission"	multidynamique collectif	variation intra/inter-environnement	limitation des capacités de traitement	stagiaires
erreur de diagnostic	incertitude	situation nouvelle 1ère exception	- heuristique - fixation du comportement	degré de formation intermédiaire
erreur d'anticipation et de planification	- dynamique - boucle de rétroaction et délais	- visibilité de l'évolution - situation problème exponentielle	- difficulté à traiter les aspects temporels - Réévaluation constante	débutants
erreur d'évaluation	- 'multitâche'	- pression de production	gestion des ressources cognitives	experts

Tab. 10 - Caractéristiques des quatre configurations de production d'erreurs dans les systèmes complexes

La première configuration touche des étapes périphériques de traitement de l'information: détection et procédure. Il est intéressant de remarquer que les problèmes observés à ces étapes résultent d'erreurs d'omission : l'anesthésiste ne détecte pas ou avec retard un changement inopiné et n'adapte pas son plan d'action dans les délais acceptables. D'où les erreurs de procédures souvent associées aux mêmes situations problèmes par les anesthésistes. Elles concernent les stagiaires, en particulier les anesthésistes de 2ème, 3ème et 4ème année de formation.

La configuration montre un lien entre ce type d'erreurs et le fait que le processus évolue, indépendamment de l'action de l'opérateur, par le biais du chirurgien dans notre cadre. Les erreurs de détection surviennent principalement à l'occasion d'un geste chirurgical qui s'écarte du plan initial et qui n'est pas signalé à l'anesthésiste. Le manque d'expérience, la mauvaise communication entre les membres de l'équipe opératoire, la fatigue et la supervision insuffisante sont évoqués comme facteurs d'influence.

La deuxième configuration illustre des erreurs de diagnostic et de procédure. Elle concerne principalement les anesthésistes en 3ème année de formation et les phases per et postopératoires. L'analyse détaillée des situations problèmes recueillies suggère une erreur de diagnostic due à l'utilisation d'heuristiques pour la sélection du schéma, dans une situation où il ne sont pas valides (1ère exception, nouvelle situation). Cette tendance est très prédictible puisque ce sont les sujets à un degré de formation intermédiaire qui sont prioritairement concernés. L'erreur de diagnostic a tendance à perdurer (erreur de fixation). L'anesthésiste adopte un même schéma comportemental; face à l'évolution du cas, il ne demande pas l'aide d'un anesthésiste plus chevronné, comme le suggère la procédure, ou il le fait tardivement. La fatigue, la mauvaise communication, la distraction et le manque de supervision sont aussi cités comme facteurs d'influence.

La troisième configuration témoigne des difficultés que les sujets débutants ont à traiter un aspect important des systèmes complexes : l'évolution du processus dans le temps : évaluations pré- et peropératoires. Elle implique principalement des anesthésistes en 2ème et 3ème année de formation. Les facteurs associés sont la fatigue, le manque de communication mais surtout le manque d'expérience. Ces difficultés font référence aux connaissances sur la façon dont le monde change qui font manifestement défaut chez les débutants. Ce qui laisse à penser que ce type de connaissances est principalement acquis avec l'expérience.

La quatrième configuration traduit une défaillance d'expertise. Elle implique des anesthésistes plus expérimentés et illustre des erreurs d'évaluations pré- et postopératoires. Les facteurs associés sont la fatigue et le manque de communication.

L'analyse détaillée des données suggère que le sujet expérimenté utilise des stratégies d'évaluation plus automatiques mais moins efficaces, sous la pression productive et aussi dans le cadre d'une gestion des ressources, pour diminuer l'astreinte cognitive dans le décours temporel de la tâche. Ce sont les périodes périphériques de la tâche pré- et postopératoires, hors salle d'opération, qui sont concernées. Ce type d'erreur peut être relié à ce que Reason (op. cit.) a appelé la *rationalité réticente* ou *évitement du surmenage cognitif*, qui décrit le refus de la cognition humaine de s'engager dans les processus impliqués dans le raisonnement analytique fastidieux.

Le nombre limité de données analysées dans le cadre de cette étude n'a pas permis de vérifier statistiquement les 4 configurations émergents de la mise en relation de nos résultats. Néanmoins, on verra que l'étude sur simulateur permet de valider et de préciser les inférences que nous avons faites quant aux mécanismes psychologiques et aux propriétés du système impliquées dans les situations à risque.

3.3.3. Apports de l'étude dans le cadre d'une méthodologie d'évaluation

Le recueil et l'analyse des situations problèmes sur le terrain constituent une source de données importantes pour identifier les problèmes importants dans le système homme-machine et définir les critères d'évaluation.

Le résultat net qui ressort des données est le risque associé aux interventions relativement mineures, considérées à risque faible et par conséquent ayant bénéficié de mesures de sécurité moins invasives (monitorage standard, anesthésiste en formation, etc.).

Le manque d'expérience est le facteur le plus fréquemment mentionné par les anesthésistes. Il doit être mis en relation avec la mission éducative que remplit le CHU. La formation de l'anesthésiste repose sur un enseignement théorique, mais surtout sur un apprentissage "sur le tas" sous la tutelle d'un senior. C'est dans ces conditions que le niveau insuffisant des prestations est souvent lié à un personnel pas assez compétent.

Ce résultat a d'importantes implications tant pour la conception que pour l'implantation d'une innovation dans ce domaine. En effet, le logiciel sera utilisé par des anesthésistes experts comme par des anesthésistes peu expérimentés. Le recueil des situations problèmes insiste sur l'importance de l'adéquation du logiciel aux représentations mentales de l'utilisateur lesquelles dépendent de l'expertise. Un utilisateur peu expérimenté doit pouvoir utiliser le logiciel même de façon non-optimale. Les fonctions "aide" et "visibilité - récupération d'erreur" seront particulièrement importantes pour supporter la performance de l'anesthésiste peu expérimenté s'il le désire.

Les situations prototypiques à risque dégagées constituent un outil précieux dans la prévention des erreurs et dans l'orientation des choix technologiques pour supporter la performance du système. Elles montrent aussi l'importance d'analyser les erreurs et les mécanismes de production sous-jacents dans le cadre général des modèles d'acquisition du savoir et du savoir-faire, si nous voulons aider efficacement l'individu dans son travail. Or, la majorité des systèmes d'aide à la décision ne tiennent compte ni du niveau d'expérience de l'opérateur, ni du type de difficulté qu'il rencontre, ni des propriétés des milieux dans lesquels ils sont introduits. Sans doute, ceci explique le fait qu'ils ne suscitent pas toujours une grande confiance chez les utilisateurs.

La première situation prototypique suggère un lien entre le degré de compétence (anesthésiste en formation), les erreurs de détection (absence de détection d'une variation) et le fait que le processus évolue, indépendamment de l'action de l'anesthésiste, par le biais du chirurgien dans notre cadre.

La dimension collective du travail introduit ici un élément de complexité dans la maîtrise de la situation dynamique. Pour contrôler la situation, l'anesthésiste doit non seulement disposer d'une représentation de la dynamique propre de la situation, de ses propres actions mais aussi des actions des autres personnes intervenant sur le processus : chirurgiens ou infirmiers.

L'implantation d'un système automatisé dans la situation serait de nature à complexifier davantage la maîtrise de la situation puisque l'anesthésiste devrait également intégrer, dans sa représentation de la situation, les interventions de la machine. Une telle complexité risque de conduire à des erreurs d'omission supplémentaires si les modalités de dialogue (communication homme-machine mais aussi communication homme-homme) ne sont pas améliorées.

Les activités d'anticipation et de planification sont aussi fréquemment mentionnées comme critiques par les anesthésistes stagiaires. Plusieurs études ont montré le rôle essentiel qu'elles jouaient dans la récupération des accidents anesthésiques (Xiao et al. 1992, Cousin, 1994).

Dans la ligne de ce qui a été dit dans la partie théorique, il convient donc d'être particulièrement attentif, en matière de coopération homme-machine dans une situation dynamique, aux perturbations éventuelles du système technique sur les activités d'anticipation et de planification des anesthésistes. Ces difficultés pourraient être au moins de trois sortes :

- difficulté à prédire le résultat d'une action réalisée par la machine. Or l'anesthésiste peut avoir besoin de cette prédiction pour prendre une décision ou anticiper l'évolution de l'état du patient (ces anticipations peuvent être essentielles dans la latence des réponses en cas d'incidents)
- mise en échec des plans souhaités. La machine peut conduire à un résultat incompatible avec un plan global de réalisation de la tâche que l'anesthésiste a choisi de suivre.
- incapacité à fonctionner sur un mode anticipatif, en cas d'incident. Le système automatique en plaçant l'anesthésiste hors de la boucle de contrôle favorise, en cas d'incident, un fonctionnement sur un mode réactif et stressant.

3.4. ANALYSE SUR SIMULATEUR DES RÉPONSES DES ANESTHÉSISTES À 5 SITUATIONS DE CRISE

3.4.1. Objectif et contexte de l'étude

L'étude sur simulateur a pour objectif de vérifier certaines hypothèses faites pendant l'étude sur terrain quant à l'effet cognitif de certaines contraintes externes telle que l'effet de la complexité ou de la vitesse du processus à contrôler sur les activités de supervision et de résolution de problème. Les résultats ont d'importantes implications pour la l'évaluation des systèmes homme-machine modernes de plus en plus rapides et complexes.

Ce type d'étude est impossible à réaliser dans la situation de travail. Elle nécessite la comparaison de situations de complexité différente. Le simulateur d'anesthésie installé à l'Hôpital militaire de Bruxelles a été utilisé à cette fin. Il a permis la mise en place d'un plan expérimental pour comparer et analyser les réponses des anesthésistes plus ou moins expérimentés (2/3ème année et 4/5ème année) à 5 situations problèmes d'anesthésie de complexité variée. Un système de vidéo a été utilisé pour enregistrer la dynamique d'interaction entre le sujet et le scénario simulé.

Cette étude a été réalisée en collaboration étroite avec le département d'anesthésie-réanimation de Liège. Elle s'est inscrite dans le cadre du programme de formation à la gestion de crise (Gaba et al., 1994) poursuivi depuis quatre ans par les départements d'anesthésie et Réanimation des Universités de Liège, Louvain et Bruxelles avec la collaboration du Service de Psychologie du Travail de l'Université de Liège.

Depuis 1995, 181 séances de simulation ont été réalisées avec la collaboration de R. Larbuisson et M. Janssens, anesthésistes-réanimateurs seniors (CHU) et A.S. Nyssen, psychologue (U.Lg), pour 93 anesthésistes en formation. Les scénarios d'accidents d'anesthésie ont été simulés en fonction du niveau de formation de l'anesthésiste; certains combinent les difficultés.

	1ère	2	3	4	5	recon nu	Σ
<u>Problèmes techniques (Σ)</u>	<u>30</u>	<u>7</u>	<u>2</u>				<u>39</u>
Alarme déconnexion non mise	1						1
Artefact Pr Art.	4						4
Artefact SaO ₂	4						4
Coupure alimentation gaz	4	1					5
Déconnexion électrodes	5						5
Fuite circuit respirateur	8	3	1				12
Panne de capno		1					1
Panne électrique total	4	2	1				7
Arrêt cardiaque		3	2	1	1	1	8
Bronchospasme		1					1
choc anaphylactique	7	12	6	7	4		36
Embolie pulmonaire		3	1	1			5
Engagement cérébral		1	4	2	2		9
HTA sévère	1						1
Hyperthermie maligne	1	4	6	7	1		19
Hypovolémie(hémorragie)	3	4	4	2			13
inhalation		3	3	5	1		12
Intubation difficile	1	1	3	5	1		11
Intubation oesophagienne	12	2		2			16
ischémie myocardique	11	11	7	7	1	1	38
Tamponnade		3	6	4	7	1	21
<u>Troubles du rythme (Σ)</u>	<u>11</u>	<u>5</u>	<u>5</u>	<u>3</u>	<u>2</u>		<u>21</u>
spontanés	2	2	2		2		
injections d'adrénaline	9	3	3	3			

Tab. 11 - Répartition des scénarios en fonction du niveau de formation

Le plan expérimental de l'étude sur simulateur est contingent des besoins en personnel des programmes opératoires des services d'anesthésie-réanimation. Dans ce sens, l'analyse comparative des comportements en fonction du niveau d'expertise et du scénario simulé s'est poursuivi sur les quatre années du projet, conformément au planning.

3.4.2. Matériel et méthode

3.4.2.1. Le simulateur

Le simulateur utilisé dans cette étude fait partie de la série CASE : Comprehensive Anesthesia Simulation Environment, fabriqué par CAE LINK Corporation (Binghamton, NY, USA), selon une licence de l'université de Standford. Il se présente sous la forme d'une salle d'opération conventionnelle équipée de toute la technologie habituelle mais où le patient a été remplacé par un mannequin hautement sophistiqué. Celui-ci peut-être intubé et peut régurgiter; il est équipé de poumons pouvant consommer de l'oxygène et produire du CO₂. Il peut être raccordé à un respirateur classique ou ventiler spontanément. L'anesthésiste peut écouter les bruits cardiaques et pulmonaires et palper le pouls au niveau du cou ou du bras; il peut injecter des drogues auxquelles réagit le patient en temps réel. D'autres variables peuvent être monitorées suivant le degré de sophistication souhaité. L'apport de gaz frais (oxygène et air sous pression) est réel; le protoxyde d'azote et les halogénés sont simulés mais ces derniers sont dosés au moyen de vaporisateurs utilisés dans la réalité. Un ensemble d'appareils de monitoring

permettent à l'anesthésiste de suivre l'évolution de la situation dictée par un scénario. Un système d'acquisition des données et de contrôle informatisé travaille au départ d'un ordinateur dans lequel est inséré le programme informatique permettant la transcription d'un scénario.

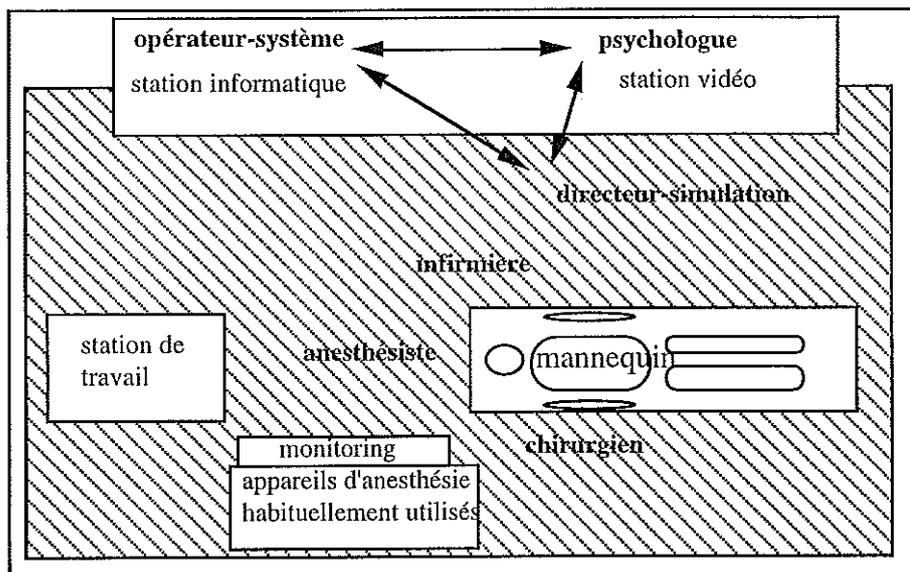


Fig. 6 - Bloc diagramme du simulateur d'anesthésie

3.4.2.2. Déroulement d'une séance de simulation

La séance de simulation est dirigée par un directeur de simulation (anesthésiste senior) qui choisit le scénario incidentel. Il peut ajuster les différents paramètres physiologiques et pharmacologiques du patient selon les circonstances et les réactions de l'anesthésiste-sujet par l'entremise d'un système de communication qui le relie à l'opérateur-système travaillant à la console de commande et au psychologue.

La séance de simulation comprend trois phases :

- un briefing au cours duquel des informations sont données quant au déroulement de la séance et sur le dossier médical du patient au vu duquel l'anesthésiste-sujet prépare une stratégie de soin et fait connaître les nécessités particulières de traitement, de monitoring et de transfusion. (durée approximative 15 min.)
- une séance de simulation dont la durée varie, selon le type de scénario, de 30 min à 60 min. En plus de l'anesthésiste-sujet confronté à la situation incidentelle, deux autres personnes (un anesthésiste aspirant et un anesthésiste senior) participent à la mise en scène. Ils jouent les rôles de l'infirmière, du chirurgien ou de l'anesthésiste appellable en cas de besoin. La séance est enregistrée sur vidéo.
- un debriefing au cours duquel le film est projeté aux participants (anesthésistes aspirants et seniors, psychologue) qui discutent de la séance et partagent leur expertise (durée approximative 40 min)

3.4.2.3. Protocole d'étude

Quarante huit anesthésistes en formation ont participé à l'étude : douze sujets (6 débutants (2ème et de 3ème année de formation) et 6 plus expérimentés (4ème et 5ème année)) par situation incidentelle.

Quatre scénarios d'incident ont été choisis en collaboration avec deux anesthésistes experts pour leur degré de complexité et leur vitesse différente.

- Scénario 1 - problème à l'intubation (intubation sélective, inhalation) et troubles du rythme à l'ECG. Les troubles du rythme sont programmés dès le début de la simulation pour perturber la séquence planifiée d'intubation largement automatisée afin d'observer les priorités d'action et l'ajustement des plans des sujets plus ou moins expérimentés.
- Scénario 2 - ischémie myocardique : sous-décalage du segment ST à l'ECG conduisant à une fibrillation ventriculaire. L'anticipation du problème chez les patients à risque apparaît comme une étape déterminante qui peut favoriser la détection précoce et le diagnostic grâce à la mise en place de monitorages spécifiques.
- Scénario 3 - choc anaphylactique : réactions allergiques à certains agents médicamenteux utilisés par l'anesthésiste. Le diagnostic est difficile car les manifestations mineures (prurit, rougeurs, urticaires) peuvent passer inaperçues jusqu'à ce que les signes tardifs n'apparaissent : hypotension, bronchospasme, détresse respiratoire avec collapsus cardiovasculaire.
- Scénario 4 - hyperthermie maligne : crise hypermétabolique fulminante déclenchée par l'administration de drogues anesthésiques. La symptomatologie est perverse: l'augmentation accrue de CO₂ précède l'augmentation de la température qui caractérise l'incident. La tachycardie est rarement rattachée dans un premier temps à cette étiologie.
- Scénario 5 - la tamponnade cardiaque : présence de liquide (souvent du sang) dans le péricarde qui compromet le remplissage et la vidange du coeur. Il s'agit d'un événement très rare. Une pression veineuse centrale (PVC) élevée est évocatrice d'une tamponnade cardiaque.

Le tableau ci-dessous reprend les différentes dimensions qui ont servis à caractériser la complexité des scénarios.

Les scénarios 1 et 2 sont familiers des anesthésistes. Ils sont fréquents en salle d'opération et leur apprentissage relève de la première année de formation. Néanmoins, ils combinent deux problèmes et leur évolution est rapide.

Les scénarios 3 et 4 sont des accidents plus rares et donc moins familiers des anesthésistes. Leur évolution est exponentielle: les effets augmentent en amplitude au fur et à mesure de l'évolution de l'incident. L'anesthésiste doit décider dans quelles conditions il est utile d'investir du temps et de l'attention dans la compréhension du problème, dans son évaluation en termes d'évolution et de conséquences pour le patient ou dans le traitement des premiers signes par des actions initiales.

Scénarios	Fréquence	Évolution	Traitement spécifique	Monitorages spécifiques
1	fréquent	rapide	Action	
2	fréquent	progressive	drogue	X
3	courant	fulgurante	drogue	
4	très rare	exponentielle	drogue	X
5	très rare	exponentielle	action	X

Tab. 12 - Récapitulatif de la complexité des scénarios

3.4.2.4. Collecte et analyse des données

Les données ont été récoltées au cours des étapes suivantes:

- 1) observation systématique des séances de simulation en reportant les actions et les demandes d'information des anesthésistes au cours des trois phases de briefing, de simulation et de debriefing,

- 2) enregistrement vidéo de la simulation. Un matériel professionnel d'enregistrement d'images et de son a été installé pour obtenir des informations sur la dynamique du processus d'interaction entre le sujet et le scénario afin de voir comment le scénario facilite le diagnostic de la situation. Un tel dispositif visait à identifier les indicateurs utilisés par les sujets et les actions entreprises (timing et nature).
- 3) autoconfrontation aux enregistrements vidéo. Au cours du debriefing, il a été demandé aux sujets de commenter librement leur propre comportement en présence des participants (anesthésistes aspirants et senior, psychologue). Des questions ont été posées pour mieux rendre compte des dynamiques qui articulent représentations et actions. L'anesthésiste instructeur était chargé de faire une critique constructive de la conduite. L'ensemble des commentaires a été retranscrit par écrit.

Les enregistrements ont été visionnés. Les comportements, les verbalisations des sujets, et leur timing ont d'abord été retranscrits sur une grille d'observation puis encodés en utilisant le logiciel informatique MacSHAPA mis au point par P. M Sanderson (1993) qui permet une présentation séquentielle des comportements.

3.4.3. Résultats

L'ensemble des résultats est présenté dans la thèse de doctorat d'A.S. Nyssen (U.Lg). Ils ont fait l'objet d'un article pour la revue le Travail Humain. Dans la partie suivante, nous présentons les principaux résultats.

3.4.3.1. Précision et délais de diagnostic

Le tableau 13 reprend les délais de diagnostic avec la mise en place du traitement de choix pour les différents scénarios dans les deux groupes : novices et plus expérimentés. Rappelons que les sujets diffèrent d'un scénario à l'autre.

Scénarios	N1	N2	N3	N4	N5	N6	E1	E2	E3	E4	E5	E6
1	2	2.5	2	5	11.5	1.10	1.43	4	1.8	0.15	1.3	---
2	7.47	---	2.9	0.3	7	---	1.49	6	3.17	1.47	0.30	2
3	---	---	---	---	---	1	16	13	6	5	7	7
4	4.3	---	---	---	---	---	4.05	5.59	5.15	5.15	6.57	---
5	---	---	15	---	---	---	10	10	20	---	---	---

Tab 13 - Délais de diagnostic avec mise en place du traitement de choix

L'analyse du tableau fait apparaître que les scénarios 1 et 2 sont plus simples à identifier pour les anesthésistes débutants que les scénario 3, 4 et 5.

Les analyses statistiques réalisées, à savoir les tests de Kaplan-Meier et le modèle de Cox (Cox & Oakes, 1994), confirment et précisent ce résultat.

La courbe de Kaplan-Meier de la figure 7 montre que les sujets plus expérimentés prennent moins de temps que les novices pour diagnostiquer et traiter les situations problèmes, quel que soit leur degré de complexité.

La figure 8 montre que les délais de détection, tous groupes confondus, suivent le degré de complexité des situations problèmes simulées.

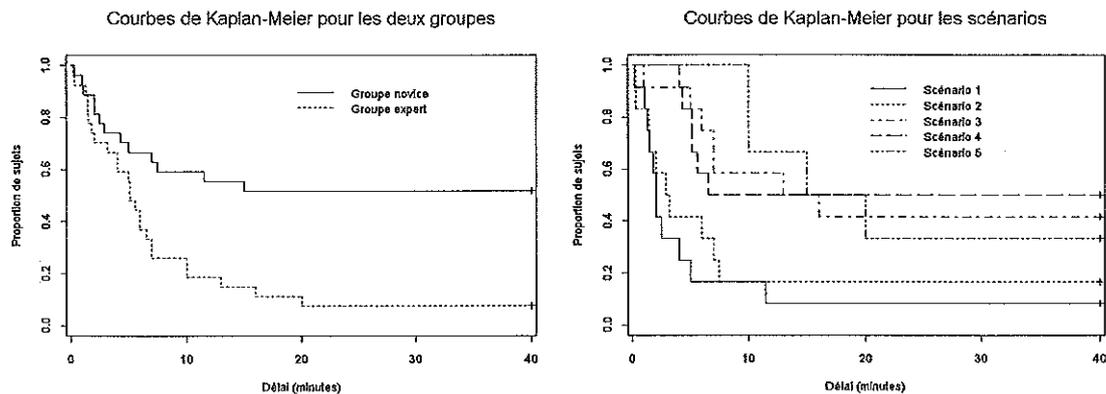


Fig. 7 et 8 - Courbes de Kaplan-Meier pour les deux groupes et pour les scénarios

Le modèle de Cox construit (Fig. 9) fait apparaître que la performance des sujets est à la fois fonction du niveau d'apprentissage N/E et du degré de complexité du scénario.

Modèle de Cox pour le groupe et le scénario

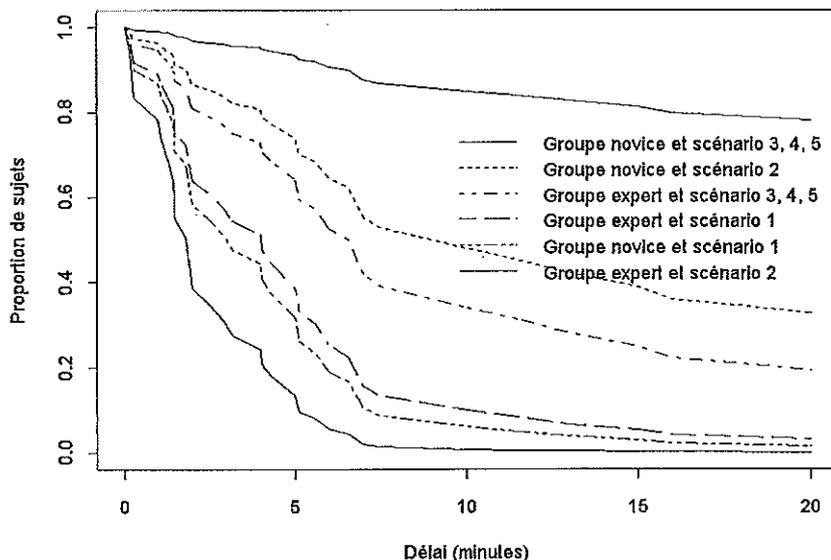


Fig. 9 - Modèle de Cox pour les groupes et les scénarios

3.4.3.2. Ventilation des activités

Le tableau 14 présente la fréquence des activités observées dans les groupes novices et plus expérimentés (N/E), tous sujets confondus, dans les quatre scénarios (Sc). Chaque scénario impliquant une activité de récupération spécifique, il faut lire et comparer les données N/E pour un même scénario ou pour l'ensemble des scénarios confondus (Σ).

Le test statistique utilisé est le test de Pearson χ^2 pour comparer la ventilation des comportements en fonction des groupes N/E.

Type des comportements	GROUPE N						GROUPE E					
	Sc1	Sc2	Sc3	Sc4	Sc5	Σ	Sc1	Sc2	Sc3	Sc4	Sc5	Σ
<u>Actions de régulation</u>	<u>74</u>	<u>49</u>	<u>82</u>	<u>52</u>	<u>57</u>	<u>314</u>	<u>55</u>	<u>71</u>	<u>90</u>	<u>85</u>	<u>50</u>	<u>351</u>
drogues et perfusions	43	37	58	34	42	214	37	55	63	45	36	236
airway et ventilation patient	19	8	13	8	4	52	10	8	6	17	3	44
monitoring	3	2	10	2	6	23	4	3	14	2	3	26
	8	3	7	8	5	31	4	5	8	11	8	36
<u>Évaluations</u>	<u>50</u>	<u>32</u>	<u>41</u>	<u>18</u>	<u>20</u>	<u>161</u>	<u>49</u>	<u>32</u>	<u>30</u>	<u>25</u>	<u>33</u>	<u>169</u>
observation d'un signe isolé	12	6	13	6	7	44	18	1	7	4	13	43
mise en relation de signes	4	4	5	4	1	18	2	1	2	2	3	10
synthèse des actions	1	3	4	1	1	10	9	4	3	2	4	22
génération d'hypothèses	23	6	12	7	6	54	4	7	2	9	6	28
planification	6	4	1	-	3	14	10	12	10	1	2	35
observation de l'effet	4	7	5	-	2	18	6	7	6	5	6	30
<u>Demandes d'information</u>	<u>12</u>	<u>8</u>	<u>6</u>	<u>13</u>	<u>8</u>	<u>47</u>	<u>12</u>	<u>6</u>	<u>10</u>	<u>17</u>	<u>8</u>	<u>53</u>
chirurgie	8	4	4	3	6	25	7	3	3	5	4	22
patient	2	1	1	5	1	10	2	-	2	11	1	16
appel d'aide	2	2	-	5	1	10	3	3	4	1	1	12
<u>Actions à visée diagnostique</u>	<u>12</u>	<u>6</u>	<u>8</u>	<u>17</u>	<u>2</u>	<u>45</u>	<u>16</u>	<u>2</u>	<u>12</u>	<u>14</u>	<u>6</u>	<u>50</u>
ventilation/ airway	11	4	6	15	2	38	13	2	11	8	3	37
monitorage	-	2	2	2	-	6	3	-	1	6	3	13

Tab. 14 - Relevé des activités des groupes N et E, tous sujets confondus, dans les cinq scénarios

L'analyse du tableau montre que les actions de régulation sont plus nombreuses dans le groupe E que dans le groupe N ($p < 0.0087$). Les sujets du groupe E utilisent davantage de drogues, en particulier dans les scénarios 2, 3, et 4. Ce résultat doit être relié à la mise en place du traitement de choix qui se caractérise, dans ces trois scénarios, par l'administration de moyens médicamenteux spécifiques.

En ce qui concerne les évaluations, il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes. Néanmoins, la ventilation des actions au sein des catégories est différente. Les sujets débutants émettent plus d'hypothèses que les sujets plus expérimentés ($p < 0.0073$). Les scénarios 1 et 3 sont particulièrement démonstratifs de cette tendance. Il faut indiquer ici que les hypothèses comptabilisées ne concernent pas seulement les hypothèses verbalisées par les sujets lors des simulations. En effet, plusieurs études ont signalé la différence dans les verbalisations entre expert et novice (Brinkman, 1990). Les explications sollicitées lors des debriefing nous ont permis de surmonter ce biais et d'inférer les hypothèses non verbalisées sous-jacentes à l'action des anesthésistes plus expérimentés.

On observe aussi les fréquences plus élevées des comportements de planification (ex. préparation du défibrillateur, préparation des drogues, etc.) et des observations de l'effet de traitement chez les sujets plus expérimentés, mais les différences ne sont pas significatives.

3.4.4. Apports de l'étude dans le cadre d'une méthodologie d'évaluation

L'intérêt de l'étude sur simulateur est l'approfondissement de nos connaissances sur l'activité psychologique de l'anesthésiste en situation d'incident afin d'évaluer, sinon de prédire, le caractère inadapté des systèmes techniques. La "clumsy automation", comme nous l'avons dit plus haut, facilite le travail de l'utilisateur quand tout se passe bien, c'est-à-dire quand tout est conforme aux attentes du concepteur - mais renforce en revanche la difficulté de l'opérateur en cas d'incident.

Quels sont les facteurs qui rendent une situation problème difficile à traiter? Qu'est ce qui caractérise la performance, c'est-à-dire le succès dans la gestion de l'incident? La comparaison des démarches des anesthésistes, en fonction de leur expérience, dans la

gestion de 5 situations problèmes plus ou moins complexes nous permet d'apporter certains éléments de réponses.

Les résultats ont aussi des implications importantes en matière de conception et de formation. Elles nous renseignent à la fois sur la nature des habiletés requises dans la tâche, et sur les capacités de résolution de problème et la capacité d'apprentissage à un moment de formation donné. Autrement dit, elles traitent à la fois du contenu de la formation - élicitation de l'expertise et des méthodes de formation et peuvent orienter le choix des aides technologiques à apporter.

Dans la partie suivante, nous discuterons principalement de deux résultats et de leur implication tant pour la conception que pour l'évaluation des systèmes techniques homme-machine.

Support à l'activité de diagnostic

Les résultats de l'étude montrent que la majorité des novices diagnostiquent les situations problèmes 1 et 2 mais ne parviennent pas à identifier les problèmes 3 et 4 et 5 alors que les anesthésistes plus experts bien. Ce résultat soulève naturellement la question des facteurs qui rendent ces trois scénarios plus difficiles aux novices. Le fait d'avoir rencontré le problème n'apparaît pas comme une dimension déterminante du succès puisque aucun des sujets plus experts n'a vécu les situations 3, 4 et 5 dans leur pratique quotidienne. D'autre part, l'analyse des verbalisations lors des debriefing nous montre que les novices ont au moins une connaissance formelle des problèmes 3, 4 et 5, déclarative pour reprendre une distinction introduite par Anderson (1982). Ceci est compatible avec l'idée développée dans la littérature sur l'expertise selon laquelle la présence ou l'absence de connaissance de type verbal ne suffit pas pour expliquer la réussite ou l'échec de la tâche respectivement.

Il semble plus pertinent de reposer la difficulté à la fois sur les propriétés des scénarios (nombre de variables à superviser, vitesse d'évolution) et sur les compétences de l'anesthésiste. Cette perspective d'analyse fait référence au concept de 'complexité cognitive' introduit précédemment (§ 2.3.1). Feltovich, dans ses travaux sur les concepts biomédicaux, conçoit la complexité d'un concept dans le caractère inhabituel des demandes qu'il crée sur le fonctionnement cognitif. Cette conception a l'avantage de dépasser une définition purement informatique du concept de complexité que l'on retrouve souvent dans les méthodologie basée sur la théorie de la complexité. Selon cet auteur, les demandes inhabituelles peuvent s'exercer sur la mémoire de travail, sur la représentation du problème, par rapport aux connaissances premières dont dispose l'individu ou par rapport à la notion de régularité.

Dans cette perspective d'analyse, les scénarios 1 et 2 impliquent l'observation d'une seule source de variation : l'ECG. La mémoire de travail est peu sollicitée. De plus, la surveillance de l'ECG fait partie des protocoles comportementaux standards utilisés de façon routinière par les novices. Dans les scénarios 3, 4 et 5 le diagnostic exige l'observation et la mise en relation de plusieurs sources d'informations dont certaines varient progressivement. La gestion du scénario nécessite des connaissances de nature causale et temporelle qui sont incomplètes ou erronées chez les novices d'après les verbalisations obtenues au cours du debriefing.

Comment la technologie peut-elle aider l'activité de diagnostic?

Dans des domaines comme l'aviation ou l'industrie, les concepteurs ont mis à la disposition des opérateurs des systèmes de représentations causaux reliant les variables du processus pour aider l'opérateur à justifier ou à découvrir des stratégies d'action ou des diagnostics, dans des situations de résolution de problème. Il est clair que les connaissances de nature causale ne sont pas toutes disponibles en médecine. Néanmoins, certaines représentations existent. Feltovitch et al. (1989) ont souvent utilisé les graphes d'influence pour modéliser les connaissances causales, obtenues des médecins par diverses techniques de verbalisation. Ce type de formalisation a de nombreuses limites : les relations entre variables sont réunies en graphe par le chercheur et rarement par le médecin dans ces verbalisations, la validité des relations causales est très dépendante du

contexte. On peut cependant penser que de tels systèmes de représentation causaux amélioreraient les activités de compréhension des phénomènes comme cela a été démontré dans d'autres domaines (Samurçay, 1995).

En ce qui concerne la représentation du temps, nos observations des stratégies de surveillance des anesthésistes montrent qu'ils travaillent plus sur des empan temporels que sur des valeurs instantanées. Certains concepteurs proposent déjà dans ce sens des courbes de tendances sur les monitoring.

Cette analyse insiste sur l'importance d'évaluer l'outil comme support de la performance non seulement dans les situations normales mais aussi dans les situations de crise. On constate que l'activité de diagnostic joue un rôle central dans la gestion des crises complexes. Peu de systèmes techniques supportent cette activité dans les salles d'opération. Certains systèmes experts sont disponibles mais ne sont pas utilisés par les anesthésistes dans leur pratique quotidienne. Ceci tient au fait que leur fonctionnement s'éloigne assez bien du fonctionnement de l'anesthésiste. L'étude réalisée permet de progresser vers la construction d'un modèle de résolution de problème de l'anesthésiste utile pour la conception et pour l'évaluation des nouveaux outils comme support à la performance.

Support aux activités d'anticipation et de planification

Pour les scénarios identifiés dans les deux groupes, le délai de diagnostic est en général plus court chez les anesthésistes plus experts.

On peut relier de manière intuitive cette diminution du temps de diagnostic à l'effet d'attente et aux capacités d'anticipation souvent mises en avant dans la littérature sur l'expertise (Iosif & Vochita, 1992; Xiao, 1994). L'anticipation, en constituant une forme de préparation attentionnelle, se caractérise par l'activation préalable à la perception ou à l'action d'une représentation cognitive présente en mémoire à long terme (Camus, 1996). Elle va faciliter les opérations ultérieures de traitement (perception, décision et réalisation de la réponse).

Les résultats relatifs au scénario 2 montrent que, comme les plus experts, les novices sont capables d'anticiper le problème à partir de l'anamnèse du patient, lors du briefing. Par contre, cette mobilisation anticipée n'oriente pas chez eux l'attention vers le problème en cours de réalisation mais bien chez les experts.

Par conséquent, la différence de performance entre les deux groupes ne s'analyse pas en terme de capacité d'anticipation mais plutôt dans le cadre d'une gestion limitée des ressources attentionnelles. Tout se passe comme si la tâche en cours de réalisation mobilisait chez les novices l'ensemble des ressources attentionnelles. La priorité de traitement est donnée au plan principal. La variation de l'ECG est bien perçue de manière auditive mais traitée successivement au niveau central et décisionnel, ce qui allonge les temps de diagnostic et de réponse. En revanche, l'automatisation du plan principal acquise avec la pratique permet aux experts un traitement attentionnel en parallèle : attention soutenue sur l'information critique attendue avec priorité de traitement.

Cette analyse démontre la nécessité d'inscrire l'évaluation d'une situation coopérative homme-machine dans le cadre d'une hiérarchie des niveaux de contrôle de l'activité (voir modèle de Rasmussen, §33.1). L'ergonome doit veiller à ce que les systèmes homme-machine maintiennent et même favorisent cette capacité de multiprocesseur qu'a l'opérateur humain.

Or, il faut constater que les systèmes automatiques ont tendance à prendre à leur charge les tâches facilement automatisables par l'opérateur (peu coûteuses du point de vue mental) et à laisser à l'homme les activités de haut niveau. Par ailleurs, certains systèmes techniques, nous avons dit précédemment, ont enlevé de l'environnement de travail de l'opérateur certains types d'information de nature sensorielle par exemple, facilement utilisables en mode parallèle.

Nos résultats insistent aussi sur l'importance de la régulation dynamique de la charge de travail entre ces trois niveaux. En anesthésie comme dans d'autres situations

dynamiques, les périodes calmes et critiques du point de vue de la charge de travail s'alternent. L'évaluateur doit analyser l'impact du nouvel outil dans le cadre de cette régulation dynamique. Néanmoins, il faudra faire attention dans l'évaluation à distinguer les effets à court, moyen et long terme. Une évaluation réalisée directement après l'implantation d'un nouvel outil peut mettre en évidence une régression de l'expert à des étapes antérieures à sa formation (Hoc, op. cit) qui disparaîtra après une période d'adaptation.

Cette problématique fait l'objet de recherche de l'étude annexe de ce programme que nous présentons dans la partie suivante.

3.5. MIEUX COMPRENDRE L'IMPACT, À MOYEN TERME, DES INNOVATIONS SUR LES STRATÉGIES DES UTILISATEURS, SUR LEURS CONNAISSANCES ET LEURS RAISONNEMENTS. ÉTUDE ANNEXE

3.5.1. Introduction

La méthodologie construite lors de l'étude préalable évaluait le nouveau système technique directement après son implantation dans le milieu du travail. Ce type de mesure, comme on vient de le dire plus haut, induit certains biais. Un nouveau dispositif peut améliorer la conduite parce qu'il est associé avec les habitudes opératoires précédentes et avec une certaine méfiance des opérateurs à son égard. Mais contribuant à transformer ces habitudes opératoires et à éliminer la méfiance à son égard, le même dispositif peut aboutir à moyen et à long terme à une dégradation de la conduite. Certains auteurs recommandent d'évaluer le nouvel outil après la phase de familiarisation de l'opérateur avec ce système (une fois disparus les dysfonctionnements dus au manque de familiarisation). Néanmoins, ces dysfonctionnements représentent une information intéressante pour analyser comment l'opérateur humain adapte ses stratégies de travail à l'innovation et quelles sont les limites de ces stratégies d'adaptation. L'étude permet aussi à l'évaluateur de prédire les problèmes d'interaction que l'on risque de rencontrer dans un autre environnement au moment de l'implantation du système et de mettre en place certaines mesures de prévention (formation, modifications techniques, etc.).

L'objectif de l'étude annexe de ce programme vise à mieux comprendre l'impact à court, moyen et long terme des innovations sur les stratégies des utilisateurs.

De nombreuses difficultés ont été rencontrées pour atteindre cet objectif. Elles sont liées aux possibilités d'implantation des nouveaux outils au sein des services hospitaliers et à l'organisation même des hôpitaux universitaires. Les étudiants en formation devant effectuer des stages dans différentes institutions et dans différents services chirurgicaux, leur passage dans un service est de courte durée (autour de quatre mois) et ne permet pas leur suivi à moyen et à long terme.

Une négociation a été entreprise par R. Larbuisson, anesthésiste-réanimateur senior du CHU de Liège avec la firme Zeneca qui devait introduire en Belgique un nouveau système de perfusion assistée par ordinateur, le Diprifusor, durant l'année 1999. Un accord a été pris pour disposer de 3 prototypes ainsi que des seringues de Diprivan nécessaires à leur utilisation dès 1998 (avant la diffusion du système en Belgique) de manière à pouvoir réaliser cette étude dans le calendrier de ce projet.

L'étude annexe s'est déroulée en trois phases. La première phase a été dévolue à une analyse de la situation d'interaction en terme de boucle de contrôle conformément aux résultats de des études précédentes qui montre l'importance d'analyser l'outil dans un cadre de hiérarchie de contrôle et de répartition dynamique de la charge de travail. La deuxième phase a consisté à observer les situations d'interaction et à recueillir les problèmes posés par l'implantation du nouveau système sur un axe longitudinal : 1er jour

d'implantation et un mois après la période de familiarisation. Une évaluation à plus long terme n'était pas envisageable dans le cadre du calendrier de ce programme mais est envisagée. La troisième phase a consisté à soumettre un questionnaire d'évaluation du logiciel aux utilisateurs après un mois d'utilisation.

3.5.2. Analyse de la situation d'interaction homme-machine

La figure 10 illustre les différentes boucles de contrôle à envisager dans la situation d'interaction homme-machine d'anesthésie. On constate que l'implantation du Diprifusor introduit trois boucles de contrôle supplémentaires.

Sans système automatisé :

L'anesthésiste administre directement les drogues au patient et en contrôle l'effet via les monitoring et l'observation du patient (BOUCLE 4 sur la figure 10).

Avec système automatisé, plus ou moins autonome :

L'anesthésiste programme son intention d'action au système et contrôle ses actions : BOUCLE 1;

L'anesthésiste contrôle l'effet de son action sur le système (ou l'effet de l'action du système) sur le patient via les monitoring et l'observation du patient : BOUCLE 3.

Dans le cas d'un système autonome (à l'étude aujourd'hui), il agit directement sur le patient, sans intervention humaine, en fonction de certains indices captés sur le patient (par ex. pressions) : BOUCLE 2;

Dans le cadre d'une approche globale de la situation de travail, l'évaluation doit aussi analyser l'impact du système sur les interactions anesthésiste - membres de l'équipe opératoire: ECHANGES D'INFORMATIONS 5.

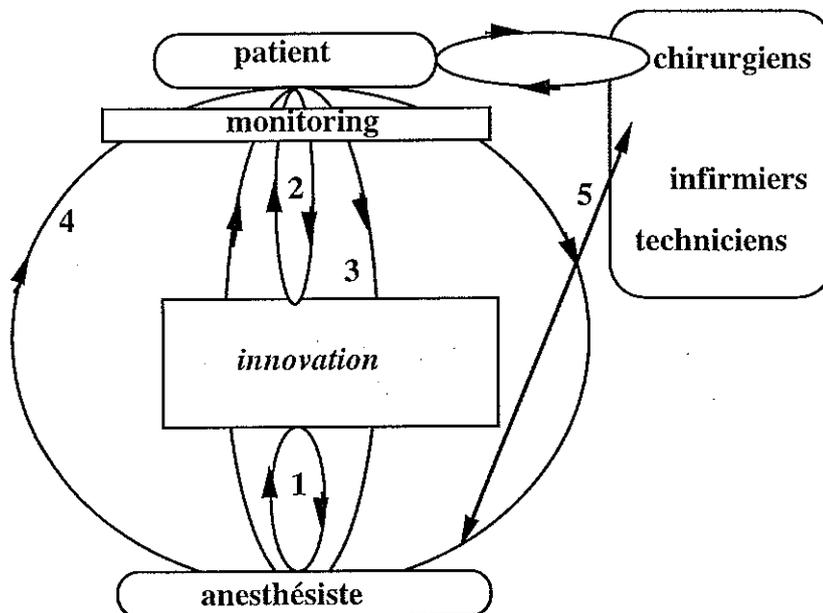


Fig. 10 - Représentation schématique des boucles de contrôle

3.5.3. Observation des situations d'interaction et recueil des problèmes d'interaction

Les observations des situations d'interaction se sont déroulées de février 98 à juin 1998 dans trois salles d'opérations de chirurgie cardiaque du CHU. Au total, 24 anesthésies ont été observées et deux groupes d'anesthésistes (plus ou moins expérimentés) compte tenu de la tournante des stages de formation tous les trois mois.

3.5.3.1. Avant implémentation (6 anesthésies observées/ 4 anesthésistes)

Les anesthésistes observés en chirurgie cardiaque avant l'introduction du nouveau système utilisent différents protocoles anesthésiques : valium et sufenta, propofol et vapeur etc. La dose du médicament est calculée en mg/kg/h et convertie en débit (ml/h). L'Arkive, logiciel utilisé pour la feuille d'anesthésie, permet la conversion d'une mesure à une autre. L'administration des anesthésiques intraveineux se fait grâce à une seringue, soit en bolus itératifs, soit en perfusion continue. L'anesthésiste programme le débit souhaité. Différents systèmes de pousse-seringue correspondant à des générations différentes d'appareil se juxtaposent.

3.5.3.2. Juste après l'implantation (7 anesthésies / 7 anesthésistes)

Par rapport à nos observations précédentes, l'implantation du système modifie les stratégies des anesthésistes en créant notamment de nouvelles demandes.

Nouveau raisonnement

Les nouveaux systèmes de perfusion pilotée par ordinateur demandent aux anesthésistes de modifier leur raisonnement, ils ne parlent plus en doses (mg/kg/h) mais en concentration plasmatiques à atteindre. L'anesthésiste indique la concentration plasmatique souhaitée et l'ordinateur relié au système de perfusion calcule en continu le débit de perfusion pour atteindre la valeur cible.

Nouvelles connaissances fonctionnelles

Nous avons observé plusieurs problèmes relatifs au changement dans l'environnement de travail qu'implique l'installation du nouveau système par rapport au patient. L'anesthésiste avait l'habitude de placer les pousse-seringue classiques assez loin du patient pour faciliter l'accès au patient et gêner le moins possible le travail du chirurgien. Le nouveau système requiert que la ligne du pousse seringue soit placée le plus près possible du patient de manière à réduire l'espace mort et par conséquent l'impact de toute variation de débit de perfusion dans la ligne. Dans plusieurs interventions, le chirurgien s'est vu gêné par ce nouveau système et a demandé de reculer la potence portant le Diprifusor.

Le système de perfusion Diprifusor est limité au propofol. Il requiert l'utilisation de seringues préremplies de propofol étiquetées "Diprivan" munies d'un système de reconnaissance électronique.

Plusieurs problèmes liés à l'enclenchement des seringues ont été observés. Une infirmière qui avait l'habitude de préparer les seringues des agents intraveineux dans les pousse-seringues, a placé une seringue d'un autre agent anesthésique dans le nouveau système. Le système n'a pas reconnu la seringue et un message d'erreur a signalé le problème.

En cours d'intervention, un anesthésiste voulant remplacer la seringue vide, a mal installé la nouvelle seringue dans le système d'enclenchement. Après plusieurs secondes d'essai, le système s'est mis en mode manuel; l'anesthésiste a confirmé le mode manuel. Impossible de revenir au mode target par la suite.

Nouvelles tâches sensori-motrices

L'anesthésiste doit programmer le logiciel (âge, poids, identification du patient, concentration plasmatique cible) avant l'utilisation du nouveau dispositif. C'est précisément en début d'intervention, là où le nombre d'actions (installation du patient, vérification et installation du matériel) est déjà élevé que le système exige des tâches supplémentaires.

Par ailleurs, le nombre de systèmes à notre disposition étant limité à 3 salles d'opération de chirurgie cardiaque, l'anesthésiste est obligé d'échanger la seringue spécifique contre une seringue classique de propofol avant de conduire le patient au réveil.

Nouvelles tâches de planification

Les durées d'action et demi-vie du propofol utilisé dans le nouveau protocole d'anesthésie exigent de la part de l'anesthésiste de prévoir une analgésie post opératoire. La durée de vie plus longue du valium l'en dispensait. Ici encore, c'est à un moment critique pour l'anesthésiste, le réveil, que l'utilisation du système augmente la charge de travail cognitive pour l'anesthésiste.

Allocation d'attention modifiée

Du point de vue de la prise d'information, l'utilisation du système, en particulier du propofol (drogue à effet hypotenseur) comme agent d'induction induit une attention plus soutenue des anesthésistes sur les pressions artérielles du patient; l'anesthésiste se méfie du nouveau protocole anesthésique utilisé (surdosage éventuel avec chute des pressions chez les patients).

Interaction avec le travail des chirurgiens

Plusieurs chirurgiens ont attribué au nouveau protocole d'anesthésie certains effets secondaires observés chez le patient, en particulier, une augmentation des saignements per et postopératoires.

3.5.3.3. Un mois d'utilisation (11 anesthésies observées / 4 anesthésistes)

Après la phase de familiarisation avec le nouveau système, les problèmes d'enclenchement des seringues et d'installation du nouvel outil par rapport au patient ont disparu.

Pour valider le système, l'anesthésiste expert responsable en chirurgie cardiaque a utilisé en parallèle un électroencéphalogramme avec analyse bispectrale pendant la première semaine qui a permis de vérifier le niveau d'anesthésie du patient et d'ajuster à la baisse la concentration plasmatique utilisée pour l'induction (de 1,5 à 1). Ceci a augmenté la confiance des anesthésistes par rapport au nouvel outil.

Le protocole d'anesthésie a été modifié à la suite des remarques des chirurgiens. Les liquides de perfusion ont été changés afin d'améliorer les conditions chirurgicales et de diminuer les effets secondaires. Les lignes du pousse-seringues ont été rapprochées du patient comme le recommandait la notice d'utilisation.

Par contre, le nombre de seringues préremplies étant toujours limité, les anesthésistes ont du convertir la concentration plasmatique cible en débit de perfusion afin d'utiliser le même protocole d'anesthésie avec les anciennes seringues sur les pousse-seringues classiques.

Certains problèmes d'interaction persistent et de nouveaux sont survenus :

Déconnexion accidentelle de la ligne du pousse-seringue

Lors de nos observations, nous avons été témoin d'un problème de déconnexion accidentelle de la ligne du pousse-seringue. Comme tous les systèmes d'administration automatique des drogues, il n'est pas encore possible pour le Diprifusor de contrôler si le produit est effectivement reçu par le patient. Dans ce cas, la drogue coule dans le vide et le système ne perçoit pas la déconnexion (pas d'alarme) puisque le débit n'est pas perturbé. Si par la suite la ligne est reconnectée par l'anesthésiste, l'anesthésiste doit lui-même réajuster manuellement le dosage de la drogue puisque l'ordinateur a en mémoire les infusions passées.

Logiciel hors d'usage

Deux dispositifs ont été renvoyés à la firme. Les logiciels ne commandaient plus les pousse-seringues et le dispositif ne fonctionnait qu'en mode manuel.

Problème de synchronisation au réveil

L'utilisation du propofol comme agent anesthésique permet un réveil rapide (durée d'action et demi-vie du propofol courtes). Nous avons observé chez les anesthésistes peu expérimentés des difficultés pour synchroniser le réveil du patient à la fin de l'acte chirurgical. L'anesthésiste avait tendance à diminuer la concentration plasmatique trop tôt et l'extubation du patient se faisait dans l'empressement.

Le nouveau système indique le temps nécessaire pour passer de la concentration calculée du propofol à un instant donné à une concentration inférieure (temps de réveil) mais cette information est, dans la pratique, difficilement utilisable par les anesthésistes car plusieurs facteurs influencent la durée du réveil, notamment l'utilisation concomitante d'analgésique, la durée de la chirurgie et l'état général du patient.

Il faut remarquer que nous avons observé des difficultés de synchronisation chez les anesthésistes peu expérimentés avant l'implémentation du nouveau dispositif. Mais l'utilisation du nouveau système semble augmenter encore la complexité de par les durées courtes d'action et de demi-vie du propofol, et la facilité de la commande de variation de la concentration-cible. De plus, les résultats de l'évaluation clinique du système ont montré, lors d'une diminution de la concentration plasmatique (souhaitée/réelle), qu'il existe une diminution un peu plus importante avec une remontée et une stabilisation.

3.5.4. Questionnaire : Appréciation du logiciel par les utilisateurs

Les tableaux ci-dessous présentent une vue synthétique de l'appréciation du système par les utilisateurs. Elle repose sur les réponses des anesthésistes à un questionnaire que nous leur avons distribué un mois après l'implémentation du système.

la perception de l'état du patient	+ + -	ajustement au patient tendance à se fier au système
la planification de l'activité	+ + + + + + +	évite de réinjecter
la mémorisation des informations	+ -	
l'interprétation des données		
la capacité à agir	+ + + +	libère les mains ajustement rapide

Tab. 15 - Réponses des anesthésistes (n=9) à : "Avez-vous le sentiment que l'utilisation d'un tel système à des conséquences sur ..., " expliquez en quoi :

La majorité des anesthésistes ayant utilisé le système pendant 1 mois pensent que le Diprifusor permet une meilleure planification de l'activité durant l'intervention. Le système rencontre ici une des préoccupations mentionnées par les anesthésistes au cours

des situations problèmes recueillies sur le terrain. L'utilisation du système permet à l'anesthésiste de programmer et de choisir une concentration plasmatique donnée en début d'intervention. Un microprocesseur calcule alors la vitesse de perfusion nécessaire pour atteindre la concentration cible et ajuste automatiquement la vitesse de perfusion pour maintenir cette concentration dans le temps. L'anesthésiste ne doit plus renouveler ses injections en cours d'intervention.

Près de la moitié des anesthésistes trouve que le système augmente leur capacité d'action durant l'intervention. Le système permet une augmentation rapide du niveau d'anesthésie en effectuant des modifications du réglage de la concentration cible via une roulette. De ce point de vue, le système est plus simple que leur technique habituelle d'administration des agents IV mais comparable à celle d'un évaporateur destiné à l'administration d'agents volatils qu'ils utilisaient avant.

augmente la charge de travail	+++++	programmation ligne artérielle vigilance accrue sur pressions
diminue la charge de travail	+++	mains libres--> maintenance

Tab. 16 - Réponses des anesthésistes à la question : "Pensez-vous que l'utilisation de ce système ...?", expliquez en quoi.

La majorité des anesthésistes pensent que l'utilisation du système augmente la charge de travail. L'anesthésiste doit programmer le logiciel (âge, poids du patient, ID, concentration plasmatique, etc.) et mettre en place une ligne avec rampe. C'est précisément en début d'intervention, là où la charge de travail est déjà élevée que le système exige des activités manuelles et cognitives (attention soutenue sur les pressions) supplémentaires.

augmente la sécurité du patient	●●●●●●●●	stabilisation du modèle pharmacocinétique
modifie l'induction	●●●●●●●●	plus douce pour le patient
modifie la maintenance	●●●●●	plus facile
modifie le réveil	●●●●●●●	plus rapide

Tab. 17 - Effets du système sur la conduite d'une anesthésie

L'ensemble des anesthésistes pensent que le système augmente la sécurité du patient mais en modifiant la conduite d'une anesthésie. Les anesthésistes reconnaissent au système l'avantage d'une induction plus douce et d'installation rapide chez le patient. Le réveil est aussi plus rapide mais nos observations sur le terrain nous ont permis de discuter de ce dernier point sous un autre point de vue.

3.5.5. Apport de l'étude dans le cadre d'une méthodologie d'évaluation

Les résultats de l'étude annexe démontrent avant tout l'intérêt d'une évaluation à mesures répétées.

L'observation et l'analyse de l'activité avant l'implantation procurent à l'évaluateur les données au regard desquelles l'impact du nouveau système sur le travail sera évalué.

L'observation des dysfonctionnements juste après son implantation permet à l'évaluateur une meilleure analyse des nouvelles demandes que crée le nouveau système sur les stratégies des utilisateurs.

L'évaluation à moyen et plus long terme est nécessaire pour analyser comment l'opérateur s'est adapté au système, avec quelles limites, quel support procure le nouveau système à la performance et quels sont les nouveaux dysfonctionnements survenus.

L'étude démontre aussi l'intérêt de confronter les données provenant de multiples sources et d'intégrer une analyse de l'impact de l'outil par rapport à l'ensemble des dimensions constitutives de la situation de travail, y compris la dimension collective, clinique (dans le cas du domaine de la santé) et économique.

A un premier niveau, les utilisateurs sont satisfaits du système; ils invoquent sa facilité d'utilisation et ses bénéfices cliniques pour le patient (stabilité de l'anesthésie, diminution des effets secondaires pour le patient) et économique pour l'hôpital (augmentation du turn-over, diminution du temps en salle de réveil). Nos observations confirment que le système est rapidement adopté par les utilisateurs.

A un deuxième niveau, l'analyse approfondie des situations d'interaction montre que le système induit des changements dans les stratégies des anesthésistes avec comme corollaire de nouveaux risques d'erreur : passage d'un mode automatique à un mode manuel, perte d'expertise dans le calcul des doses, augmentation de la charge de travail à l'induction, période déjà critique pour l'anesthésiste, omission de la planification de l'analgésie postopératoire et complexité accrue de la synchronisation du réveil.

3.6. CADRE MÉTHODOLOGIQUE POUR L'ÉVALUATION DES INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES

3.6.1. Introduction

Notre proposition méthodologique s'appuie sur les réflexions théoriques présentées au chapitre 1, mais est également le fruit des études que nous avons réalisées dans le cadre de ce programme. Si l'on admet qu'un système technique vise à améliorer la performance des systèmes, le thème de support à l'activité de l'opérateur humain apparaît central. Le recueil et l'analyse des erreurs sur le terrain et l'étude sur simulateur ont montré qu'une condition importante à la spécification d'une aide au travail est l'analyse approfondie de l'activité, y compris de l'activité cognitive mise en jeu pour atteindre l'objectif associé à une tâche. Si une aide est efficace, c'est parce que l'analyse qui la sous-tend est valide (Hoc, op cit.). Les études que nous avons réalisées ont permis d'arriver à la construction d'un modèle des activités cognitives de l'opérateur humain dans les situations de travail modernes et d'en dériver des critères d'évaluation ainsi que des méthodes d'analyse.

La méthodologie construite lors de la préétude ne comprenait pas d'indicateurs de performance qui puissent témoigner d'une influence du nouveau système sur le fonctionnement cognitif de l'opérateur, et c'est surtout l'appréciation subjective des critères par les utilisateurs qui avait prévalu. Les différentes études réalisées ont montré l'intérêt de mener et de confronter différentes sources de données (questionnaire, expérimentation mais aussi observation des situations d'interaction) pour pallier les biais associés à chaque technique prise isolément. Elles ont aussi montré la nécessité d'élargir l'approche essentiellement technique de la méthodologie première par l'analyse des différentes dimensions corrélées de près ou de loin à l'introduction de l'innovation dans la situation de travail (cognitive, organisationnelle, technique, clinique, économique, etc.)

L'étude annexe a démontré l'intérêt d'intégrer un axe longitudinal dans l'évaluation pour analyser les effets à court, moyen et long terme des innovations sur l'activité des utilisateurs et mieux comprendre les stratégies d'adaptation de l'opérateur humain et leurs limites. Cet axe longitudinal, avons nous vu, n'est pas prôné par tous les chercheurs. Néanmoins, les résultats de l'étude annexe apportent des informations utiles du point de vue de la conception, de l'évaluation mais aussi de la prévention des erreurs dans le cas d'une diffusion du logiciel.

Dans le cadre de ces études, nous avons eu recours à des concepts de nombreuses disciplines des sciences exactes et humaines (informatique, science de l'ingénieur, ergonomie cognitive, approche organisationnelle). La nécessité de cette approche pluridisciplinaire dans l'évaluation des technologies est renforcée par la diversité des

points de vue et des intérêts en jeu. L'évaluation est souvent le siège de tensions intenses. Chacun des protagonistes (décideurs, industriels, groupe de pression) cherche à faire prévaloir son point de vue. Une des grandes difficultés de l'évaluation tient au fait de cette multiplicité des acteurs concernés.

Pour augmenter la validité de la méthodologie que nous proposons, plusieurs solutions ont été adoptées : l'adoption d'une démarche s'appuyant sur une analyse préalable systémique de la situation de travail, la participation des utilisateurs au processus d'évaluation, le recours à des experts ayant acquis une connaissance approfondie de la situation de travail et des innovations, la collaboration des concepteurs dans le processus d'évaluation, et l'utilisation d'outils méthodologiques variés.

Nous verrons que la méthodologie développée dans la partie suivante repose essentiellement sur l'observation des situations d'interaction homme-machine et sur l'appréciation du nouvel outil par les utilisateurs. La décomposition (statique) fonctionnelle du logiciel réalisée par l'évaluateur et l'appréciation des différentes fonctions par les utilisateurs est réduite par rapport à la méthodologie première. Ceci se justifie par le type de système technique (Diprifusor - interface simple) sur laquelle porte l'évaluation que nous avons réalisée pour illustrer la méthodologie proposée. Lorsqu'on a affaire à des interfaces plus complexes, comme pour les cas du monitoring et de Mina, il est utile de pénétrer davantage dans la logique informatique du système technique et de voir comment les utilisateurs la perçoivent. Cette approche illustrée dans le § 3.2.2, à l'avantage d'être quantitative si l'on dispose d'un assez large échantillon d'utilisateurs pour évaluer le logiciel. La traduction des observations des situations d'interaction en données chiffrables est beaucoup plus difficile. Néanmoins, la fréquence d'occurrence des problèmes d'interaction observés et l'analyse de leur conséquence sur la performance du système procurent des données précieuses pour l'évaluateur, pour le concepteur et pour les utilisateurs dans une perspective de prévention des dysfonctionnements.

3.6.2. Une méthodologie structurée d'évaluation

La méthodologie que nous proposons s'articule en 4 étapes :

- 1) la première étape consiste à déterminer quels sont les acteurs concernés par cette innovation : ce sont toutes les personnes dont le travail ou l'activité peuvent être modifiés par l'introduction de cette innovation.
- 2) la deuxième étape est dévolue à l'analyse de l'activité (objectifs, conditions de réalisation, procédures, opérations et activités cognitives mises en jeu pour atteindre les objectifs. Ces objectifs sont généralement analysés de façon hiérarchique (décomposition des objectifs du plus haut niveau en sous-objectifs jusqu'aux moyens utilisés pour les satisfaire).
- 3) la troisième étape consiste à évaluer l'impact de l'innovation sur la performance du système homme-machine. La méthode utilisée consiste à recourir à une série de critères regroupés en dimensions constitutives de la situation de travail envisagée. Une fois les dimensions identifiées, il importe pour chaque critère de définir comment on effectue son évaluation, qui l'effectue et à quel moment du cycle de vie de l'innovation.
- 4) la quatrième étape consiste à intégrer cette évaluation au stade le plus précoce du développement de l'innovation de manière à pouvoir jouer un rôle concret auprès des décideurs dans le processus de conception et d'implémentation.

Pour chaque dimension à évaluer, nous proposons une méthode décrivant :

- une définition de la dimension de la situation de travail analysée
- le ou les évaluateurs (concepteur, utilisateur, expert)

- le ou les techniques d'analyse (observation, questionnaire, micro-tâche)
- le moment de réalisation de l'analyse : avant le développement (veille technologique), simultanément (expérimentation, analyse d'implantation), ou a posteriori (analyse longitudinale de l'impact sur le travail)
- les critères d'évaluation

Pour présenter la proposition méthodologique, il nous a semblé plus pertinent de le faire à l'aide d'un exemple concret : le Diprifusor évalué dans le cadre de l'étude annexe. La liste des dimensions et des critères développée ci-dessous n'est pas exhaustive; elle dépend du type de logiciel évalué et de la situation de travail sur laquelle porte l'évaluation. Mais, les principes de base de la méthodologie sont applicables à tous les domaines professionnels concernés par les innovations technologiques.

3.6.3. Dimensions et critères d'évaluation

Des résultats des études précédentes, il ressort 5 dimensions importantes à analyser dans le cadre d'une évaluation des innovations technologiques dans les situations de travail modernes : les dimensions technique, cognitive, organisationnelle et économique, constitutives de toutes situations de travail, et la dimension "clinique" particulière au type d'outil et au domaine de la santé étudiés.

3.6.3.1. Dimension technique

"évaluation des objectifs techniques du système et vérification de leur atteinte dans l'environnement de travail"

Une fiabilité certaine, une sécurité optimale, le respect des spécifications techniques d'utilisation sont les prérequis de base pour toute implantation réussie. Dès lors, une évaluation d'un outil commence par la description des objectifs et des spécifications techniques et la vérification de leur rencontre dans la situation de travail.

- critère 1 : compatibilité avec les spécifications techniques.

L'expert peut consulter le concepteur ou la notice d'utilisation pour se renseigner sur les exigences techniques requises pour le bon fonctionnement de l'innovation et les comparer aux caractéristiques de la situation de travail dans laquelle l'implantation de l'innovation est prévue. L'évaluation de ce critère basique devrait être intégrée le plus tôt possible au processus de conception. Elle permettrait d'éviter certains dysfonctionnements facilement prédictibles dans le cadre de l'évaluation.

Certaines situations problèmes relevées dans l'étude annexe proviennent du non respect des prérequis techniques spécifiés dans la notice d'utilisation délivrée par le concepteur. Dans l'étude annexe, nous avons observé que les notices d'utilisation n'étaient en général pas consultées par les utilisateurs. Ceux-ci se familiarisent avec l'outil le plus souvent par essai et erreur. Une démonstration rapide est parfois organisée par le concepteur ou par un utilisateur plus familier avec le système. Les spécifications sont très souvent inconnues ou volontairement ignorées par les utilisateurs lorsqu'elles exigent des changements dans leur routine.

L'exemple du prérequis d'installer le Diprifusor le plus près possible du patient illustre bien. L'anesthésiste avait l'habitude de placer les pousse-seringues assez loin du patient pour faciliter l'accès au patient et gêner le moins possible le travail du chirurgien. Lors du premier jour d'utilisation, l'anesthésiste a utilisé le nouveau dispositif sans changer la longueur de la ligne reliant le pousse seringue au patient. A la suite d'une formation au TCI organisée par la firme Zeneca, il a été décidé de rapprocher les lignes du patient pour optimiser l'utilisation du système TCI et tenter de diminuer les effets secondaires

observés au niveau du patient. Il faut faire remarquer qu'à la suite de ce changement, certains chirurgiens se sont plaints de la nouvelle disposition.

- critère 2 : fiabilité de l'innovation dans la situation de travail

Il ne s'agit pas ici, pour l'évaluateur, de vérifier la fiabilité technique d'un prototype. Nous partons de l'hypothèse que celle-ci a été validée par l'équipe de vérification et de validation (V&V) de la firme de conception avant son implantation. L'évaluation sur ce critère vérifie l'intégration technique du dispositif dans la situation : *Est-ce que le dispositif fonctionne correctement dans la situation de travail?*

L'évaluation est réalisée par les utilisateurs en collaboration avec les concepteurs pour favoriser l'impact sur la conception.

Deux types d'études sont envisageables :

- 1) des études expérimentales cherchant à valider la fiabilité fournie par le concepteur: *Est-ce que l'objectif technique de l'outil est atteint ?*

La fiabilité Diprifusor a été testée en Angleterre par les concepteurs en collaboration avec plusieurs médecins-anesthésistes. L'évaluation avait pour but de décrire les performances du système par rapport à l'objectif technique poursuivi.

L'erreur entre la concentration plasmatique prédite par le système TCI et la concentration mesurée dans le sang artériel a été évaluée sur 46 patients. La moyenne et la valeur absolue de l'erreur prédictive sont calculées (MDPE : Median Predictive Error, MDAPE : Median Absolute Predictive Error). En moyenne l'erreur de concentration est de l'ordre de 6%. Ce qui est en-deçà des 20 % recommandés par les normes ISO 5358.

- 2) des études sur le terrain pour vérifier la fiabilité technique du système dans les situations d'interaction (ex. observation et recueil des erreurs, des problèmes techniques, des bugs, mesure de l'incidence de la panne sur les fonctionnalités du système (sécurité, performance,...)).

Rares sont les concepteurs qui organisent un recueil systématique des problèmes d'interaction sur le terrain. La rétroaction se fait le plus souvent à l'initiative de l'utilisateur quand celui-ci a été confronté à un problème.

Dans le cadre de l'étude annexe sur le Diprifusor, nos observations longitudinales nous ont permis d'identifier différents types de problèmes d'interaction. Il est intéressant de les passer rapidement en revue pour montrer l'intérêt indéniable d'une telle approche systémique. Les types de problème rencontrés, on verra, peuvent facilement être généralisés à tout système automatique utilisé dans d'autres domaines technique.

- erreurs liées à un manque de connaissance fonctionnelle du nouveau système (8 cas)

Plusieurs anesthésistes et infirmières ont eu des difficultés avec le système de reconnaissance du pousse-seringue : mise en place d'une autre drogue que le propofol dans le Diprifusor (1 cas), utilisation de seringue de propofol non conforme (2 cas), mauvais enclenchement de la seringue dans le pousse-seringue (5 cas). Le Diprifusor est le seul pousse-seringue muni de ce système. Une initiation au système aurait certainement diminué les erreurs observées durant le premier jour d'implantation.

- erreur de mode (3 cas)

L'utilisation de la commande *passage d'un mode manuel au mode TCI* ou vice versa a posé des problèmes pour certains anesthésistes stagiaires.

Le mode manuel est un mode d'urgence qui permet à l'anesthésiste de terminer le cas lorsqu'un problème survient au TCI durant l'intervention. Un switch en mode manuel survient lorsque le système TCI dysfonctionne ou, après un changement de seringue si après 15 secondes, le dispositif ne reconnaît pas la seringue. Le logiciel demande alors de confirmer le mode manuel. Lorsque la commande est confirmée par l'anesthésiste, celui-

ci ne peut plus revenir au mode TCI pour le même patient si par la suite il est parvenu à insérer correctement la seringue dans le pousse-seringue.

- Bugs de dysfonctionnement du système (2 cas)

Une alarme et un message d'erreur ont averti les anesthésistes du problème technique grave mettant hors service le logiciel TCI: "*warning, error 37, no diprifusor answer, manual mode option*".

L'anesthésiste a pu continuer l'anesthésie dans un mode manuel, en contrôlant alors le débit de perfusion (mg/kg/h) calculé à partir du poids du patient et des propriétés du produit.

Dans les deux situations observées, le mécanisme de sécurité conçu pour contrer une éventuelle erreur dans le calcul de la concentration sanguine de la drogue s'est déclenché. Le software TCI diprivan comprend un modèle pharmacocinétique de la drogue (propofol) et deux algorithmes indépendants de contrôle de l'infusion. Ces algorithmes fonctionnent en parallèle. Ils utilisent le même modèle pharmacocinétique mais fonctionnent sur différentes bases mathématiques. Chaque algorithme a son propre microprocesseur. Le second microprocesseur contrôle les sorties du premier. La concentration sanguine prédite par les deux microprocesseurs est continuellement calculée et comparée. Si une différence de plus de 20 % entre les deux est identifiée durant une période de plus de 10 sec., une alarme est activée, un message d'erreur visualisé et la pompe s'arrête, le mode manuel permet de terminer la procédure.

3.6.3.2. Dimension clinique

"évaluation de la compatibilité de l'innovation avec l'objectif clinique poursuivi "

La majorité des innovations technologiques, y compris dans le domaine de la santé, n'ont pas d'effet clinique (ex. monitoring, système d'enregistrement de donnée, système de communication). Dans ce cas, cette dimension n'est pas envisagée et l'évaluateur poursuit directement au point 3.

Si le système technique poursuit un objectif clinique (ex. Diprifusor, Mina), il est important d'évaluer la contribution du système sur le plan clinique : *Quels sont les avantages et les inconvénients cliniques de l'innovation?*

L'évaluation de cette dimension est réalisée par les experts du domaine en collaboration avec la firme de conception. Il existe, en amont, une procédure de contrôle non institutionnelle assurée par les comités d'éthique qui rendent un avis sur les protocoles de recherche. Ces comités actuellement réglementés par la profession médicale (seul l'ordre des médecins a le pouvoir de les agréer), n'exercent qu'un contrôle a priori sur la recherche médicale. On peut se demander si les comités ont toujours toute latitude pour refuser certains essais cliniques lorsqu'on sait que ces essais constituent souvent une source de financement non négligeable pour certains services hospitaliers.

Le tableau ci-dessous reprend de façon synthétique les résultats des nombreuses études cliniques réalisées dans plusieurs centres hospitaliers européens en collaboration avec la firme Zeneca pour le Diprifusor.

Avantages	Désavantages
anesthésie adaptable contrôle de la profondeur de l'anesthésie effets hémodynamiques modestes demi-vie courte confort lors de l'induction induction estomac plein moindre incidence de nausées et de vomissements réveil rapide	choc anaphylactique (mais rare) monitoring (d'après la communication de F Servin ¹)

Tab. 18 - Synthèse des résultats des études cliniques réalisées pour le Diprifusor en collaboration avec le concepteur

3.6.3.3. Dimension cognitive

"évaluation de l'impact de l'innovation sur l'activité des acteurs impliqués, analysée dans un cadre cognitif"

L'implantation d'une innovation technique dans une situation de travail perturbe les stratégies des opérateurs humains, y compris les stratégies cognitives mises en jeu dans l'activité pour atteindre les objectifs. Cet axe d'analyse se justifie d'autant plus que l'évolution des technologies, avons nous vu, a tendance à augmenter le rôle des activités de supervision et de résolution de problème de l'opérateur humain dans les situations de travail modernes. Les recommandations auxquelles l'évaluation de la dimension travail aboutit portent sur l'identification des risques de "clumsy automation" et par conséquent sur la prévention des erreurs, sur la détermination des conditions d'implantation optimales du nouveau système et sur l'analyse des besoins des utilisateurs et des recherches technologiques futures.

Pour analyser cette dimension, l'évaluateur (psychologue) analyse l'incidence de l'innovation sur les activités de prise d'information, de prise de décision et de capacité d'action, pour chacun des acteurs concernés.

Il s'agit d'une évaluation multicritérielle qui repose sur plusieurs méthodes de récolte de données : observations des situations d'interactions et appréciations des utilisateurs via questionnaires.

• *critère 1: compatibilité avec la prise d'information associée à l'activité*

L'évaluation de ce critère se déroule en deux phases. La première phase consiste à décomposer fonctionnellement le logiciel (voir chap. 7) à partir de documentations, d'explorations directes (analyse statique) et d'observations (analyse dynamique), et à évaluer les propriétés informationnelles de l'innovation en utilisant la liste des critères construite lors de la méthodologie 1.

Suivant le type de logiciel sur lequel porte l'évaluation (interface simple, interface complexe), l'expert évaluera si il est utile d'investir des moyens à la décomposition fonctionnelle du logiciel et à l'évaluation des différentes fonctions mises en évidence via des questionnaires et des micro-tâches. La deuxième phase est dévolue à l'observation longitudinale des situations problèmes d'interaction.

En ce qui concerne le Diprifusor, nous avons vu dans l'étude annexe que l'analyse approfondie de la logique qui sous-tend la présentation de l'information sur le Diprifusor n'a qu'un intérêt limité compte tenu des capacités réduites de l'interface. Néanmoins, l'analyse de l'outil réalisée par l'expert apporte certains éléments intéressants par rapport à la conception ergonomique du système. Les résultats sont loin d'être propres au

1 SERVIN, F. (1995). En faveur de l'anesthésie intraveineuse. *Zeneca, Repères en anesthésie*, p.5.

Diprifusor. Ils reflètent une tendance générale des concepteurs que l'on retrouve dans bien d'autres systèmes automatiques.

La figure 11 présente une vue synthétique de la décomposition fonctionnelle réalisée pour le Diprifusor. On constate que le nombre d'écrans disponible est limité. Les écrans sont facilement accessibles : le nombre d'actions pour y accéder est restreint (cfr. commandes d'accès sur Fig. 11). Chaque information présentée est nommée ce qui facilite son identification par l'utilisateur. Néanmoins, sur un même écran, le nombre d'information peut monter jusqu'à 7 et la visibilité des informations est réduite compte tenu de la petite taille de la fenêtre d'observation. Cette petite taille est un compromis entre le coût de production, certaines contraintes techniques mais aussi des contraintes fonctionnelles (même taille que les pousse-seringues classiques, nécessité d'être facilement transportable de la salle d'opération à la salle de réveil etc.). Cette contrainte pousse les concepteurs à utiliser la même commande pour plusieurs fonctions (ex. la commande entry et la commande confirmation) ce qui peut prêter à confusion.

Un autre élément qui peut avoir un impact sur les stratégies cognitives des utilisateurs tient au fait que le contenu de l'information disponible sur le Diprifusor est en grande partie nouveau pour l'anesthésiste. Alors que les pousse-seringues classiques affichent le débit de perfusion (ml/h, le Diprifusor fonctionne en concentration-cible du médicament. Le débit de perfusion est toujours disponible (cfr. écran sur Fig. 11) mais plusieurs informations nouvelles ont été ajoutées (durée de réveil, temps d'élimination etc.).

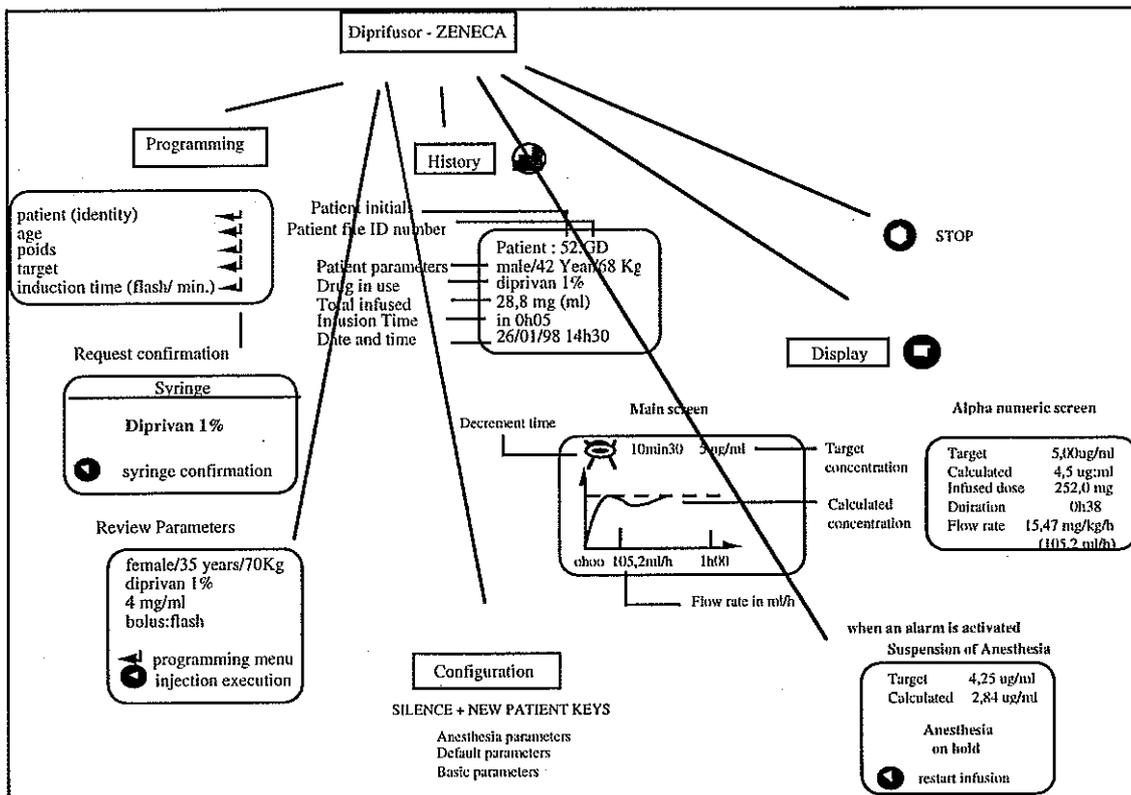


Fig. 11 - Décomposition fonctionnelle et représentation des écrans du Diprifusor

La deuxième phase d'analyse (observation des problèmes d'interaction) montre les changements qu'amène l'utilisation d'un système technique dans les stratégies de prise d'information de l'opérateur humain : augmentation des boucles de contrôle, nouvelles informations à superviser, utilisation en parallèle d'un système de contrôle de l'automate.

- L'utilisateur doit programmer son intention d'action au système automatique et vérifier ses actions; Le système demande confirmation pour chaque intention d'action. Une

visualisation sous forme de courbe permet à l'anesthésiste de contrôler en permanence le niveau de concentration-cible atteint mais le faible volume d'infusion rend difficile un contrôle visuel direct au niveau du pousse-seringue (contrôle direct de l'efficacité du device sur le patient). En effet, les mouvements de la seringue sont si lents qu'ils sont imperceptibles et il n'y a pas d'information évidente que le produit coule dans la ligne qui relie le pousse-seringue au patient.

-L'utilisateur doit contrôler l'effet de son action sur le système (ou l'effet de l'action du système sur le patient via les monitoring et l'observation du patient en ce qui concerne le Diprifusor). Ce dernier n'est pas un système destiné au contrôle automatique du niveau de l'anesthésie. La concentration cible doit être ajustée par l'anesthésiste en fonction des besoins individuels apprécié via les monitoring et du degré de la stimulation chirurgicale de l'intervention. La tâche de contrôle ne change pas par rapport à l'utilisation de pousse seringue classique mais porte sur le niveau de concentration cible plutôt que sur le débit de perfusion.

- Certains changements observés résultent d'une incidence indirecte de l'utilisation du nouvel outil. Pour augmenter sa confiance vis à vis de l'innovation, l'utilisateur utilise en parallèle un système de contrôle de l'automate (EEG avec analyse bispectrale).

- Le principal changement observé au niveau des stratégies de prise d'information est lié non pas à l'utilisation du pousse seringue mais à l'utilisation de propofol comme agent anesthésique (effet indirect du système automatique). Les propriétés pharmacocinétiques du propofol (hypotenseur) font que l'anesthésiste se montre particulièrement attentif aux pressions artérielles durant l'induction et pendant toute l'intervention.

• *critère 2 : compatibilité avec la prise de décision associée à l'activité*

L'évaluation sur ce critère est importante pour analyser le support apporté par le nouveau système aux activités de prises de décision de l'utilisateur. Pour évaluer cette dimension, il est important que l'expert ait une idée claire du modèle cognitif qui sous-tend l'activité de l'opérateur dans la situation. L'évaluation repose sur l'analyse préalable de l'activité et l'observation des situations d'interaction. Plusieurs variables sont envisagées :

- la disponibilité des informations nécessaires à la prise de décision
ex. le niveau de concentration-cible atteint est-il disponible sur l'écran du moniteur ?
- les formats de présentation des informations
ex. la concentration-cible est-elle présentée sous un format qui permette de prendre facilement les décisions d'action qui s'y rapportent ?
- la présentation des actions disponibles
ex. peut-on facilement déterminer à tout moment quelles sont les possibilités d'action qui s'offrent à l'utilisateur ?

Le Diprifusor, avons nous vu, apporte des informations nouvelles à l'anesthésiste (temps de décroissance, durée du réveil) qui visent à une meilleure planification de l'anesthésie. Ces informations viennent supporter des activités cognitives critiques (cfr. chap. 8 et 9). Néanmoins, l'observation des situations d'interaction montre que ces informations sont difficilement exploitables en pratique par l'anesthésiste car elles ne tiennent pas compte d'une série de facteurs externes qui influencent la durée réelle du réveil : analgésie concomitante, durée de la chirurgie, état général du patient .

L'outil prend à sa charge une partie des activités mentales de l'opérateur. Avec une pompe manuelle, l'anesthésiste administre la drogue suivant la dose calculée (mg/kg poids du patient) et le débit de perfusion (ml/h) doit être calculé en continu pour maintenir un niveau d'anesthésie stable durant toute l'intervention. Le Diprifusor permet à

l'anesthésiste d'éviter ce type de raisonnement puisque le microprocesseur dont il est muni calcule en permanence la vitesse de perfusion nécessaire pour atteindre la niveau de concentration-cible souhaité ($\mu\text{g/ml}$) en tenant compte de ces phénomènes (simulation). On peut donc s'attendre à une diminution des erreurs liées à un mauvais dosage de la drogue. Lorsque la perfusion est interrompue (changement de seringue), le Diprifusor continue à prédire la concentration plasmatique de la drogue et réajustera automatiquement le débit de perfusion à la remise en route. Cette fonction supporte l'activité de planification de l'anesthésiste. Mais, une nouvelle exigence de planification, avons nous vu, est créée puisque l'utilisation du propofol (drogue à action rapide et durée d'élimination courte) exige une planification de l'analgésie postopératoire.

Les caractéristiques pharmacocinétiques du propofol augmentent aussi a nécessité de prendre des décisions rapidement. Les effets d'une déconnexion ou d'une interruption dans l'administration de la drogue apparaissent rapidement et le temps disponible pour y répondre est plus court qu'avec des drogues à durée de demi-vie longue (2 cas observés). Enfin, l'utilisation du Diprifusor ne concerne que le propofol. L'anesthésiste utilise toujours les pousse-seringues classiques pour la perfusion en continu des autres produits (antibiotique etc.). L'anesthésiste est donc obligé de passer d'un calcul en concentration-cible pour le propofol à un calcul en dose pour les autres produits utilisés sur les pousse-seringues classiques : il y a concomitance des technologies et donc concomitance des raisonnements plutôt que suppression, avec un coût cognitif dans l'ensemble plus important et un risque de confusion. Cette concomitance des technologies et les risques qui en découlent se retrouve dans de nombreux domaines industriels où le remplacement des technologies se fait progressivement pour des raisons budgétaires.

• *critère 3 : compatibilité avec les actions associées à l'activité*

L'évaluation sur ce critère analyse l'impact du système sur les actions des opérateurs. L'évaluation porte sur plusieurs variables:

- la prédictibilité des effets des actions
ex. peut-on prédire les effets exacts d'une pression sur ce bouton (étant donné la configuration courante du système) ?
- l'accessibilité aux actions
ex. quelles manipulations doit-on faire au niveau des interfaces pour déclencher une action ? Suffit-il de pousser un bouton ? Faut-il d'abord spécifier une concentration cible,... ? Existe-t-il un principe d'économie des actions qui minimise les manipulations à effectuer (ex..., les actions les plus fréquentes étant les plus facilement accessibles).
- le feedback sur les actions
ex. reçoit-on un feedback primaire (i.e., l'action est bien en cours d'exécution) et secondaire (i.e., le résultat de l'action est le suivant) sur les actions ?
- la gestion des erreurs
ex. l'erreur est-elle facilement récupérable, existe-t-il une fonction undo ?

Comme la majorité des systèmes automatiques, le Diprifusor prend à sa charge une partie des actions manuelles de l'opérateur humain qu'il réalisait dans une période où le niveau d'activité était déjà faible. En effet, l'outil permet à l'anesthésiste de ne plus renouveler en manuel l'injection des agents anesthésiques tout au long de l'intervention chirurgicale, période où la charge de travail est déjà basse. Le résultat est un risque d'ennui.

Par rapport à un pousse-seringue classique, le Diprifusor permet à l'anesthésiste de changer rapidement et sans à-coup le niveau d'anesthésie grâce à une roulette très facile à utiliser. Il peut augmenter mais aussi diminuer la concentration-cible (ce qui n'est pas possible avec l'injection des drogues en manuel). De ce point de vue, l'utilisation du

système est comparable à celle des évaporateurs destinés à l'administration d'agents volatils que les anesthésistes connaissent bien.

Mais l'utilisation du Diprifusor augmente les tâches de programmation (âge, poids, identification du patient, concentration plasmatique cible) avant l'utilisation du nouveau dispositif. C'est précisément en début d'intervention, là où le nombre d'actions à réaliser est déjà élevé que le système exige des activités manuelles supplémentaires. Dans deux situations d'urgence, nous avons pu observer que l'anesthésiste choisissait de ne pas utiliser le Diprifusor pour ne pas perdre de temps à la programmation des données. Par ailleurs, le patient arrivait avec une ligne dont il fallait changer l'installation si l'on voulait utiliser le Diprifusor dans des conditions optimales.

3.6.3.4. Dimension organisationnelle

"évaluation de l'impact de l'innovation d'une part sur l'organisation du groupe d'acteurs (aspect structurel), et d'autre part sur les activités collectives de ce groupe (aspect fonctionnel)."

Cet axe d'évaluation est d'autant plus important à considérer que la spécialisation des savoirs a rendu le travail collectif indispensable. Par ailleurs, une implantation réussie d'une innovation exige souvent de la part de l'organisation du travail des ajustements au niveau des routines de travail et au niveau des formations.

L'impact d'une innovation sur l'organisation n'est pas toujours direct; des effets secondaires peuvent survenir, parfois longtemps après l'implantation du système. D'où l'importance d'intégrer un axe longitudinal dans l'évaluation. L'expert (analyste, facteur humain) s'appuiera sur plusieurs sources de donnée : observation en situation naturelle, interviews avec les différents acteurs de la situation de travail, sondage à grande échelle. L'évaluation est:

critère 1 : évaluation de l'impact sur les statuts des acteurs

ex. le nouveau dispositif prend-il à sa charge le travail d'une personne?

critère 2 : évaluation de l'impact sur les rôles des acteurs

ex. le nouveau dispositif change-t-il la nature du travail et le rôle de l'opérateur dans l'organisation?

critère 3 : évaluation de l'impact sur la communication entre les acteurs

ex. le nouveau dispositif a-t-il une fonction de centralisation ou de dispatching de l'information

critère 4 : évaluation de l'impact sur la coopération entre les acteurs

ex. le nouveau dispositif implique-t-il une spécialisation des acteurs, de nouvelles exigences de coopération entre acteurs,...).

L'étude annexe sur le Diprifusor a montré plusieurs exemples de l'impact que pouvait avoir l'implantation d'une innovation sur les stratégies de travail du groupe. Les infirmières, avons nous vu, avaient l'habitude de préparer les seringues et de les placer sur les pousse-seringues. Plusieurs d'entre elles ont éprouvé des difficultés avec le maniement du nouveau système, or aucun programme de familiarisation avec l'outil ne leur est destiné. Lors du premier jour d'utilisation, les chirurgiens ont du reprendre plusieurs patients opérés le matin à la suite d'hémorragie survenue dans l'après-midi. Les chirurgiens ont attribué ces problèmes à l'utilisation du nouveau protocole d'anesthésie.

Le Diprifusor représente aussi le premier pas vers une anesthésie contrôlée automatiquement par ordinateur. De ce point de vue, le système a une forte signification pour les anesthésistes qui peut influencer l'"usability" du système à long terme.

3.6.3.5. Dimension économique

"évaluation de l'impact de l'innovation sur le plan économique"

Cet axe d'évaluation a longtemps dominé les travaux d'évaluation des nouvelles technologies. Les évaluateurs (économistes, utilisateurs) avait pour mission de comparer, classer et ordonner les projets technologiques pour éclairer les pouvoirs publics quant aux décisions qu'ils devaient prendre.

La méthode des coût/bénéfices compare les bénéfices financiers escomptés par rapport à l'investissement consenti. Cette méthode soulève plusieurs difficultés pour l'évaluateur. La première est la traduction monétaire des coûts et des bénéfices. Le problème est d'autant plus évident lorsqu'il s'agit d'estimer les effets indirects. Par ailleurs, les bénéfices et les coûts d'un investissement sont rarement attribuables à un seul acteur. Aussi, l'évaluateur doit identifier l'ensemble des acteurs concernés par le dispositif et déterminer la nature et le montant des bénéfices et pertes (directs et indirects) pour chacun. Certains évaluateurs proposent de prendre en compte l'efficacité du système dans l'analyse économique.

Les analyses coûts/bénéfices réalisées pour le Diprifusor illustrent cette difficulté. C'est ainsi que sur le plan direct, le coût du propofol comme agent anesthésique est plus élevé que celui des agents volatils. Cependant, le réveil est plus rapide, les patients souffrent moins d'effets secondaires (vomissements, nausées) et la durée en salle de réveil est plus courte. Ces bénéfices indirects représentent sur le plan financier un gain substantiel qu'il est possible de mesurer : diminution de la durée d'hospitalisation avec comme corollaire diminution des frais salariaux du personnel hospitalier, diminution de la durée du congé maladie avec reprise avancée du travail. Si l'on prend en considération, l'efficacité du système dans l'analyse de la dimension, l'évaluateur tiendra compte des cas traités avec succès, du nombre de patients sans nausée, sans vomissement, etc.

3.6.3.6. Autres dimensions

En fonction de l'objectif d'évaluation et du type de système technique sur lequel porte l'évaluation, il peut être pertinent d'évaluer d'autres dimensions que celles développées précédemment comme par exemple l'impact de la technologie sur l'environnement, l'impact de la technologie sur la société, etc. L'analyse préalable systémique de la situation conduit à l'identification des dimensions pertinentes et à la spécification des critères par rapport à une activité particulière.

3.6.4. Conclusions

La méthodologie proposée ci-dessus vise à évaluer les effets, à court, moyen et long terme de l'évolution des technologies sur les situations de travail modernes. Les problèmes d'interaction homme-machine mis en évidence n'ont pu être identifiés que parce que la méthodologie se veut exhaustive. Elle intègre l'évaluation de l'impact de l'innovation sur les différentes dimensions constitutives de la situation de travail : homme, machine, environnement et sur leurs interactions.

La plus grosse difficulté, pour l'avenir, est certainement de passer à une technologie centrée sur l'individu à une technologie centrée sur le groupe où l'homme et la machine s'adaptent l'un à l'autre et s'aident mutuellement.

3.7. DÉVELOPPEMENT ET UTILISATION DE NOUVEAUX SYSTÈMES D'INFUSION EN ANESTHÉSIE

Dans le cadre de la mise à la disposition des anesthésistes-réanimateurs d'outils d'administration de drogues, le département d'anesthésie-réanimation de l'ULB a développé plusieurs innovations techniques. Ce travail de conception est le fruit de plusieurs études réalisées dans le cadre de ce programme de recherche et a nécessité une collaboration étroite entre concepteurs, informaticiens, utilisateurs et psychologues.

Dans la partie suivante, nous décrivons les études qui progressivement ont conduit à l'élaboration de deux outils : un système de contrôle de 4 systèmes d'infusion en anesthésie de patient adulte et un système en boucle fermée pour la réduction des accès hypertensifs durant la chirurgie cardiaque adulte. 4 études ont été réalisées :

- 1) Enquête auprès des anesthésistes belges, francophones et néerlandophones au sujet des principes de conception des systèmes de gestion d'infusion pour leur activité en salle d'opération.
- 2) Étude sur le terrain d'outils de gestion d'infusion simultanée de 4 drogues différentes dans le contexte de l'anesthésie pour chirurgie cardiaque adulte.
- 3) Mise sur pieds d'un système d'administration de drogues à objectif de concentration.
- 4) Utilisation d'un système en boucle fermée pour la réduction des accès hypertensifs durant la chirurgie cardiaque adulte.

3.7.1. Enquête auprès des anesthésistes belges au sujet des systèmes de gestion d'infusion

Le nombre de drogues administrées dans certains types de pratique d'anesthésie peut de façon très routinière être compris entre 4 et 8 drogues administrées simultanément. Ces drogues peuvent être administrées selon plusieurs modes, dont pour résumer les principaux, il convient de retenir : 1) un mode débit / durée variables fixé de manière manuelle, 2) un mode débit / durée variables fixés de manière programmée, 3) un mode débit / durée variables mais fixé par calcul en référence à des modèles pharmacocinétiques de distribution, 4) un mode débit / durée variables calculés selon des modèles théoriques d'un compartiment effet, 5) un mode débit / durée variables qui permettent par un système d'ajustement automatique de maintenir un paramètre déterminé autour d'une valeur cible.

Le mode d'infusion est loin d'être standardisé dans les salles d'opération et les systèmes d'infusion se superposent avec comme corollaire une augmentation de la complexité et un risque de confusion.

Pour mieux connaître la pratique existante des anesthésistes en ce qui concerne les systèmes d'infusion, un sondage a été réalisée auprès de 200 anesthésistes belges francophones et néerlandophones selon la méthodologie de formulaire avec réponses obligées et libres.

De l'analyse des réponses, les tendances d'utilisation suivantes se dégagent.

Type de population

La majorité des anesthésistes - réanimateurs ayant répondu à cette enquête est comprise entre 25 et 45 ans. La population des répondeurs comprend 20% de sujets féminins pour 80% de sujets masculins et 90% de l'échantillon ont obtenu leur diplôme après 1975.

Outils d'administration existant actuellement

Les opinions suivantes sont constatées à la majorité : l'administration par seringue monovoie à commande manuelle ou l'administration de deux drogues par l'association d'une pompe volumétrique + pousse-seringue à une voie.

Les anesthésistes jugent le matériel existant comme étant des systèmes assez simples à contrôler mais qui par contre n'autorisent aucune coordination entre l'administration des drogues et qui ne permettent pas la mémorisation des données anthropométriques ou une préprogrammation de paramètres telles que valeur du débit/durée.

Tendances évolutives des outils d'administration

Les anesthésistes interrogés se disent convaincus que les systèmes intégrés d'administration automatique permettraient : 1) d'augmenter la régularité d'administration des drogues, 2) de diminuer les effets secondaires de celles-ci, 3) la mémorisation des données d'administration. Ces trois facteurs associés permettraient l'émergence de stratégies pharmacologiques plus avantageuses.

Parmi les facteurs négatifs concernant les systèmes intégrés figurent : la longueur du temps d'apprentissage, la durée des manipulations d'installation du système et des paramètres de gestion plus compliqués.

Parmi les informations dont les anesthésistes - réanimateurs désirent disposer grâce aux systèmes à gestion intégrée figurent principalement : la quantité totale utilisée, la détection préalable d'interactions médicamenteuses, l'aide à la décision pour gérer la fin des anesthésies.

Tendances évolutives des modes d'administration

Lorsqu'il est demandé quel type d'administration de drogues les anesthésistes - réanimateurs penseraient utiliser le plus fréquemment, se retrouvent à égalité : les modes d'administration de concentration cible - 3 et 4ème modes- ainsi que l'administration par doses impulsionnelles se superposant à un débit d'entretien fixe - 2ème mode.

Tendances évolutives du travail de l'anesthésiste-réanimateur en centrale d'anesthésie en liaison directe avec les systèmes intégrés

D'aucuns voient clairement un changement très bénéfique des habitudes d'administration de drogues. D'autres, tout aussi nombreux, mettent en avant le fait que lorsque l'administration de drogues est confiée à un automate, le travail du clinicien se modifiera et évoluera vers des stéréotypes plus simples amenant in fine les anesthésistes à une moins bonne connaissance clinique de leurs drogues.

La place de ces systèmes à gestion intégrée se situe à proximité du système de surveillance des patients, voire est couplée avec le monitoring patient.

Certains se soucient également de la polarisation trop grande de l'attention de l'anesthésiste sur des systèmes intégrés.

Une majorité d'anesthésistes estime aussi qu'à terme, les cliniciens auront trop confiance dans ces nouveaux systèmes et risqueraient d'être mis dans une relative insécurité lors de la faillite du fonctionnement de ceux-ci.

Les anesthésistes - réanimateurs sont extrêmement critiques vis-à-vis de l'introduction de systèmes intégrés puisque ceux-ci pourraient être à l'origine de nouveaux risques d'incidents liés à de potentiels dysfonctionnements de ces systèmes nouveaux.

Enfin, ces systèmes demandeurs d'informations préalables, peuvent générer en cas d'erreurs de programmation ou de mauvaise introduction des données ou par manque de robustesse fonctionnelle, des situations potentiellement dangereuses pour le patient.

Tendances évolutives du travail de l'anesthésiste-réanimateur en centrale d'anesthésie

Lorsque les anesthésistes-réanimateurs doivent se prononcer sur l'évolution de leur spécialité, émergent le plus souvent les éléments suivants :

- 1) L'informatisation de plus en plus poussée des systèmes d'administration va amener l'émergence de protocoles automatiques. Ce changement permettra un contrôle a

posteriori des solutions amenant le plus de bénéfice pour le patient et l'utilisateur du système.

- 2) Beaucoup voient également un accroissement de la sécurité dans l'administration des agents pharmacologiques, une diminution des erreurs d'administration des drogues.
- 3) Un gain de temps pour l'anesthésiste qui pourra être mis à profit pour d'autres tâches dont une évaluation clinique du patient plus fréquente.
- 4) L'évolution de la spécialité va amener une augmentation de la dépendance des praticiens vis-à-vis du matériel.
- 5) La présence d'automates va favoriser la diversification des tâches qui seront demandées pendant les actes d'anesthésie.

3.7.2. Étude de terrain sur un système de contrôle de 4 systèmes d'infusion anesthésie pour adulte

En vue d'uniformiser les systèmes d'infusion des drogues en anesthésie, le Département de Calcul Scientifique - Pr. Cantraine (ULB) a développé et testé un système d'infusion à fonctions intégrées. Ce système est référencé sous le code GINA pour General Infusion in Anesthesiology. Il comprend un logiciel de service intitulé MINA ainsi qu'un module de communication entre les pompes d'infusion et les ressources informatiques qui est le UDCC, pour Universal Device for Communication Control.

Le système étudié comprend plusieurs types d'écrans qui aident l'anesthésiste dans la surveillance de son protocole pharmacologique. Ces écrans permettent de contrôler la durée de la perfusion, la dose du volume administré, la fin prévisible du réservoir contenant la drogue administrée, des renseignements concernant le débit et la durée des stades futurs ainsi que le débit et la durée d'un stade impulsif appelé bolus.

Le contrôle des ordres à faire exécuter par le système se fait via un clavier ordinaire. Les pompes sont soit commandées séparément, soit de façon coordonnée grâce à une table de coordination. Cette table de coordination permet soit un séquençage temporel des actions au niveau des pompes, soit des actions conditionnelles (par exemple : lorsque l'administration de telles quantités de produit aura été accomplie, mettre en route tel système d'infusion).

Un archivage automatique des actions qui sont effectuées par l'anesthésiste ainsi que celles menées à bien par le système.

La sélection des drogues peut se faire de façon individuelle - drogue par drogue - soit par appel d'une session préétablie qui met en place dans un ordre défini les drogues ainsi que les modèles d'asservissement en boucle ouverte présélectionnés dans une session.

L'utilisateur doit donner comme information au système : 1) les informations anthropomorphiques concernant le patient, 2) la validation des concentrations de drogues ainsi que le volume du réservoir une fois que les purges de ligne d'administration ont été faites. Les fonctions sur chacune des lignes d'administration sont les suivantes : marche, arrêt (dans l'arrêt d'une pompe existe un arrêt d'urgence qui désactive les 4 voies d'administration en une commande unique), insertion d'un pas d'infusion, modification d'un pas d'infusion, destruction d'un pas d'infusion, mise en route d'un ou plusieurs bolus préétablis.

Une validation du système en salle d'opération a été réalisée dans le cadre de ce programme. Il ne s'agit pas ici d'une évaluation du système comme nous l'entendons dans le chapitre précédent mais d'une étude de validation qui intervient dans les premières phases de la conception. Cette étude a été effectuée en neuro-anesthésie et en chirurgie cardiaque adulte.

3.7.2.1. Utilisation en neuro-anesthésie

Ce contrôle a été effectué au service du Prof. Hans au CHU de la Citadelle (U.Lg, Liège). Dans ces conditions, le système a été utilisé sur deux voies de perfusion, l'une servant à l'administration d'une drogue hypnotique, l'autre d'un analgésique. Pour des raisons de sécurité, l'utilisation du système s'est toujours faite en présence du Prof. Hans. Le système a été utilisé pour des anesthésies de chirurgie intracrânienne.

Les observations sur le terrain font constater que l'activation du système est relativement simple une fois que les sécurités hardware ont été vérifiées et que l'alimentation électrique du système est assurée. Il convient par après d'activer chacun des systèmes d'infusion, de brancher l'ordinateur, d'appeler le programme, de noter le nom et le poids du malade, de vérifier la connexion du concentrateur de communication, d'appeler la session de travail préconfigurée, de valider les concentrations et les volumes affichés par le système et de lancer les deux moyens d'infusion soit séparément soit de façon coordonnée. Cette mise en route peut être réalisée en moins de 2 minutes; le travail sur le logiciel demandant moins d'une minute. Le protocole de communication entre le système informatique et les pompes d'infusion Ohmeda 200 est issu du fabricant.

Les observations sur terrain ont permis de relever plusieurs problèmes d'interaction avec le logiciel :

- problèmes fonctionnels dus au protocole de communication de ce système d'infusion, la quantité de volume administrée peut ne pas être correcte car le moyen d'infusion ne détecte pas les changements de seringue ! Néanmoins, quand l'utilisateur a compris ce problème, le système logiciel lui permet d'avoir la correction s'il effectue le changement de seringue après avoir activé la fonction arrêt pour changement de seringue du système. Dans ce cas, le système lui demandera le volume résiduel de la seringue.
- les appels de fonctions dont des fonctions inverses ne sont pas distants physiquement sur le clavier (exemple : modification de profil et destruction de profil.
- un manque d'informations concernant :
 - les alarmes détectées à l'origine par les pousse-seringues,
 - la messagerie issue du protocole de communication livré par l'industrie et non amplifié par les concepteurs du programme.
 - une procédure à suivre en cas de certains défauts de fonctionnement

3.7.2.2. Utilisation en chirurgie cardiaque adulte

Ce travail s'est effectué au service d'anesthésie-réanimation (Prof. d'Hollander) - ULB Erasme. Dans ce contexte, les 4 voies d'infusion sont régulièrement utilisées. 3 voies sont utilisées dès le départ, la voie 1 contient un agent hypnotique, la voie 2 un agent anesthésique et la voie 3 un agent curarisant. La 4ème voie n'est pas employée systématiquement mais elle est le plus souvent associée à l'administration de vasodilatateurs systémiques ou de dérivés nitrés. Dans ce cas, les protocoles de communication sont donnés par la firme IMED et la firme BRAUN. Il s'agit donc d'un contexte d'utilisation de produits industriels différents de ceux rencontrés précédemment. Il existera donc des artefacts liés au protocole de communication industriel non standardisé. Plus spécifiquement pour le matériel BRAUN peut exister une avancée manuelle du piston de la seringue sans que le système informatique puisse détecter cette administration externe. Les problèmes rencontrés avec ce système dans ce cadre sont la perte de communication avec les moyens d'infusion, particulièrement avec les systèmes BRAUN ou la perfusion impromptue accidentelle à plein débit avec le même type de matériel. Ces situations n'ont généralement pas occasionné de problème de gestion d'anesthésie aux anesthésistes-réanimateurs en charge du système mais ont parfois nécessité l'arrêt en urgence d'une ou plusieurs voies d'administration de drogues.

En conclusion de cette phase du projet, apparaît clairement le besoin d'avoir du côté du monde industriel un système de communication qui offre un niveau de sécurité

maximum. Différentes approches sont envisagées et décrites dans les publications mises en annexe.

3.7.3. Élaboration et test d'un système d'administration de drogues à objectif de concentration

Ce type de programme orienté objet a, par certains aspects de ses écrans, certaines similitudes avec la programmation Windows. Cette version permet de travailler selon les modes d'administration 2 et 3 réalisant des concentrations théoriques simulées au niveau du compartiment central d'un modèle pharmacocinétique mamillaire bi- ou tri-compartimental ou d'un compartiment effet-couplé au compartiment central d'un modèle pharmaco-cinétique mamillaire par 2 paramètres nécessaires au transfert intercompartimental - compartiment central/compartiment effet - et 2 paramètres nécessaires à l'équation logistique décrivant un effet variant de 0 à 1.

La mise au point de ce nouveau système orienté objet modifie grandement les présentations écrans par rapport au système GINA décrit précédemment puisque l'apparition des fenêtres de contrôle des moyens d'infusion est appellable et configurable par l'utilisateur. Ce logiciel présente donc une très grande flexibilité pour la conception des écrans mais nécessite aussi une expertise plus grande de l'anesthésiste pendant son utilisation en clinique.

L'avantage de la version orientée objet par rapport au système GINA est l'apparition à la demande des profils d'infusion et de fonctions nouvelles telle par exemple que la prévision de l'évolution de la concentration cible pour réaliser un niveau donné à un moment donné. Cette dernière partie est particulièrement intéressante pour préparer à un moment précis les concentrations liées au réveil du patient.

Les fonctions principales du nouveau système sont la configuration de panneaux d'écran concernant :

- le patient définit par un nom, un poids, un contexte physiopathologique - celui-ci étant ici purement informatif,
- la drogue sélectionnée à partir d'une liste préétablie, la dilution effective, le volume restant après la purge hardware de la ligne d'administration,
- le système d'infusion, type de pompe, numéro de pompe et porte occupée sur l'UDCC.

Ce système permet l'administration de chacune des drogues - soit en mode manuel, soit en mode profil d'infusion, soit en mode concentration cible.

3.7.4. Mise au point et utilisation d'un système en boucle fermée pour la réduction des accès hypertensifs durant la chirurgie cardiaque adulte

Ce travail s'est déroulé en trois phases. La première phase a consisté au développement du système en laboratoire. La deuxième phase a été dévolue à l'utilisation d'un prototype en salle d'opération assistée sous contrôle du concepteur. La troisième phase a consisté en l'intégration d'un contrôleur de tension dans le système.

3.7.4.1. Développement du système en laboratoire

Comme drogue de référence est choisie le nitroprussiate de soude. Ce vasodilatateur artériolaire a un délai de réponse inférieur à la minute. La demi-vie de la réponse induite sur le système vasculaire est de l'ordre de 5 min. L'administration de ce produit ne permet pas d'asservir la tension à un seuil donné mais permet uniquement de diminuer le dépassement par rapport au seuil donné.

Le présent programme de recherche a permis l'engagement d'un ingénieur - Mr Meiers Roger - pendant une durée de 1 an, celui-ci avait déjà une expérience des asservissements en boucle fermée de la tension artérielle par le nitroprussiate de soude. Cette expérience avait été acquise en chirurgie cardiaque dans les centres de chirurgie de Maastricht et d'Eindhoven.

Le système mis au point localement est basé sur un concept classique comprenant une reconnaissance des courbes tensionnelles phasiques enregistrées par ponction artérielle et d'un module de gestion de l'administration du vasodilatateur.

La première phase du travail accompli consistait à réintroduire les logiciels et à les adapter aux convertisseurs analogue/digital disponibles localement, ainsi que d'assurer l'interfaçage avec le monitoring du patient en salle de chirurgie cardiaque adulte.

Les tests ont été réalisés en laboratoire et l'importation du système en salle d'opération s'est effectué en fin 96. La phase II d'utilisation assistée sous contrôle du concepteur a pu se dérouler au début 97.

3.7.4.2. Utilisation assistée sous contrôle du concepteur en salle d'opération

Le concepteur de ce système "stand alone" était présent lors d'une série de 20 patients, lesquels ont bénéficié de l'introduction de ce système limitant les accès hypertensifs en plus de la gestion d'administration de drogues d'anesthésie par le système à objectif de concentration. Cette première série a donné lieu à une publication.

La manipulation de ce système en stand alone a été jugé remarquablement facile par les utilisateurs si ce n'est la problématique de la calibration du signal de tension artérielle. Toutes les autres fonctionnalités du programme n'ont pas posé de problème, voire n'ont pas mené à des erreurs de manipulation.

De cette expérience, il ressort que ce système d'asservissement en boucle fermée est réellement d'une grande simplicité opérationnelle et apporte de plus une diminution du travail impressionnante pour le clinicien.

Cet outil nouveau a fait découvrir également les changements de sensibilité des réponses du système vasculaire en per et post circulation extra-corporelle, une partie de ces modifications étant liée à l'installation de la phase d'hypothermie induite pendant la circulation extra-corporelle.

La puissance du système était jugée satisfaisante par les utilisateurs puisque dans les séries contrôlées, lorsque le système était actif, le seuil d'asservissement ± 10 mmHg a été obtenu dans 85% du temps.

A ce stade du projet de boucle fermée, les enseignements furent :

- 1) un changement drastique dans la stabilité du profil hémodynamique des patients dont la tension artérielle était très largement stabilisée par le système. Les chirurgiens ont été particulièrement intéressés par ces conditions opératoires plus stables par rapport à la situation ad ante de régulation par ajustement manuel.
- 2) les utilisateurs ont été impressionnés par la qualité du travail du système de contrôle et la simplicité de sa mise en route.
- 3) les utilisateurs ont du apprendre à réagir et donc à anticiper l'apparition de phénomènes externes tels que le déclampage aortique, le réchauffage du patient. Effectivement, dans ces conditions, l'opérateur averti doit altérer le fonctionnement du système soit en l'arrêtant anticipativement, soit en changeant le seuil d'asservissement. En dehors de ces deux possibilités assez artificielles, une autre solution a également été étudiée qui est d'avertir le système des événements qui vont se produire, ce qui permettrait de changer les paramètres du module de contrôle. Cette évolution est actuellement toujours en voie d'étude.

3.7.4.3. Intégration d'un input de contrôle de tension

De la station indépendante de contrôleur de la pression sanguine travaillant en parallèle avec l'outil infusant les drogues d'anesthésie, a été conçu un système où ce contrôleur de tension est intégré directement dans le programme à objectif de concentration. La technologie retenue a été la technologie du client-serveur, ce qui permettait une intégration rapide aux applications existantes.

CHAPITRE 4

IMPACTS ET DIFFUSION DES RÉSULTATS

Aucune méthodologie ne peut se justifier en général. Elle se justifie par son objectif : *Que veut-on observer et pourquoi ?*

La réalisation des objectifs que nous avons poursuivis dans ce programme de recherche peut être illustrée par les études développées dans les chapitres précédents mais aussi par les *applications* auxquelles ces études ont conduites et par les initiatives en matière de *prévention d'erreurs* et de *formation*.

Au niveau des *applications*, l'expérience de ces quatre années a montré qu'il existe des possibilités de contributions effectives de la méthodologie proposée à la conception des outils tant dans la phase de développement que dans la phase d'implantation. Mais cette contribution, pour être réelle, doit d'une part prendre en considération l'ensemble de la situation de travail (poste de travail, tâche et contraintes, connaissances et représentations des utilisateurs) de façon à développer des aides pertinentes et d'autre part, s'intégrer aux stades les plus précoces du développement de l'innovation de façon à ce que les résultats de l'évaluation puissent encore jouer un rôle.

Dès le début des quatre années du programme de recherche, nous avons établi une collaboration avec les concepteurs des différents outils évalués et leurs utilisateurs. Cette collaboration entre médecins anesthésistes-réanimateurs, psychologues, concepteurs, informaticiens a débouché sur des applications concrètes :

- 1) Les rapports d'évaluation que nous avons transmis aux concepteurs des outils analysés dans le cadre de ce programme : monitoring intégré (Datex) et système de perfusion Mina (département d'anesthésie, ULB) ont conduit à des modifications sur les nouvelles générations d'outil. On peut s'attendre à un même retour de la part de la firme Zeneca après la transmission du rapport d'évaluation du Diprifusor.
- 2) Suite à la collaboration installée avec la firme Datex, celle-ci a demandé à utiliser le simulateur d'anesthésie de Bruxelles comme laboratoire dans le cadre de l'évaluation des nouveaux outils développés par leur département.
Une équipe composée de deux anesthésistes et de trois ingénieurs sont venus de Finlande avec un nouveau logiciel dont la commercialisation est prévue pour dans 4 ans. Des essais ont été réalisés sur le simulateur pendant deux journées avec la collaboration du département d'anesthésie du CHU et du Service de Psychologie du Travail de Liège (U.Lg).
Dans le cadre de leur visite, une présentation de la méthodologie a été organisée le 10 février 1999 par A.S. Nyssen (U.Lg). L'équipe de Datex s'est montrée particulièrement intéressée par le caractère structuré de la méthodologie, l'analyse de l'impact du système sur les activités cognitives et la perspective longitudinale d'évaluation. Une collaboration plus étroite est envisagée pour diffuser la méthodologie au sein de l'entreprise.
- 3) Un projet de conception d'aide à la décision en situation de crise est en cours de discussion avec la firme Datex. La conception d'une telle aide dépasse largement le cadre de l'anesthésie. Elle vise le support de la performance des opérateurs humains dans des situations problèmes dynamiques et complexes. L'idée est de faire reposer la conception de l'aide sur l'analyse détaillée des stratégies de résolution de problème observées dans le cadre de l'étude sur simulateur. Un tel projet nécessite une collaboration étroite entre concepteurs, psychologues et utilisateurs dès le début du processus de conception afin de maximiser la viabilité et l'utilisation du nouveau système dans la situation de travail.

En matière de prévention et de gestion d'erreur, le recueil et l'analyse des situations problèmes sur le terrain a eu des implications importantes. L'étude a contribué à modifier profondément les conceptions des anesthésistes face à l'erreur humaine, favorisant la discussion des cas difficiles et la mise en place d'une politique de prévention et de gestion d'erreur au sein de l'hôpital (CHU). Les situations prototypiques que nous avons identifiées ont permis d'insister sur les relations qui existent entre l'erreur humaine, les caractéristiques du traitement de l'information et certaines propriétés des systèmes techniques modernes (dynamicité, complexité, incertitude etc.). Certaines réponses organisationnelles aux dysfonctionnements ont été apportées par le département d'anesthésie. Ainsi, un système d'appel à l'aide en réseau lié par "bip sonore" entre anesthésistes seniors et stagiaires a été installé. La possibilité d'appel à un anesthésiste chevronné, pouvant être sur le lieu de l'incident en moins d'une minute, renforce considérablement l'organisation de la supervision du stagiaire et la sécurité.

Les situations prototypiques ont montré aussi l'importance d'analyser les erreurs et les mécanismes de production sous-jacents dans le cadre général des modèles d'acquisition du savoir et du savoir-faire, si nous voulons aider efficacement l'individu dans son travail. Or, la majorité des systèmes d'aide à la décision ne tiennent compte ni du niveau d'expérience de l'opérateur, ni du type de difficulté qu'il rencontre, ni des propriétés des milieux dans lesquels ils sont introduits. Sans doute, ceci explique le fait qu'ils ne suscitent pas toujours une grande confiance chez les utilisateurs.

L'analyse préalable de l'activité est un prérequis indispensable à la construction d'aide adaptée aux besoins des utilisateurs. Mais il faut insister sur le fait qu'une technologie compatible avec les représentations mentales des utilisateurs n'est qu'un élément parmi d'autres indispensables pour augmenter la qualité. L'amélioration de la sécurité implique avant tout la collecte des accidents et l'analyse précise des conditions qui ont mené à l'accident. Une information claire et objective sur les situations problèmes rencontrées est le pivot autour duquel s'articuleront toutes les autres activités d'amélioration : formation, réponses organisationnelles, aides technologiques.

A côté de ces applications, la *formation* apparaît aussi comme un moyen efficace pour associer les divers acteurs aux choix techniques et organisationnels. Les quatre années de collaboration ont permis la mise en place de plusieurs initiatives dans ce domaine :

1. Le programme de formation sur simulateur que nous poursuivons depuis quatre ans représente un lieu privilégié pour favoriser les échanges entre les disciplines (concepteurs, utilisateurs, analystes). Les simulations et les debriefing des séances, durant lesquels l'anesthésiste est confronté à sa propre performance, en présence d'un anesthésiste senior et d'un psychologue, apparaissent comme un outil de formation particulièrement adapté à la gestion de crise et à l'enrichissement des représentations causales et temporelle sur les processus à superviser. L'instructeur avec le stagiaire peuvent examiner les informations observables sur le patient, expliquer pourquoi tel symptôme corrélé avec tel diagnostic ne constitue pas un indice discriminant, émettre des pronostics sur l'évolution et/ou suivre la progression des événements. Des connaissances profondes, causales et temporelles, peuvent s'acquérir et prendre le pas pour guider l'évaluation et la vérification d'une hypothèse.

Un questionnaire a été distribué pour sonder les anesthésistes ayant participé aux séances de simulation. Les répondants ont évalué de façon très positive l'apprentissage par simulateur et ses avantages potentiels pour la sécurité. 80 % des anesthésistes pensent que les passages au simulateur s'accompagnent d'un sentiment accru de confiance en soi, 70 % pensent qu'ils permettent d'augmenter sa capacité de détection d'incidents, 75 % : sa capacité de diagnostic, et 80% : sa capacité de récupération. 71 % des anesthésistes de 2 et 3ème année vivent la séance de simulation comme stressante contre 44 % chez les anesthésistes de 4/5ème année.

Ce succès nous a conduit à envisager l'achat d'une version plus récente du simulateur d'anesthésie présentant plus de possibilités quant au type d'incidents programmables et mieux adapté aux besoins de formation à la gestion de crise. Un accord a été conclu avec la SBAR, société belge d'anesthésie-réanimation pour l'achat. Le simulateur est

arrivé à Bruxelles par transport aérien militaire au mois de mai. Son exploitation a débuté par les directeurs des simulations.

En dépit de ces réponses, la garantie de l'efficacité du programme de formation et du transfert des connaissances acquises en simulation vers la réalité doit être questionnée.

Dans cette perspective, nous avons mis en place, depuis un an, en collaboration avec le CHU de Liège, un programme de recherche comparant la performance des anesthésistes avant et après une séance de formation sur simulateur. Deux types de formation sur simulateur sont comparés : une formation sur un simulateur-écran (training device) et une autre en simulateur pleine échelle (full scale simulator). Une analyse détaillée de l'activité dans les deux conditions a été réalisée et les données vont être confrontées à celles recueillies en situation naturelle. Par ailleurs, A.S. Nyssen, psychologue (U.Lg) a obtenu une bourse post-doctorale de l'Otan pour comparer et analyser l'utilisation du simulateur pleine échelle de Bruxelles et de Standford. L'équipe du professeur Gaba de Standford est à l'origine du développement du simulateur et de la formation à la gestion de crise largement diffusée auprès des anesthésistes. Nous espérons mieux saisir la validité écologique des simulations et surtout aboutir à une meilleure image des possibilités et des limites qu'offre chaque type de simulation comme outil de formation.

Dans le cadre de cette collaboration internationale, une conférence sur la méthodologie d'évaluation est prévue au cours du mois de mars à l'université de Standford. Il faut faire remarquer que le Diprifusor n'est pas encore homologué aux USA et que les résultats de notre évaluation suscitent un grand intérêt dans l'ensemble de la profession.

2. Les réunions de sécurité organisées dans le cadre de l'étude de terrain ont également un pouvoir d'apprentissage important. Lorsque nous avons demandé de donner leur impression aux anesthésistes ayant présenté une situation problème lors des réunions de sécurité, tous ont admis qu'ils se sont sentis écoutés et leur reconnaissent des bénéfices potentiels en matière de formation. Elles constituent un lieu d'échange et de confrontation d'expertises privilégié. L'esprit dans lequel elles sont organisées permettent, selon les anesthésistes, de mieux vivre l'après incident, moment trop souvent laissé à l'anesthésiste seul. Ce climat organisationnel favorable se traduit par un meilleur moral au sein du département, avec une amélioration subséquente de la qualité de vie au travail.

Ces réunions sont depuis deux ans intégrées dans le calendrier du département d'anesthésie -réanimation du CHU de Liège à raison d'une réunion par mois. Depuis un ans, un effort a été entrepris pour intégrer aux réunions toutes les personnes impliquées dans la situation problème (chirurgien, infirmière, technicien) en vue de favoriser la coopération interdisciplinaire.

3. Suite aux résultats obtenus dans le cadre des évaluations du système Mina, le département d'anesthésie de l'ULB a mis au point une méthodologie d'apprentissage au système technique développé par leur département. Cette méthodologie est actuellement utilisée au sein de l'hôpital pour prévenir les dysfonctionnements observés dus au manque de familiarisation avec l'innovation.

Dans cette méthodologie sont considérées tant la formation théorique que la formation pratique de l'anesthésiste. La formation théorique comporte 1h30 d'explications du système, commençant dès la mise en place de l'ordinateur sur le chariot système. La formation pratique est basée sur le principe de l'exécution des microtâches (au nombre de 70), cette étape dure 3h en moyenne. Les manipulations demandées sont strictement standardisées, elles ont été basées sur l'expérience d'apprentissage du système par un évaluateur en analyse statique et dynamique hors patient. Ces manipulations tiennent également compte du contexte de travail de l'utilisateur.

De ces sessions d'apprentissage résultent des observations intéressantes pour la conception des outils: - la mise en place du matériel pose rarement problème, - la reconnaissance des portes de l'UDCC avec les moyens d'infusion pourrait être

améliorée de façon hardware, - les intitulés du menu principal ne sont pas suffisamment évocateurs, - en général, les informations n'occupent pas assez de place sur l'écran, - la fenêtre de messagerie n'est pas assez apparente, - le contenu des messages est souvent peu explicite, - le système de commande par la souris demande une certaine habitude et beaucoup de précision puisque les surfaces où positionner le curseur sur l'écran sont jugées généralement beaucoup trop petites, - de nombreux utilisateurs demandent à avoir des profils de concentration associant l'ensemble des drogues administrées.

4. Dans une même perspective, la firme Zeneca a décidé d'organiser des Centres d'excellence destinés à former les anesthésistes à l'utilisation du nouveau système Diprifusor de manière à assister les utilisateurs au cours de la phase d'implémentation. Le département d'anesthésie-réanimation du CHU a été choisi comme un de ces centres d'excellence. Des séances de formation théorique et pratique ont déjà commencé. Elles sont données par R. Larbuisson, anesthésiste senior (CHU) et concernent tous les anesthésistes-réanimateurs de la région de Liège.

C'est grâce au long terme de ce programme de recherche et à la qualité de la collaboration que cette période a permis de mettre en place entre les participants que les résultats de nos recherches peuvent concrètement s'observer dans la vie quotidienne.

RÉFÉRENCES

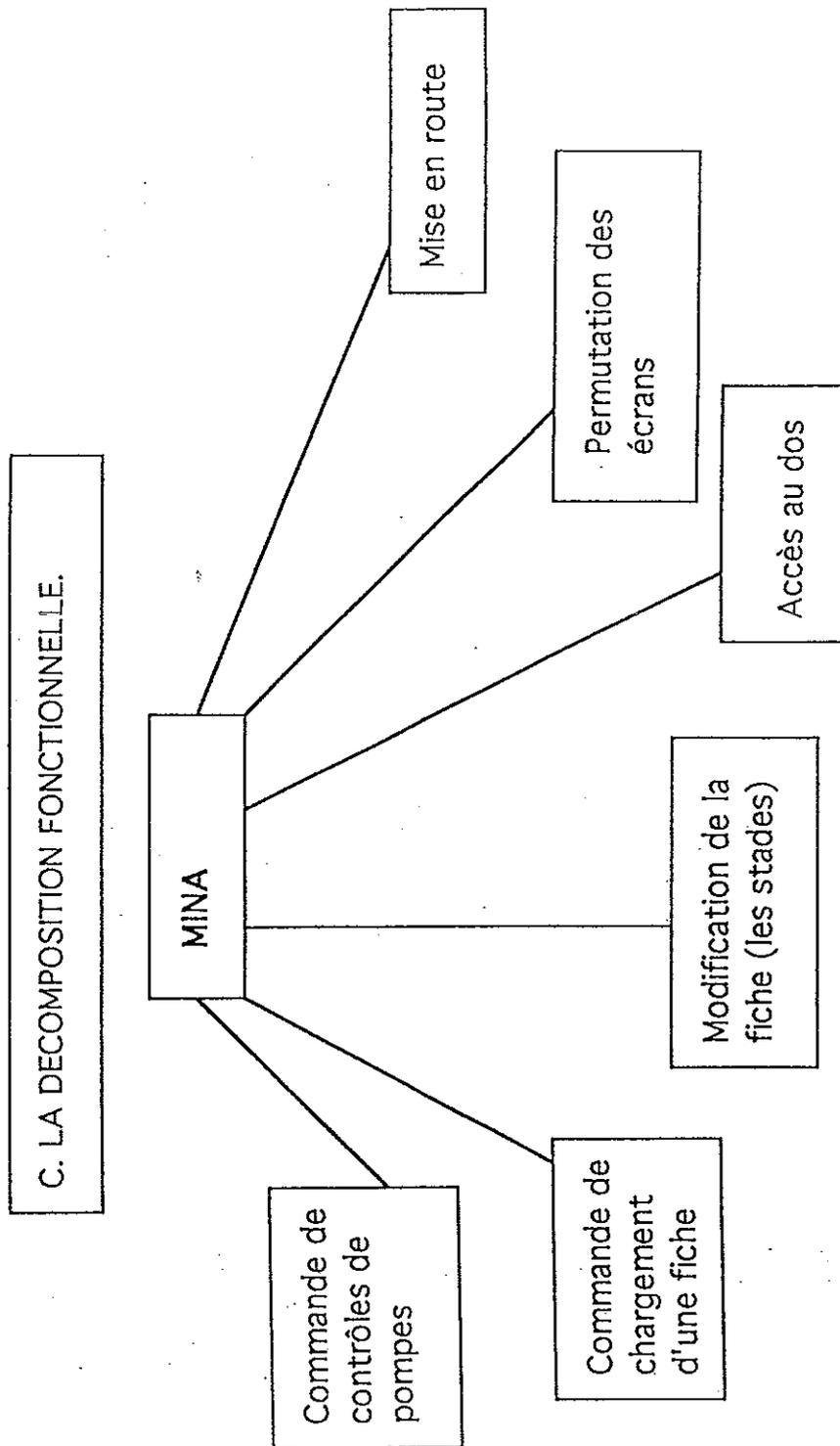
- AMALBERTI, R. (1993). Safety in flight operations. In B. Wilpert & T. Qvale (Eds), *Reliability and safety in hazardous work systems : approaches to analysis and design*. Hillsdale : Erlbaum.
- ANDERSON, J.R. (1982). Acquisition of cognitive skills. *Psychological Review*, 89, 369-406.
- BAINBRIDGE, L. (1987). Ironies of Automation. In J. Rasmussen, K. Duncan & J. Leplat (Eds), *New technology and human error*. London : Wiley.
- BAINBRIDGE, L. (1989). Development of skill, reduction of workload. In L. Bainbridge, & A. Ruiz Quintanilla (Eds.), *Developping Skills with Information Technology*. Chichester : Wiley & Sons.
- BAUER, D.W. (1981). The representation of command language syntax, *Human Factors*, 28(1), 1-10.
- BRINKMAN, J.A. (1990). *The analysis of fault diagnosis task. Do verbal reports speak for themselves ?* Unpublished doctoral dissertation, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven.
- CAMUS, J.F. (1996). *La psychologie cognitive de l'attention*. Paris : Armand Colin.
- CARD, S.K, MORAN, T.P. & NEWELL, A. (1983). *The Psychology of Human Computer Interaction*. Broadway, N.J. : Laurence Erlbaum Associates Publishers.
- CELLIER, J.M. (1990). L'erreur humaine dans le travail. In J. Leplat, & G. de Terssac (Eds), *Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes*. Marseille : Octave Entreprises.
- COOK, R.I., WOODS, D.D. & HOWIE, M.B. (1990). The natural history of introducing new information technology into a high-risk environment. *Proceedings of the 34th Annual Human Factors Society Meeting*.
- COOK, R.I. & WOODS D.D. (1994). Operating at the sharp end : the complexity of human error. In M. S. Bogner (Ed), *Human error in medicine*. Hillsdale : Erlbaum.
- COOPER, B., NEWBOWER, R.S. & LONG, C.D. (1978). Preventable anaesthesia mishaps : a study of human factors. *Anesthesiology*, 49, 399-406.
- COOPER, J.B., NEWBOWER, R.S. & KITZ, R.J. (1984). An analysis of major errors and equipment failures in anesthesia management : considerations for prevention and detection. *Anesthesiology*, 60, 34-42.
- COUSIN, M.TH. (1994). Les examens complémentaires préopératoires : jusqu'où ne pas aller trop loin ? Le maintien raisonné. In A. Bénichou, *Journée d'Enseignement Post-Universitaire d'Anesthésie et de Réanimation*. Arnette: Paris.
- COX, C. & OAKES, D. (1994). *Analysis of survival data*. Chapman & Hall.
- FELTOVITCH, P.J., SPIRO, R.J. & COULSON, R.L. (1989). The nature of conceptual understanding in biomedicine : The deep structure of complex ideas and the development of misconceptions. In D.A. Evans & V.L. Patel (Eds), *Cognitive Science in Medicine*. Cambridge, MA : MIT (Bradford) Press.
- GABA, D., FISH, K., & HORWARD, S. (1994). *Crisis management in anesthesiology*. New York : Churchill Livingstone.
- GRAVENSTEINS, J.S., NEWBOWER, R.S., REAN, A.K. & SMITH, N.T. (Eds) (1979). *Monitoring surgical patients in the operating room*. Springfield, IL: Thomas.
- HACHÉ, A. (1993). Evaluation d'un monitoring de surveillance en anesthésie. Mémoire de fin d'études (non publié), Service de Psychologie du Travail, Université de Liège.
- HOC, J.M., AMALBERTI, R. & BOREHAM, N. (1995). Human operator expertise in diagnosis, decision-making and time management. In J.M. Hoc, P.C. Cacciabue & E. Hollnagel, *Expertise and Technology*. Hillsdale : Erlbaum.
- HOC, J.M. (1996). *Supervision et contrôle de processus. La cognition en situation dynamique*. Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.
- HOLLNAGEL, E. (1993). Models of cognition : procedural prototypes and contextual control. *Le travail humain*, 56, 1/1993, 27-57.
- IOSIF, G.H. & VOCHITA, Z. (1992). The anticipation to the operator. *Revue roumaine de psychologie*, 36, 39-45.

- KIERAS, D.E. & POSLON, P.G. (1985). An Approach to the formal Analysis of User Complexity. *International Journal of Man-Machine Studies*, 22, 365-394.
- MALINE, J. (1997). Simuler pour approcher la réalité des conditions de réalisation du travail : la gestion du paradoxe. In P. Beguin, A.W. Fassina (Eds), *La simulation en ergonomie : connaître, agir et interagir*. Toulouse : Octares.
- MITDLAND, K. (1993). A cognitive Theoretical Framework For Investigating The Presentation of Information to drivers. CEC, DGIII, Rapport TOI, Drive II Project V2008, Deliverable 10.
- PAETAU, M. (1988). Evaluation der Mensch-Maschine Kommunikation mit Hilfe des Evadis Vufahrens, *State of the Art*, 5, 191-203.
- RASMUSSEN, J. (1986). A framework for cognitive task analysis in system design. In E. Hollnagel, G. Mancini & D. Woods (Eds), *Intelligent decision support in process environments* (NATO ASI Series, vol.F21). Berlin Heidelberg : Springer Verlag.
- REASON, J. (1988). Cognitive aids in process environments : protheses or tools ? In E. Hollnagel, G. Mancini, D.D. Woods (Eds), *Cognitive engineering in complex dynamic worlds*. p. 7-14. London : Academic Press.
- REASON, J. (1990). *Human error*. Cambridge : Cambridge University Press.
- SAMURÇAY, R. (1995). Role of the causal information system in the internalization of a continuous process knowledge. Paper presented at the *5th European Meeting on Cognitive Science Approaches to Process Control*. Espoo, Finland, Aug.
- SANDERSON, P. (1993). *MacSHAPA version 0.3 manual*. Dept. of M & I.E. Urbana, IL.
- SARTER, N.B. & WOODS, D.D. (1994). Pilot interaction with cockpit automation II: an experimental study of pilot's model and awareness of the Flight Management System (FMS). *International Journal of Aviation Psychology*, 4, 1-28.
- SARTER, N.B. & WOODS, D.D. (1995). Strong, silent, and out-of-the-loop : properties of advanced (cockpit) automation and their impact on human-automation interaction. *CSEL Report-95-TR-01*. Columbus, Ohio State University.
- SCAPIN, D. (1986). Guide ergonomique de conception des interfaces homme-machine. Rapport technique N° 77, INRIA Rocquencourt.
- SERVIN, F. (1995). En faveur de l'anesthésie intraveineuse. *Zeneca, Repères en anesthésie*, p.5.
- VAN COTT, H.P. & KINKAKE, R.G. (1972). *Human Engineering guide to equipment design*. Washington, DC : US Government Printing Office.
- SWEENEY, M., MAGUIRE, M. & SHACKEL, B. (1993). Evaluating user-computer interaction: a framework. *Int. J. Man-Machine Studies*, 38, 689-711.
- WIENER, E.L. & CURRY, R.E. (1980). Flight-deck automation : promises and problems. *Ergonomics*, 23, 995-1011.
- WOODS, D.D. (1986). Paradigms for Intelligent decision support. In E. Hollnagel, G. Mancini & D.D. Woods (Eds), *Intelligent decision support in process environments*. p.153-173. Heidelberg, Germany : Springer-Verlag.
- WOODS, D.D. (1995). Towards a Theoretical Base for Representation Design in the Computer Medium; Ecological Perception and Aiding Human Cognition. In J. Flach, P. Hancock, J. Caird & K. Vincente (Eds), *An Ecological Approach to Human Machine systems. I : Global Perspective*. Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- WOODSON, W.E. & CONOVER, D.W. (1973). *Human Engineering guide for equipment design*. 2nd ed. Berkeley, CA: University of California Press.
- XIAO, Y., MILGRAM, P. & DOYLE, D. (1992). Off-loading, prevention, and preparation : planning behaviors in complex system management. 25th Annual Conference of the *Human factors Association of Canada*. Mississauga, Ontario : Human Factors Association of Canada.
- XIAO, Y. (1994). *Interacting with complex work environments : a field study and planning model*. Unpublished Thesis, Departement of Industrial Engineering, Toronto, Ontario, Canada.

ANNEXE 1

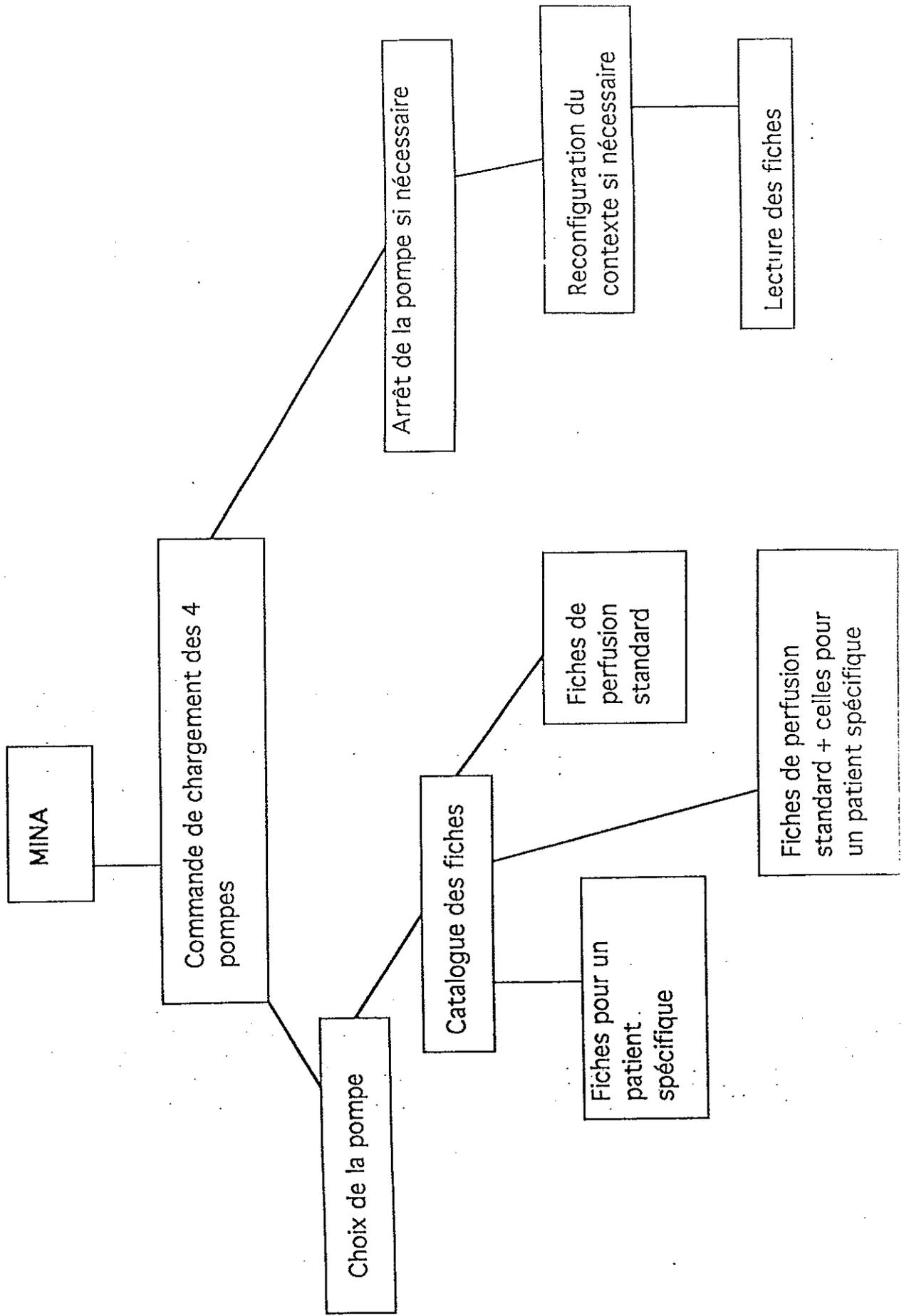
Exemple de résultats d'évaluation du système Mina

DÉCOMPOSITION FONCTIONNELLE

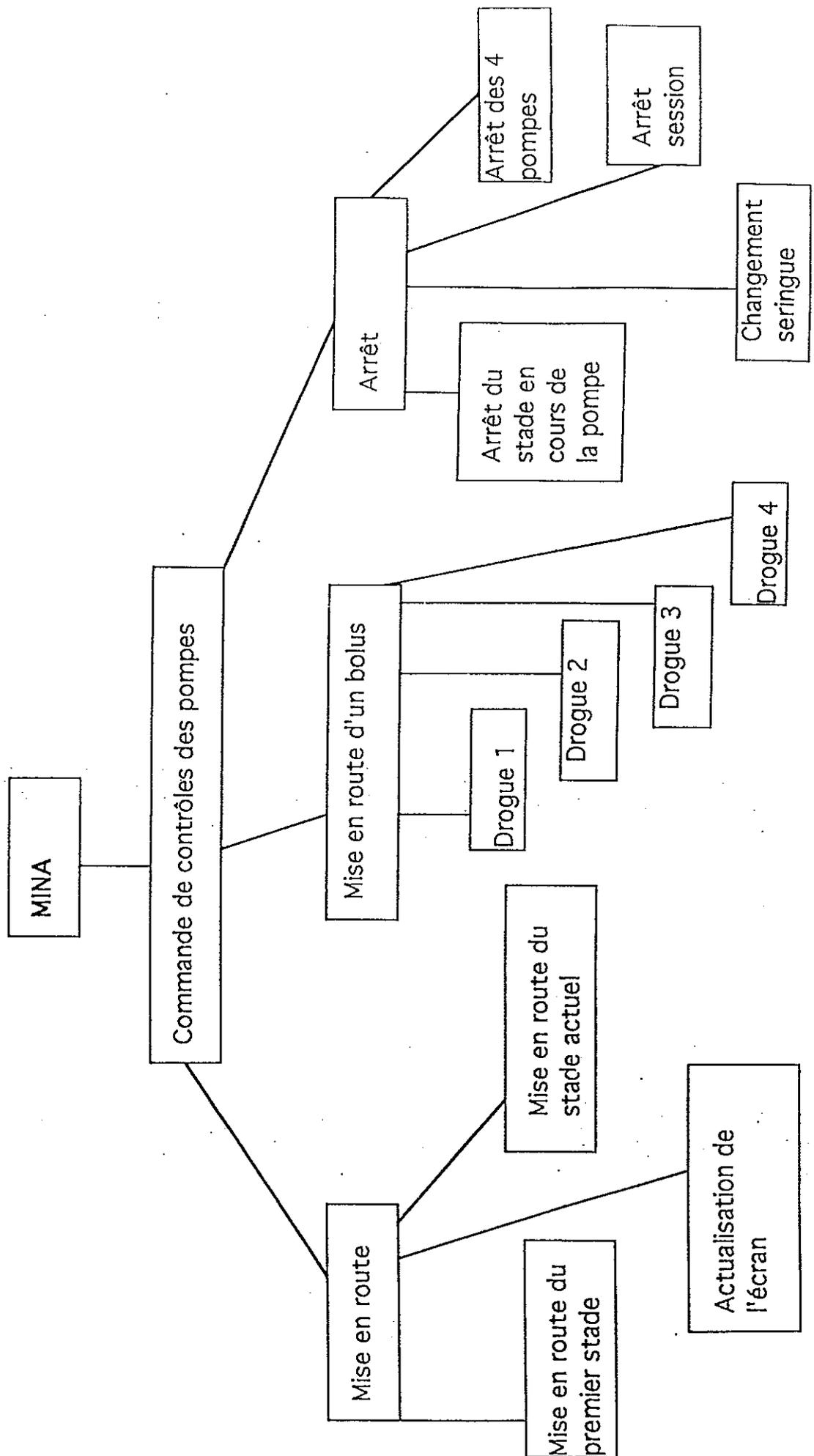


Remarques : Ce graphique représente les fonctions supérieures du logiciel.
 Chaque "boîte" comprend toute une série de fonctions
 (voir quelques exemples pages suivantes)

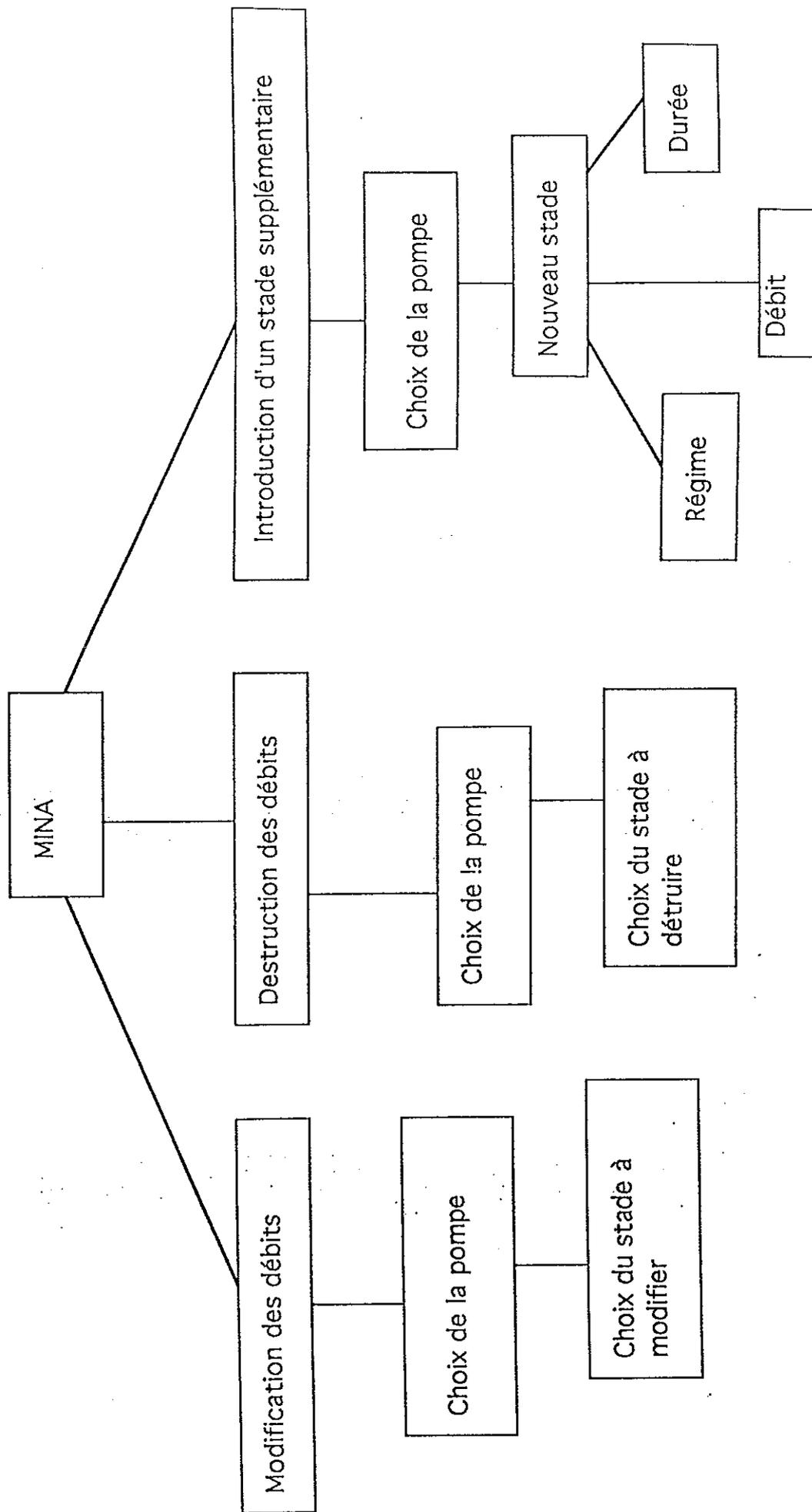
Exemples de la décomposition de la fonction "Commande de chargement des fiches"



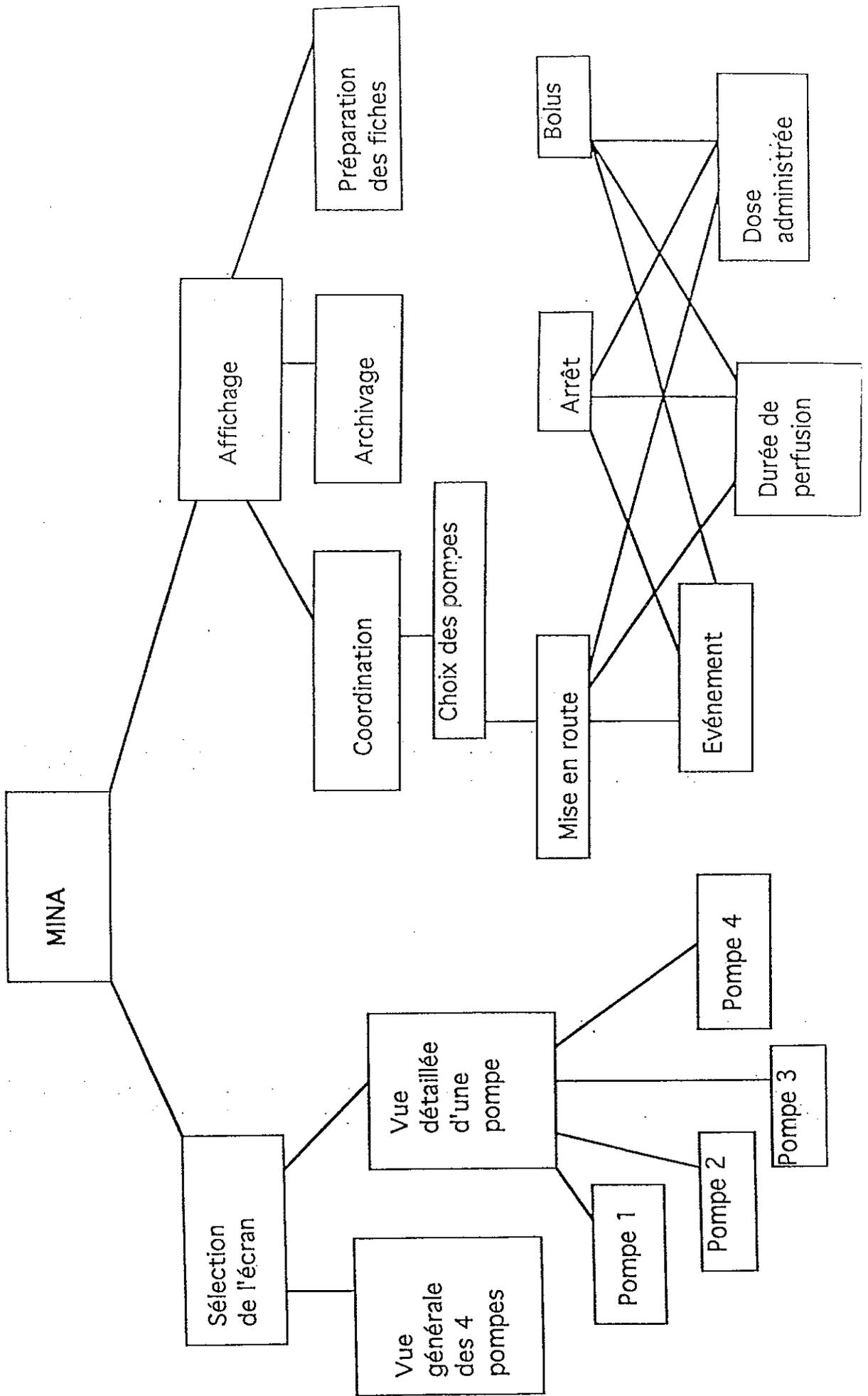
Exemples de la décomposition de la fonction "Commande de contrôles des pompes"



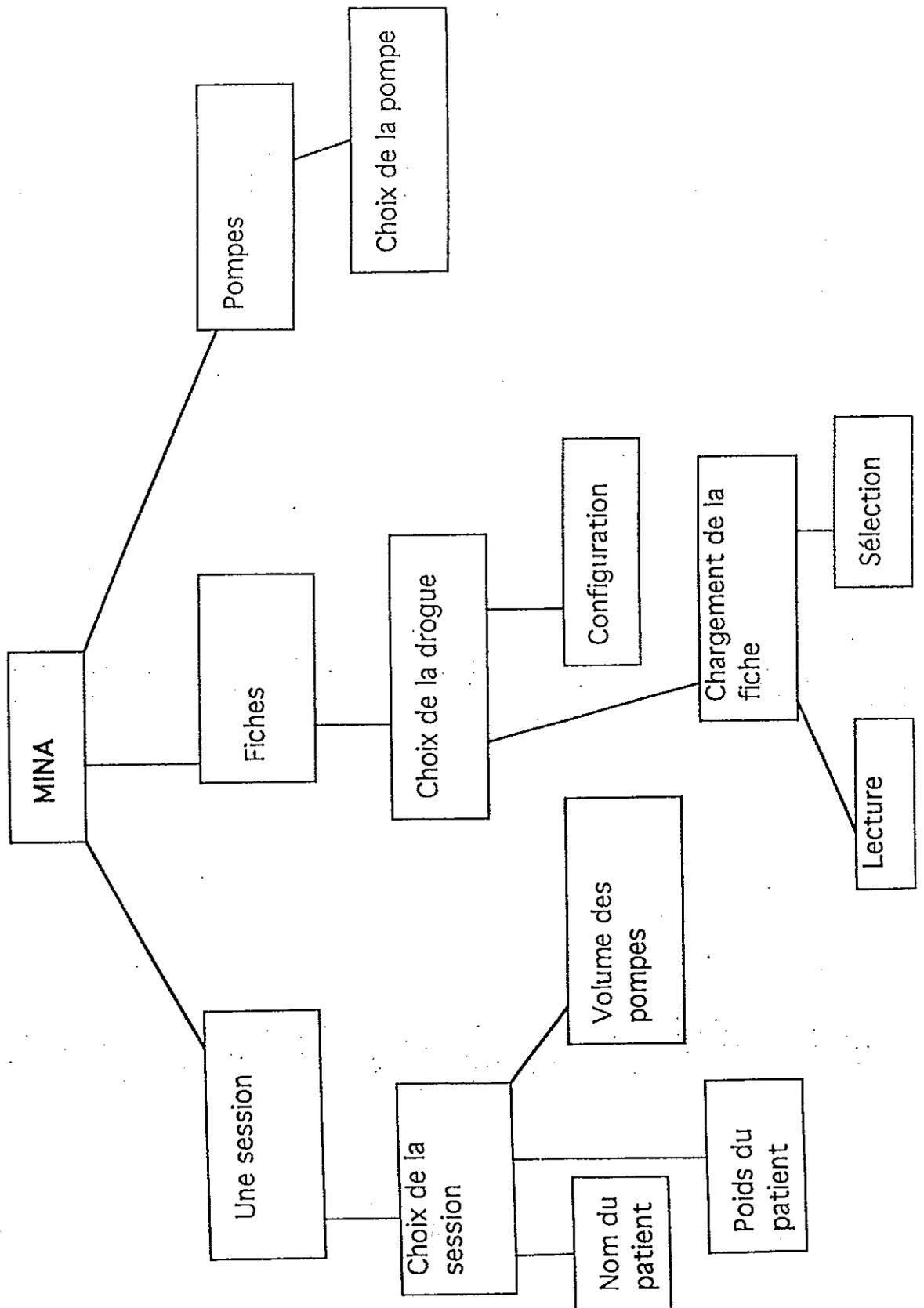
Exemples de la décomposition de la fonction "Modification des fiches (les stades)"



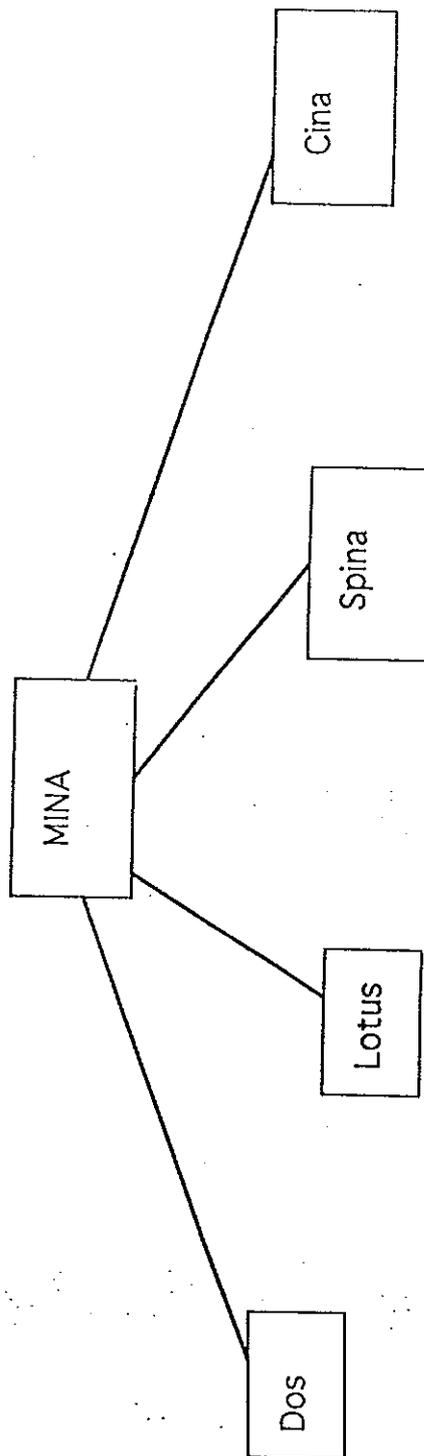
Exemples de la décomposition de la fonction "Permutation des écrans"



Exemples de la décomposition de la fonction "Mise en route"



Exemples de la décomposition de la fonction "Accès dos"

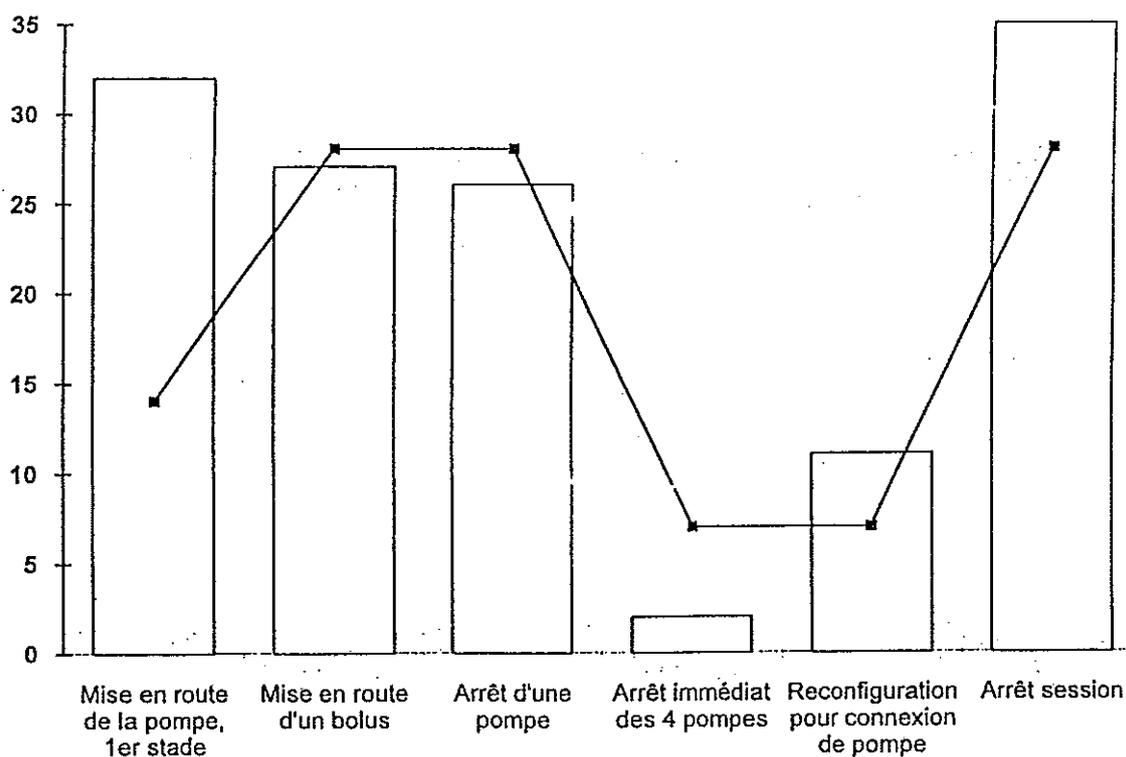


FRÉQUENCE D'UTILISATION

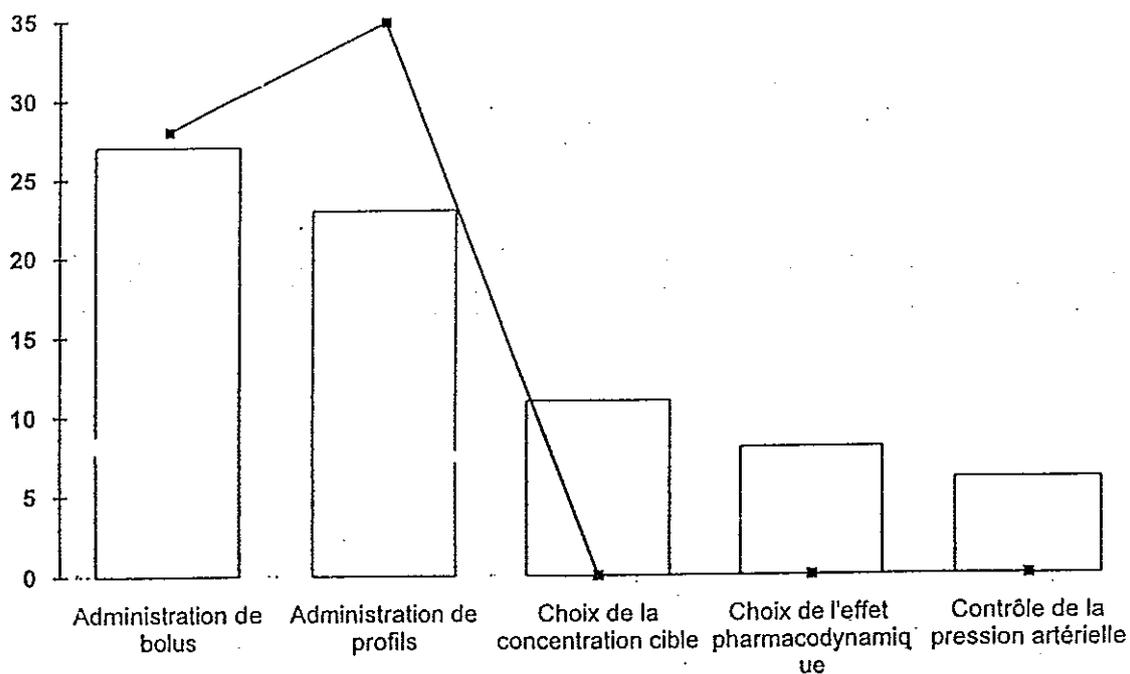
FREQUENCE UTILISATION

0 Jamais 1 Rarement 2 Parfois 3 Régulièrement 4 Souvent 5 Toujours

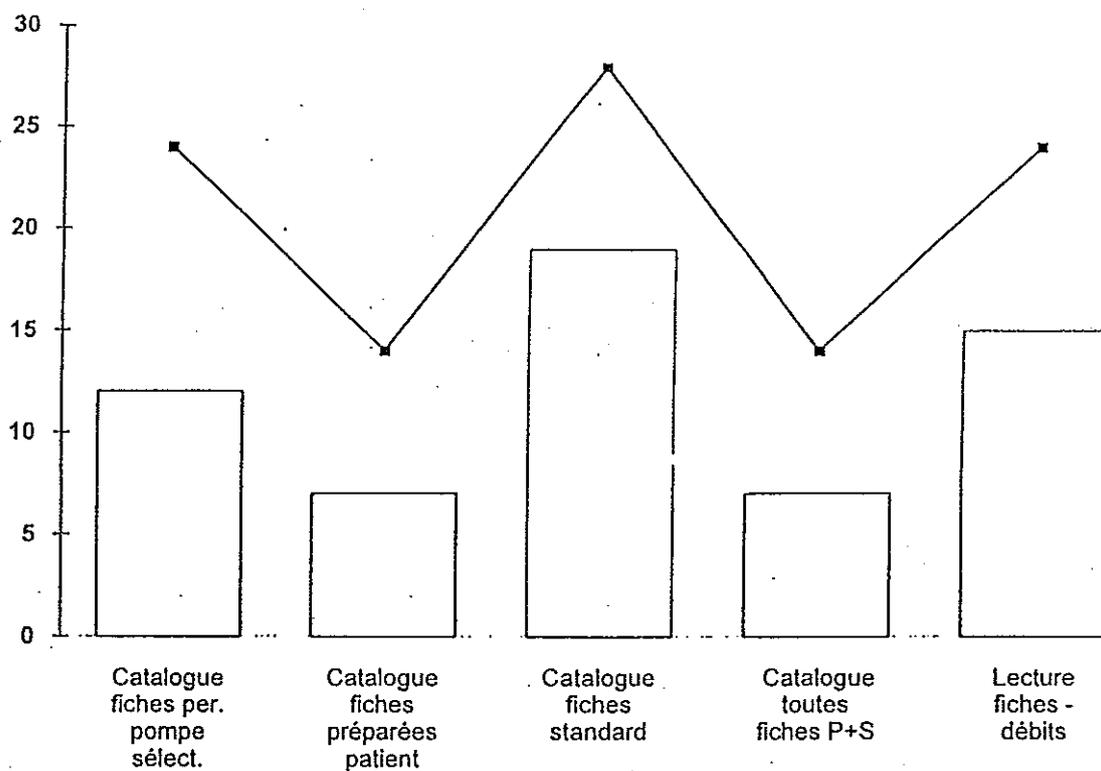
Commande de Contrôle des pompes de perfusion								
Paramètre	Valeur					S.Pond	Limit	
	0	1	2	3	4			5
Mise en route de la pompe, 1er stade				1	1	5	32	14
Mise en route d'un bolus				2	4	1	27	28
Arrêt d'une pompe		1	1	1		4	26	28
Arrêt immédiat des 4 pompes	5	2					2	7
Reconfiguration pour connexion de pompe	2	1	2	2			11	7
Arrêt session						7	35	28



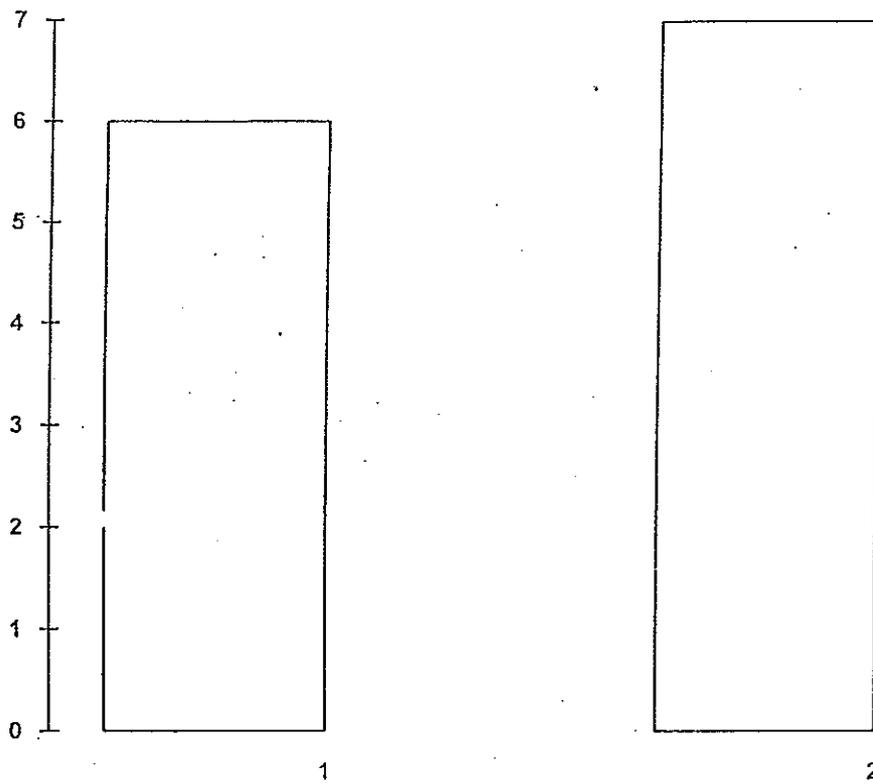
Choix de l'administration de l'anesthésie								
Paramètre	Valeur						S.Pond	Limit
	0	1	2	3	4	5		
Administration de bolus			1	1	3	2	27	28
Administration de profils	2			1		4	23	35
Choix de la concentration cible	4			2		1	11	0
Choix de l'effet pharmacodynamique	5			1		1	8	0
Contrôle de la pression artérielle	5			2			6	0



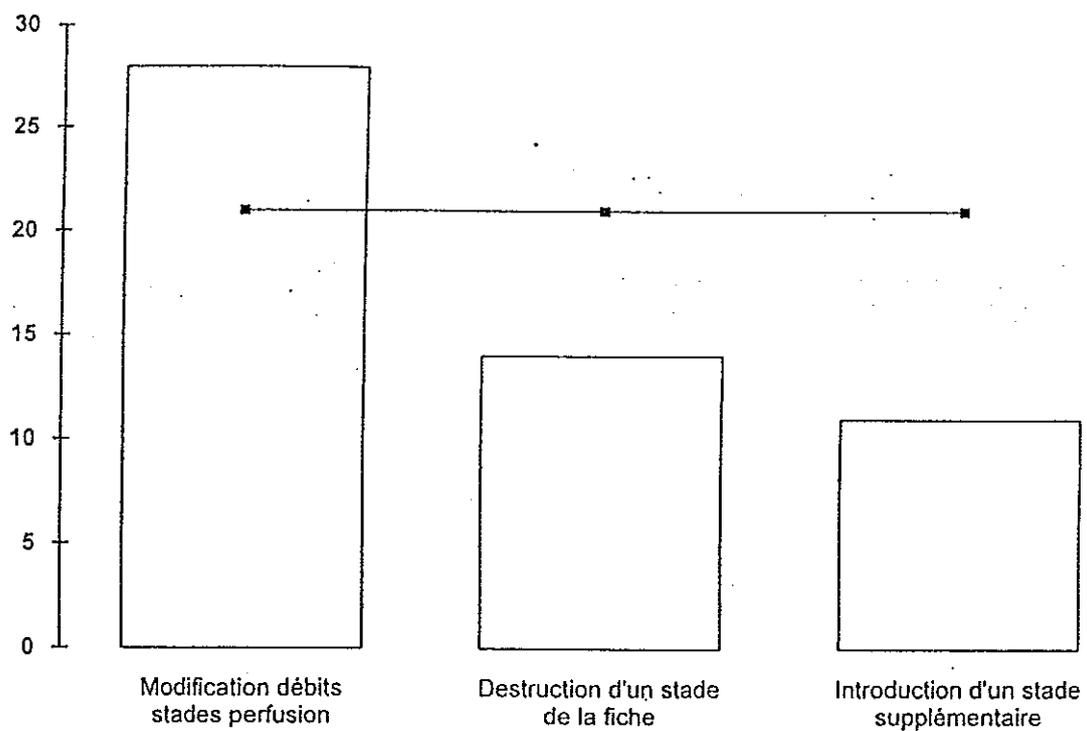
Commandes de Chargement de fiche de perfusion								
Paramètre	Valeur						S.Pond	Limit
	0	1	2	3	4	5		
Catalogue fiches per. pompe sélect.	2	2		2	1		12	24
Catalogue fiches préparées patient	4	1	1		1		7	14
Catalogue fiches standard	1	1	1	2		2	19	28
Catalogue toutes fiches P+S	5			1	1		7	14
Lecture fiches -débits	1	1	2	2	1		15	24



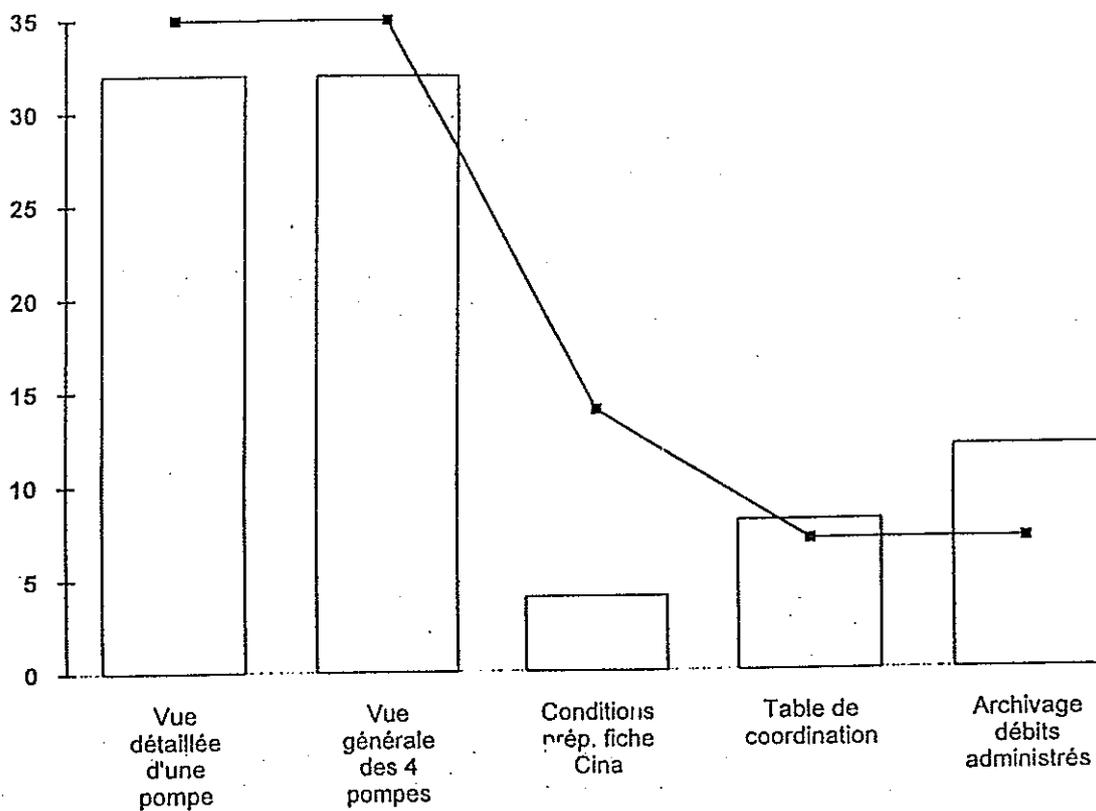
Accès au Dos								
Paramètre	Valeur						S.Pond	Limit
	0	1	2	3	4	5		
Accès au Dos	3	2	2				6	7



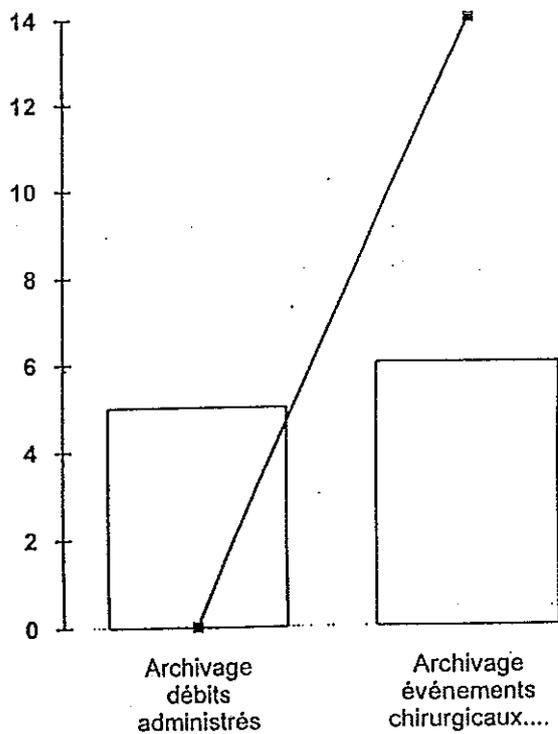
Fonction de Modification de la fiche de perfusion								
Paramètre	Valeur						S.Pond	Limit
	0	1	2	3	4	5		
Modification débits stades perfusion				1	5	1	28	21
Destruction d'un stade de la fiche	1	2	1	2	1		14	21
Introduction d'un stade supplémentaire		4	2	1			11	21



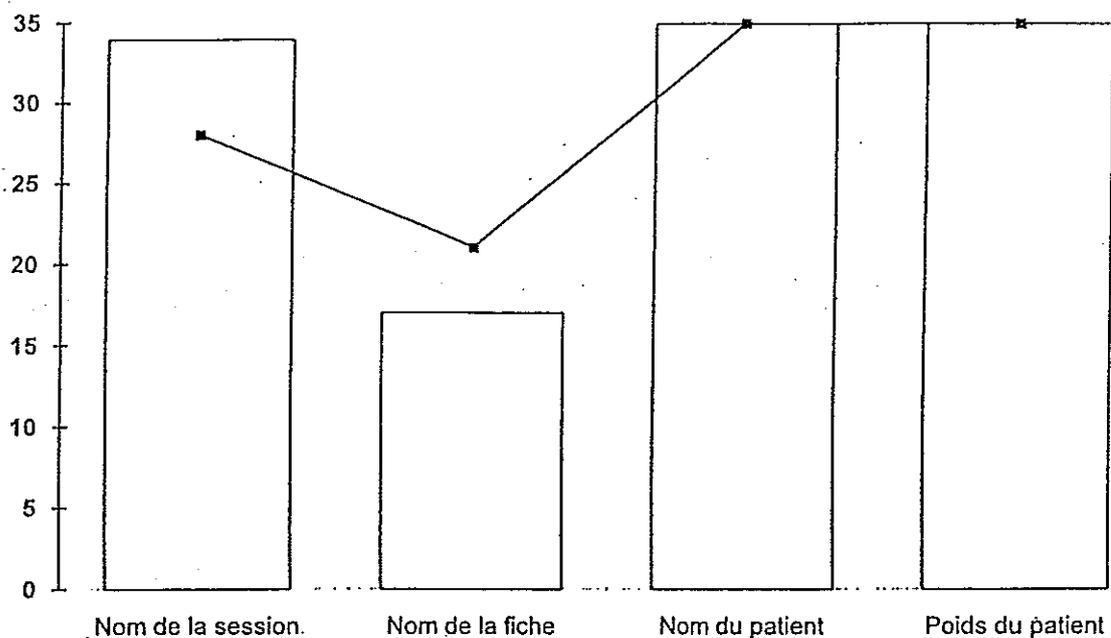
Fonction de Visualisation des écrans								
Paramètre	Valeur					S.Pond	Limit	
	0	1	2	3	4			5
Vue détaillée d'une pompe					3	4	32	35
Vue générale des 4 pompes					3	4	32	35
Conditions prép. fiche Cina	5		2				4	14
Table de coordination	4		2		1		8	7
Archivage débits administrés	3		2	1		1	12	7



Préparation de la feuille d'anesthésie							
Paramètre	Valeur					S.Pond	Limit
	0	1	2	3	4		
Archivage débits administrés	5		1	1			0
Archivage événements chirurgicaux....	5			2			14



Mise en route								
Paramètre	Valeur					S.Pond	Limit	
	0	1	2	3	4			5
Nom de la session					1	6	34	28
Nom de la fiche	2	2				3	17	21
Nom du patient						7	35	35
Poids du patient						7	35	35

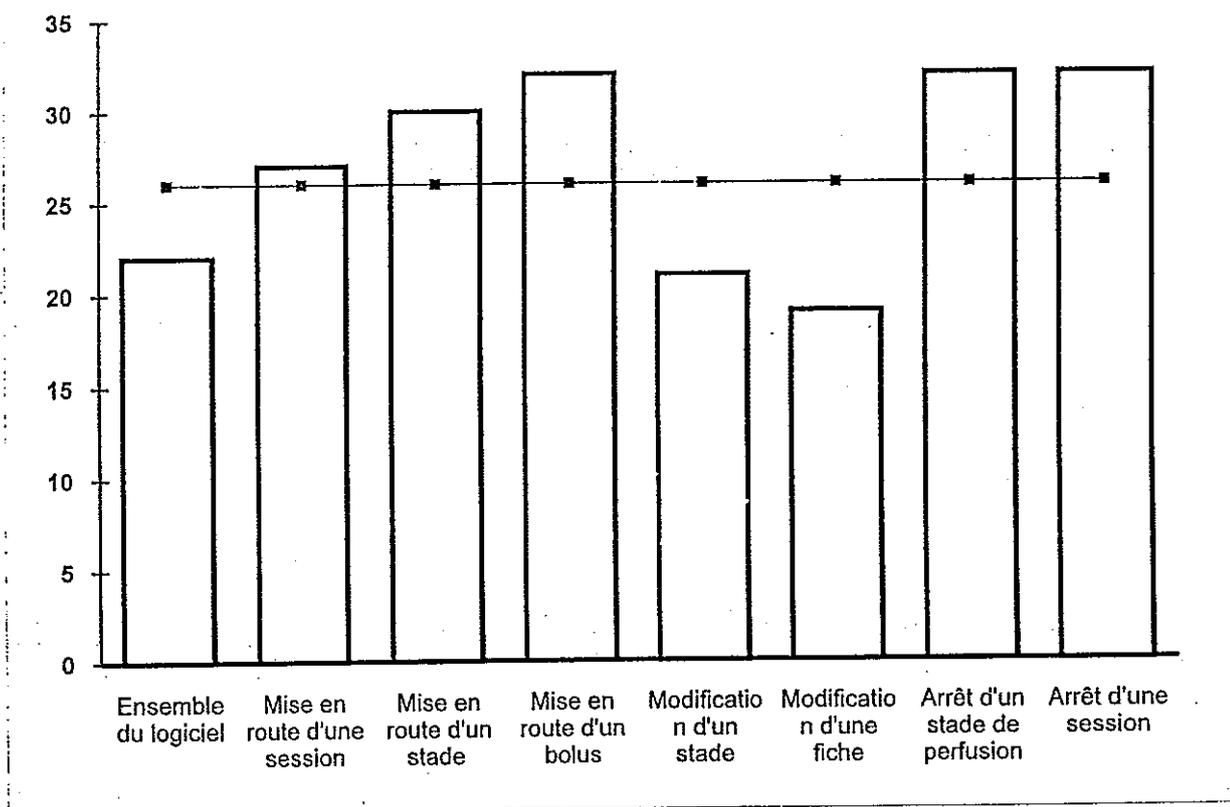


LES CRITÈRES

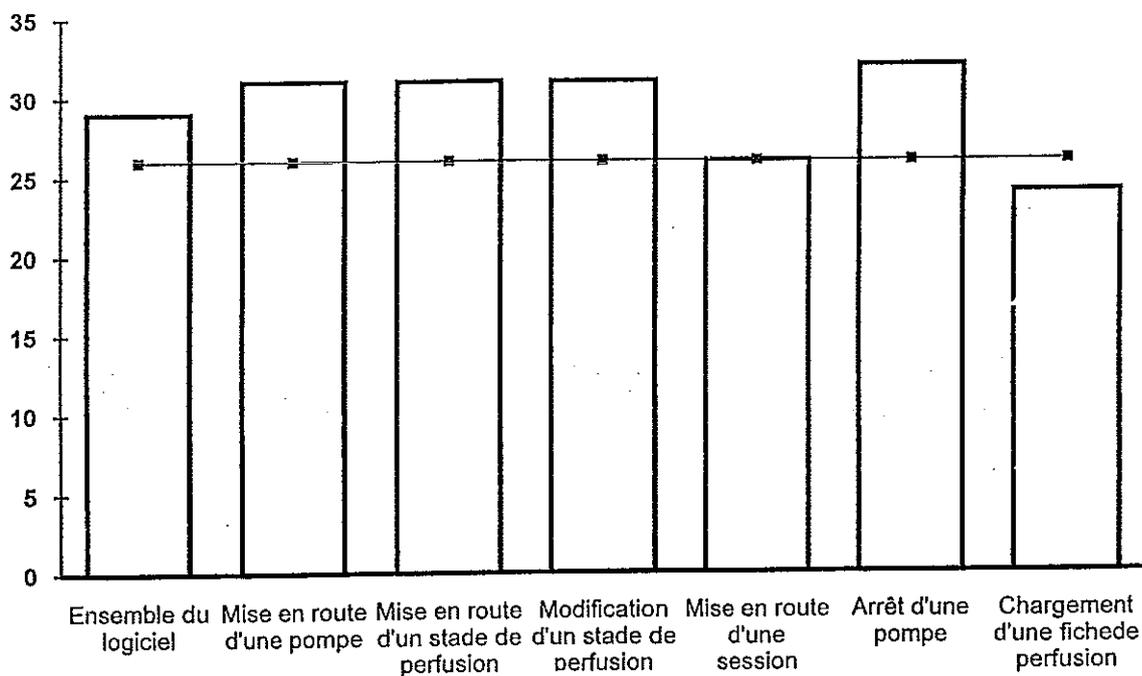
LES CRITERES

INSATISFAIT 0 1 2 3 4 5 SATISFAIT

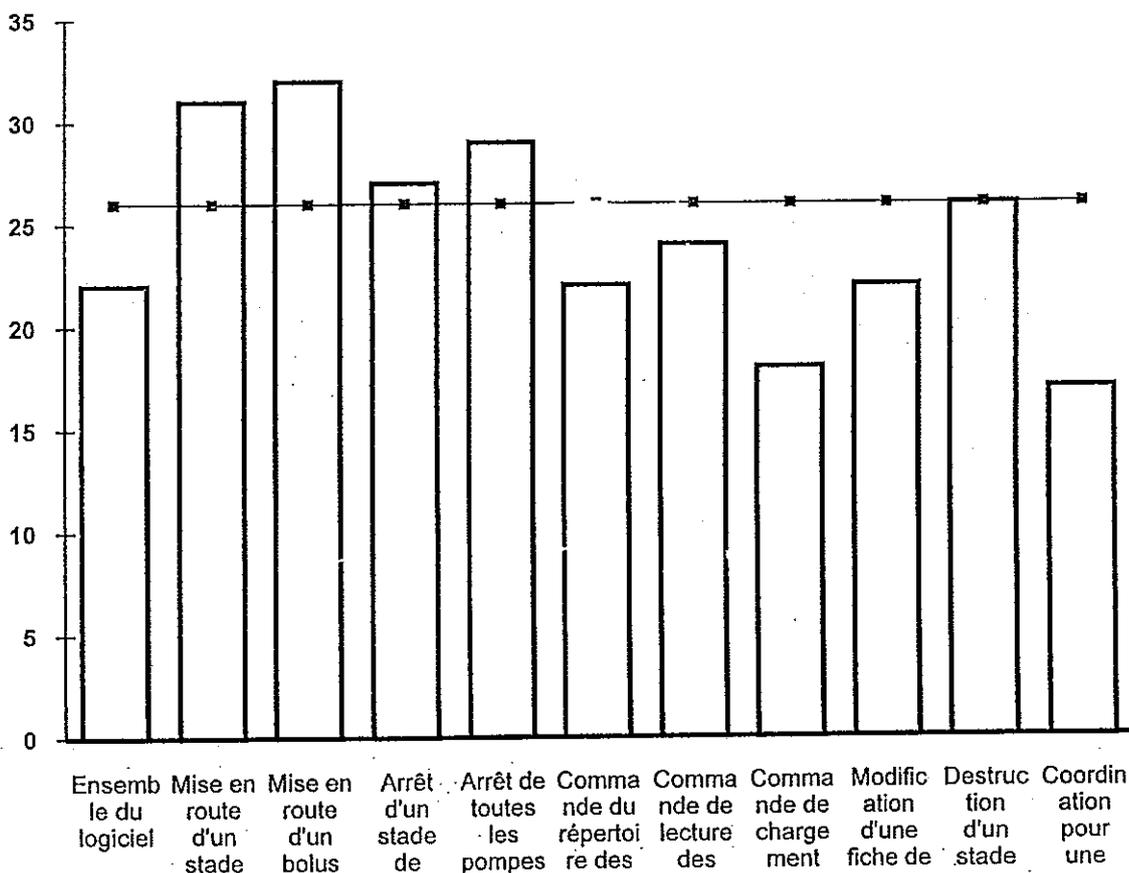
Critère 1 : Facilité d'accès							
	Valeur						S.Pond
	0	1	2	3	4	5	
Ensemble du logiciel		1	1	2	2	1	22
Mise en route d'une session		1	1		1	4	27
Mise en route d'un stade				1	3	3	30
Mise en route d'un bolus					2	5	32
Modification d'un stade		1		5		1	21
Modification d'une fiche			4	2		1	19
Arrêt d'un stade de perfusion				1	1	5	32
Arrêt d'une session				1	1	5	32



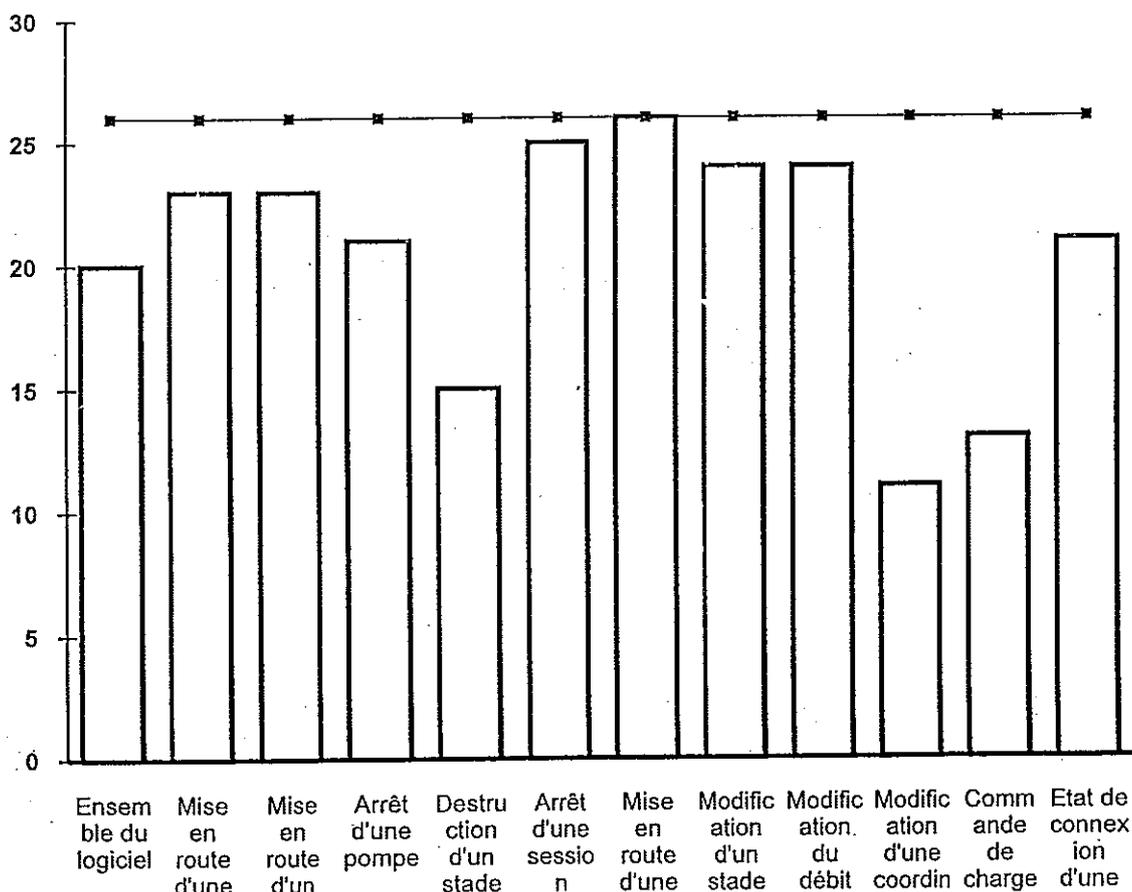
CRITERE 2 : HOMOGENEITE DES REGLES D'INVOCATION DES FONCTIONS							
	Valeur						S.Pond
	0	1	2	3	4	5	
Ensemble du logiciel				2	2	3	29
Mise en route d'une pompe				1	2	4	31
Mise en route d'un stade de perfusion				1	2	4	31
Modification d'un stade de perfusion				1	2	4	31
Mise en route d'une session	1			1	2	3	26
Arrêt d'une pompe					2	5	32
Chargement d'une fiche de perfusion		1	1	1	2	2	24



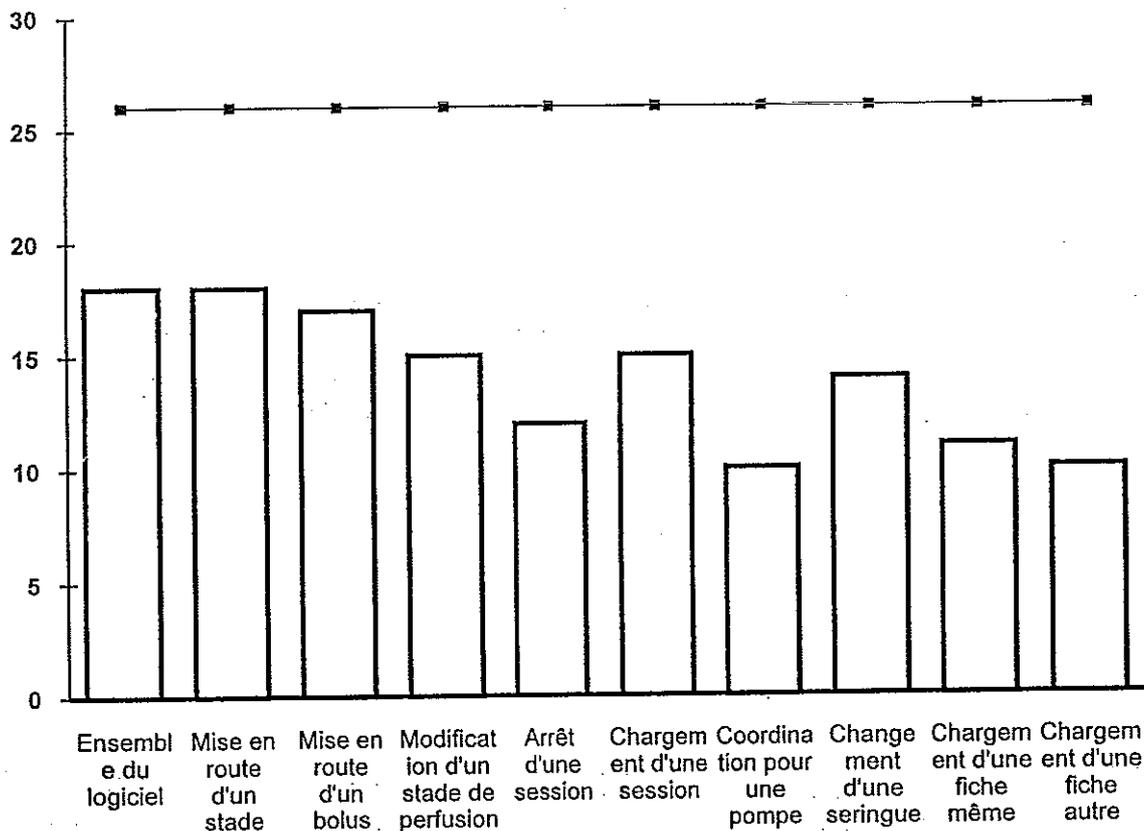
CRITERE 3 : PREVESIBILITE							
	Valeur					S.Pond	
	0	1	2	3	4		5
Ensemble du logiciel				6	1		22
Mise en route d'un stade de perfusion				1	2	4	31
Mise en route d'un bolus				1	1	5	32
Arrêt d'un stade de perfusion				1	3	3	27
Arrêt de toutes les pompes				2	2	3	29
Commande du répertoire des fiches	1		2	1		3	22
Commande de lecture des fiches	1		3	1		3	24
Commande de chargement des fiches	1	1		3	2		18
Modification d'une fiche de perfusion	1			3	2	1	22
Destruction d'un stade de perfusion			2	1	1	3	26
Coordination pour une pompe	1	1	2	1	1	1	17



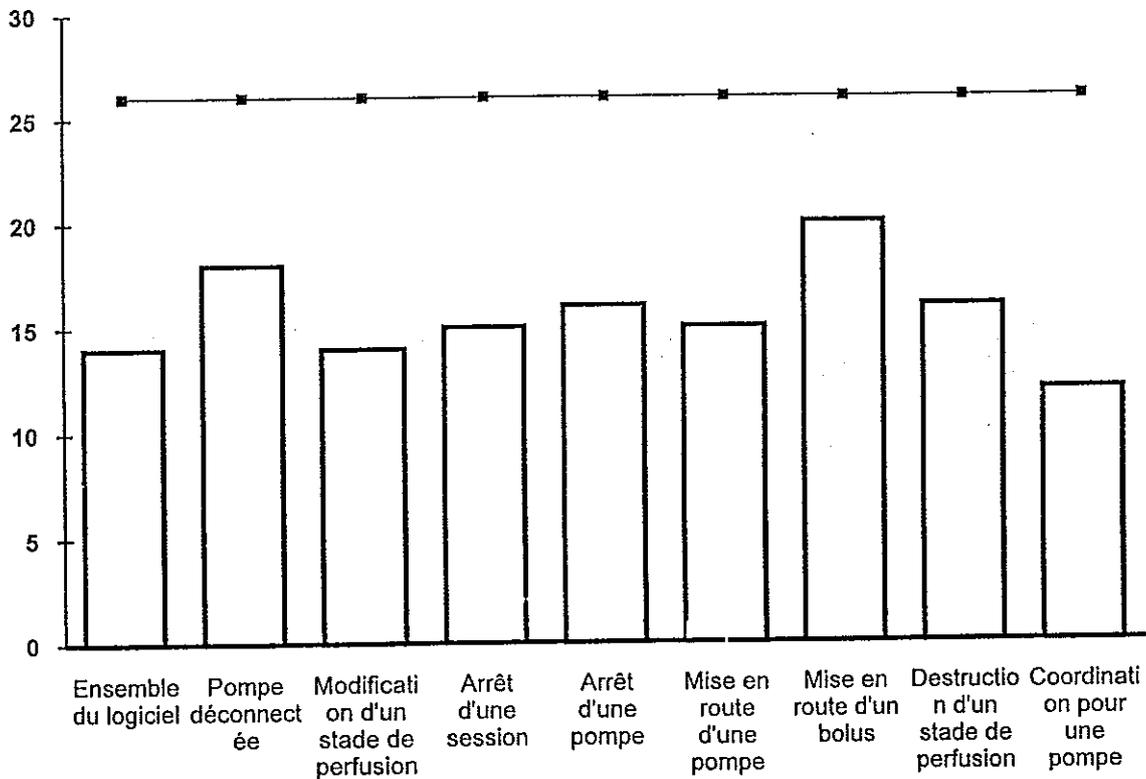
CRITERE 4 : FEEDBACK SUR UTILISATION							
	Valeur						S.Pond
	0	1	2	3	4	5	
Ensemble du logiciel		1	1	4		1	20
Mise en route d'une pompe		1	1	2	1	2	23
Mise en route d'un bolus		1	1	2	1	2	23
Arrêt d'une pompe			3	2	1	1	21
Destruction d'un stade de perfusion				2	1	1	15
Arrêt d'une session		1		2	2	2	25
Mise en route d'une session			1	2	2	2	26
Modification d'un stade de perfusion		1		2	3	1	24
Modification du débit d'un bolus		1		2	3	1	24
Modification d'une coordination	2	1	2	2			11
Commande de chargement d'une fiche	1	1	2		2	1	13
Etat de connexion d'une pompe	1		3			3	21



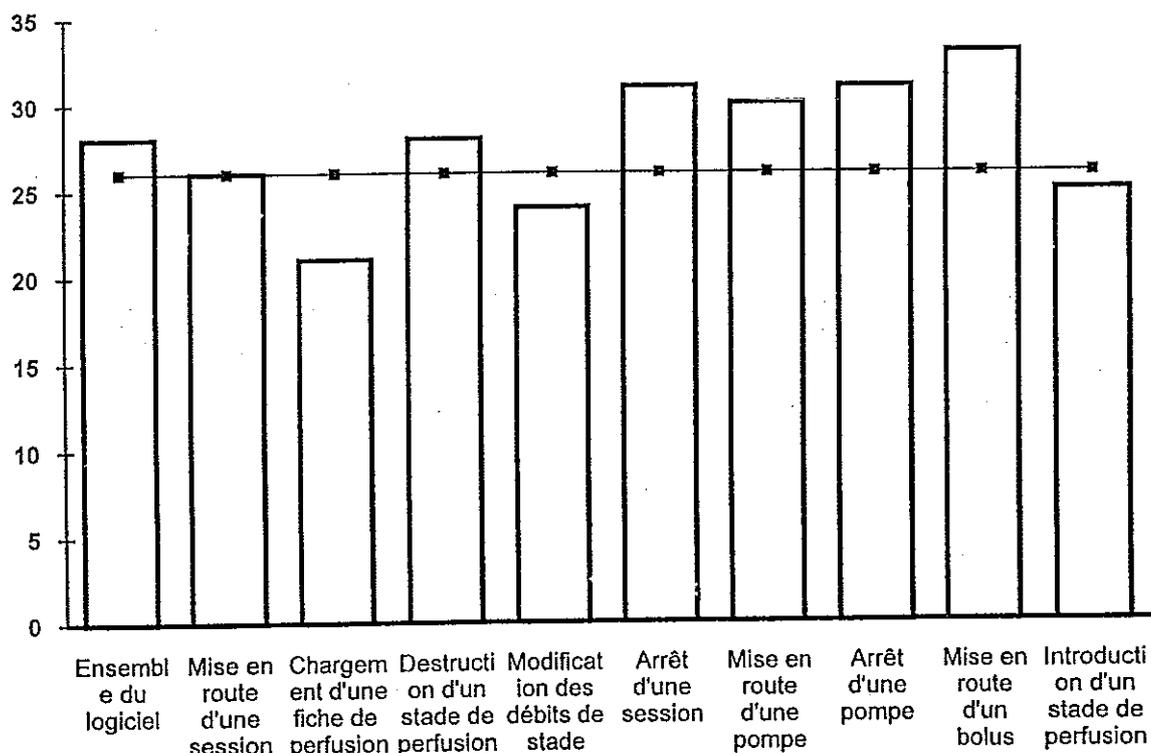
CRITÈRE 5 : ERREUR - PROTECTION : REVERSIBILITE							
	Valeur						S.Pond
	0	1	2	3	4	5	
Ensemble du logiciel	1	2	2	1	1	1	18
Mise en route d'un stade		3	1	1			18
Mise en route d'un bolus	1	2	1	1		2	17
Modification d'un stade de perfusion	1	2	2		1	1	15
Arrêt d'une session	2	2	1	1		1	12
Chargement d'une session	1	2	1	2		1	15
Coordination pour une pompe	3	2		1		1	10
Changement d'une seringue	2	2	1			2	14
Chargement d'une fiche même drogue	2	3		1		1	11
Chargement d'une fiche autre drogue	2	3	1			1	10



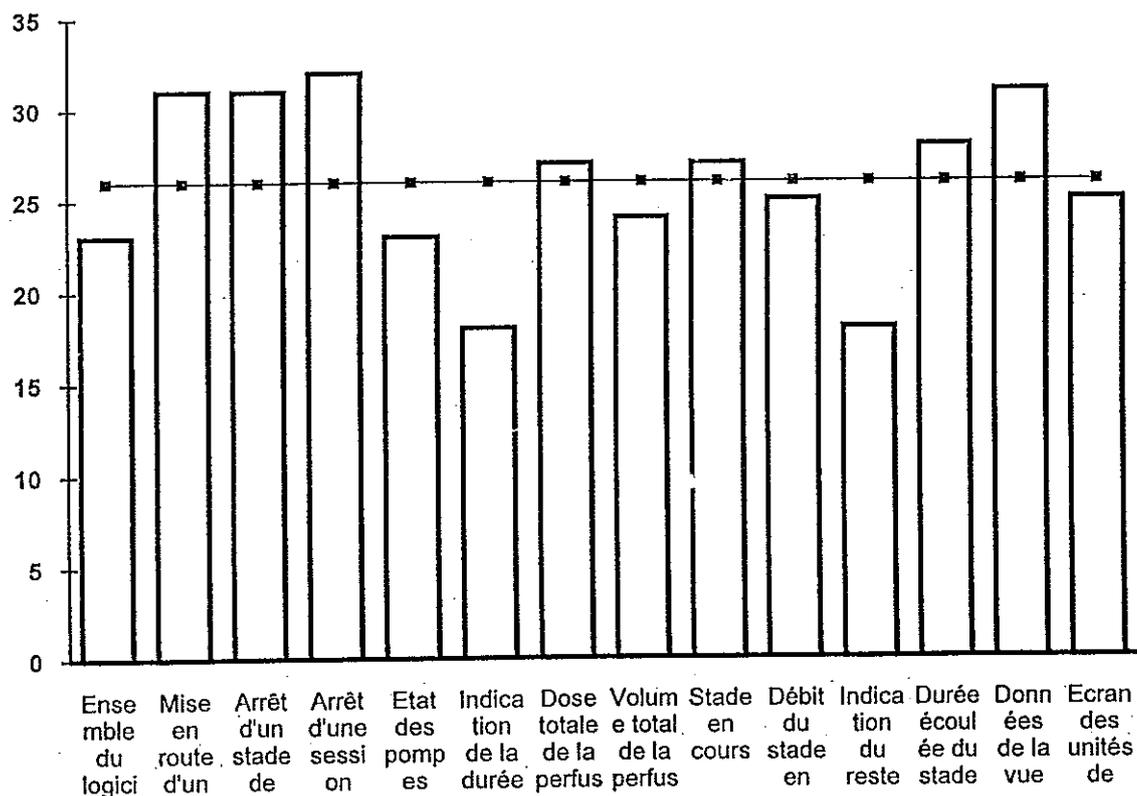
CRITÈRE 5 : ERREUR- DETECTION : SIGNALISATION							
	Valeur					S.Pond	
	0	1	2	3	4		
Ensemble du logiciel		3	3			1	14
Pompe déconnectée		3	1		2	1	18
Modification d'un stade de perfusion	1	1	2	1	2		14
Arrêt d'une session		4	1		1	1	15
Arrêt d'une pompe	1	2	2			2	16
Mise en route d'une pompe		2	4			1	15
Mise en route d'un bolus		3	1			3	20
Destruction d'un stade de perfusion	1	2	1	1	1	1	16
Coordination pour une pompe	2	2	1		2		12



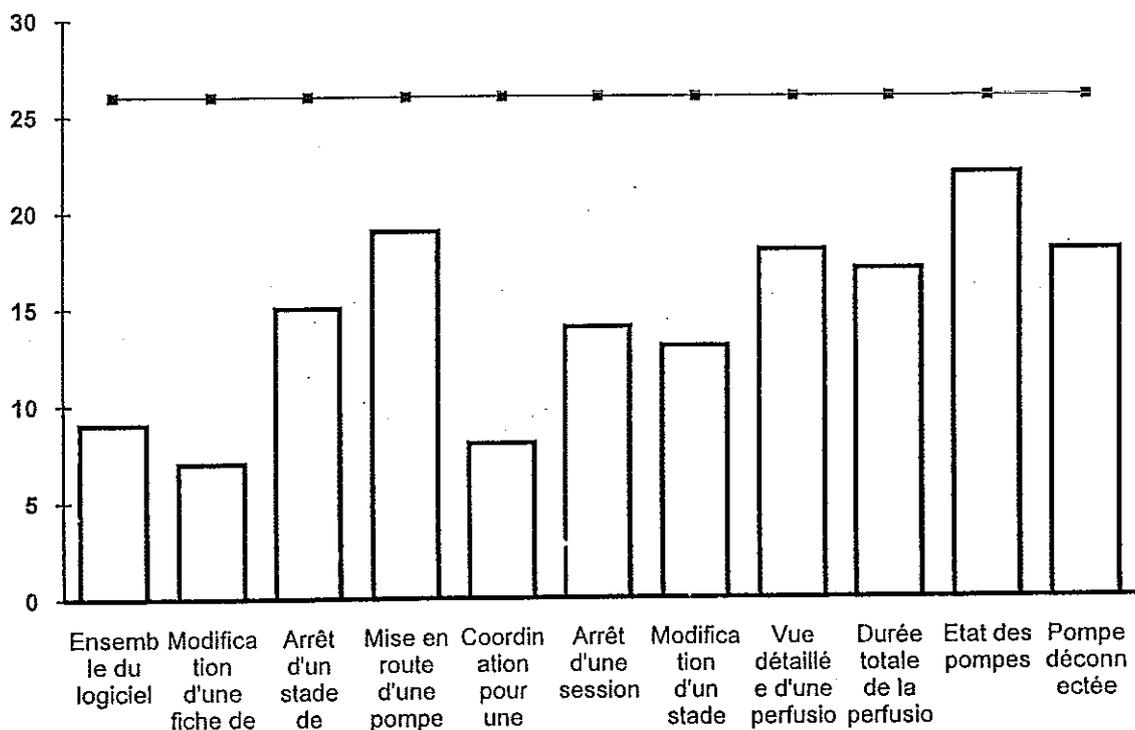
CRITERE 6 : VITESSE D'EXECUTION							
	Valeur						S.Pond
	0	1	2	3	4	5	
Ensemble du logiciel				1	5	1	28
Mise en route d'une session				3	3	1	26
Chargement d'une fiche de perfusion			2	3	2		21
Destruction d'un stade de perfusion				1	5	1	28
Modification des débits de stade			1	3	2	1	24
Arrêt d'une session					4	3	31
Mise en route d'une pompe				1	3	3	30
Arrêt d'une pompe					4	3	31
Mise en route d'un bolus					2	5	33
Introduction d'un stade de perfusion			1	1	5		25



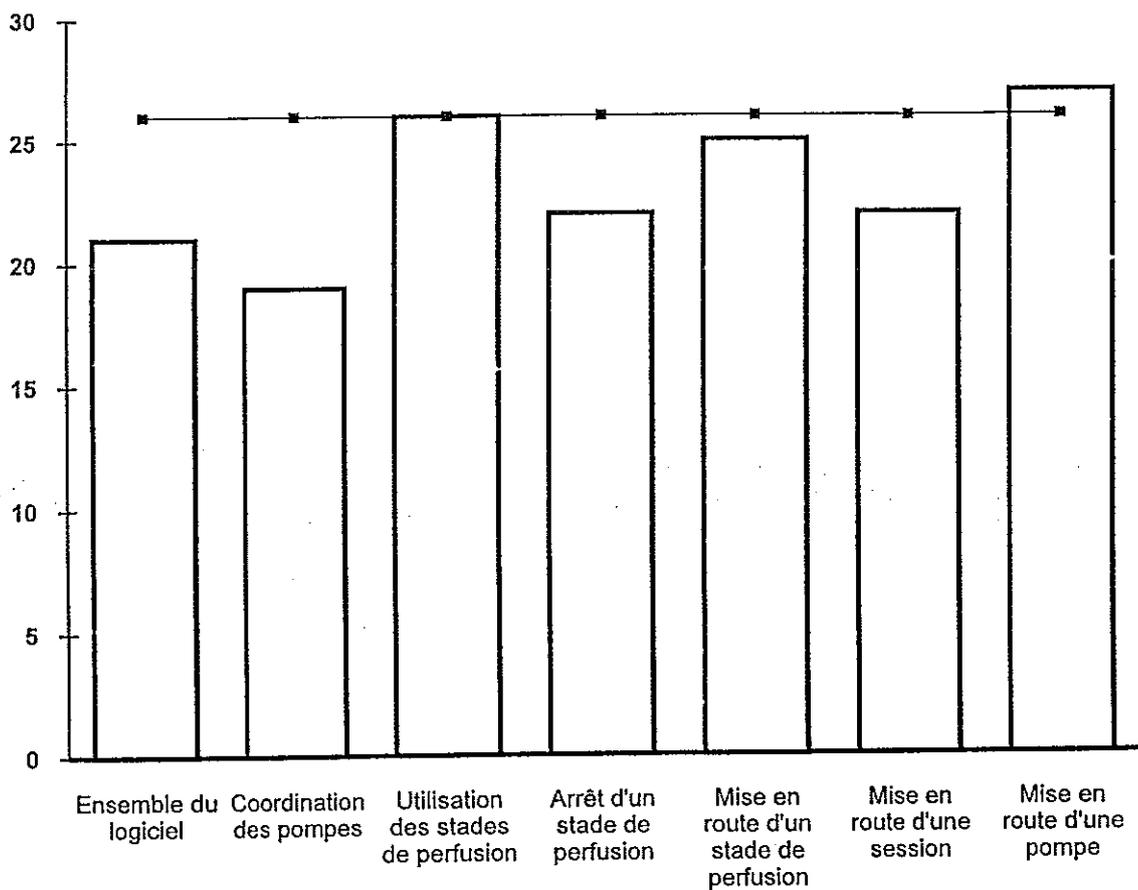
	CRITERE 7 : FIABILITE					S.Pond	
	Valeur						
	0	1	2	3	4		5
Ensemble du logiciel		1		2	4		23
Mise en route d'un bolus					4	3	31
Arrêt d'un stade de perfusion				1	2	4	31
Arrêt d'une session					3	4	32
Etat des pompes		1	1	1	3	1	23
Indication de la durée totale de perfusion	2	1		1	1	2	18
Dose totale de la perfusion		1		1	2	3	27
Volume total de la perfusion		2		1	1	3	24
Stade en cours				3	2	2	27
Débit du stade en cours		1		2	2	2	25
Indication du reste de la durée de perf.	1	2		2		2	18
Durée écoulée du stade en cours				3	1	3	28
Données de la vue détaillée perfusion				1	2	4	31
Ecran des unités de perfusion		1	1	1	1	3	25



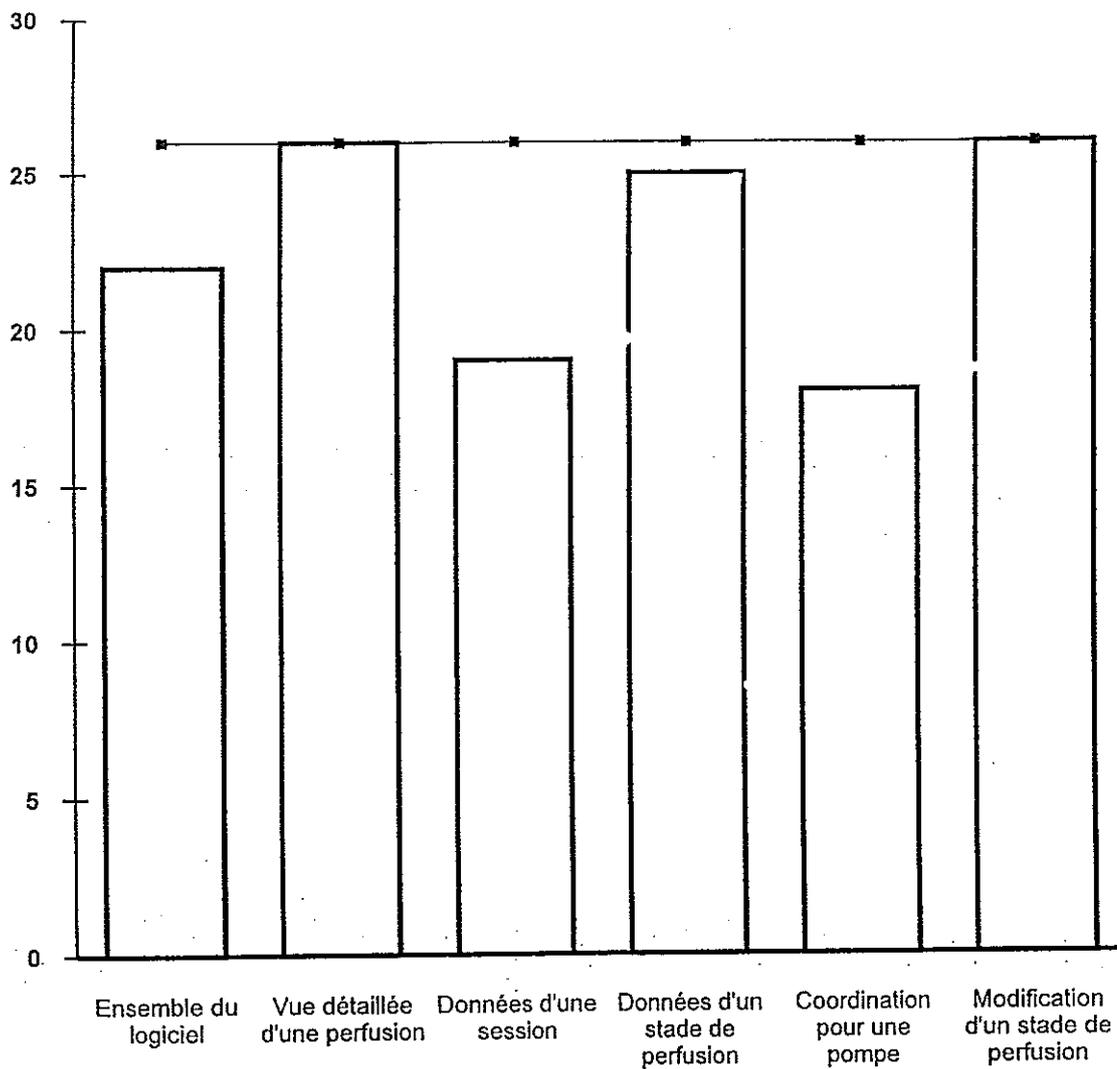
CRITERE 8 : DOCUMENTATION							
	Valeur						S.Pond
	0	1	2	3	4	5	
Ensemble du logiciel	2	3	1		1		9
Modification d'une fiche de perfusion	3	2	1	1			7
Arrêt d'un stade de perfusion	1	3	1			2	15
Mise en route d'une pompe	1	2		1	1	2	19
Coordination pour une pompe	3	2	1		1		8
Arrêt d'une session	1	2		2	1	1	14
Modification d'un stade de perfusion	1	3		2	1		13
Vue détaillée d'une perfusion	1	2	1		1	2	18
Durée totale de la perfusion	1	2	1	1		2	17
État des pompes	1	1		2		3	22
Pompe déconnectée	1	1	1	2	1	1	18



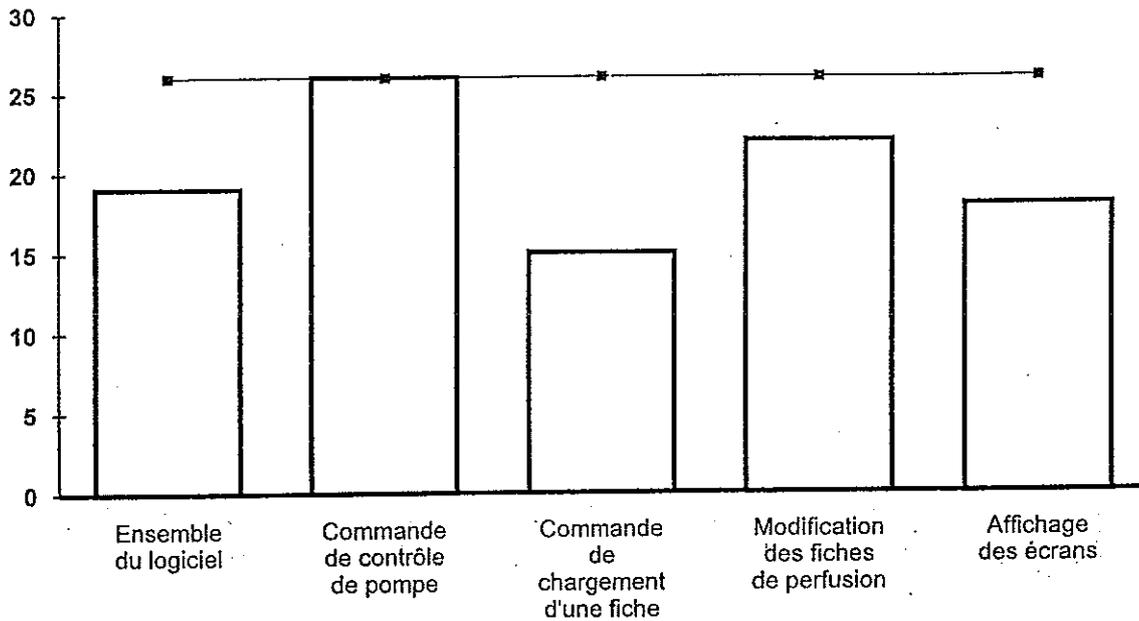
CRITERE 9 : POSSIBILITE D'AUTOMATISATION							
	Valeur						S.Pond
	0	1	2	3	4	5	
Ensemble du logiciel			2	3	2		21
Coordination des pompes	1		1	1	4		19
Utilisation des stades de perfusion			1	1	4	1	26
Arrêt d'un stade de perfusion			1	2	4		22
Mise en route d'un stade de perfusion			2		4	1	25
Mise en route d'une session	1	1		1	2	2	22
Mise en route d'une pompe			1		5	1	27



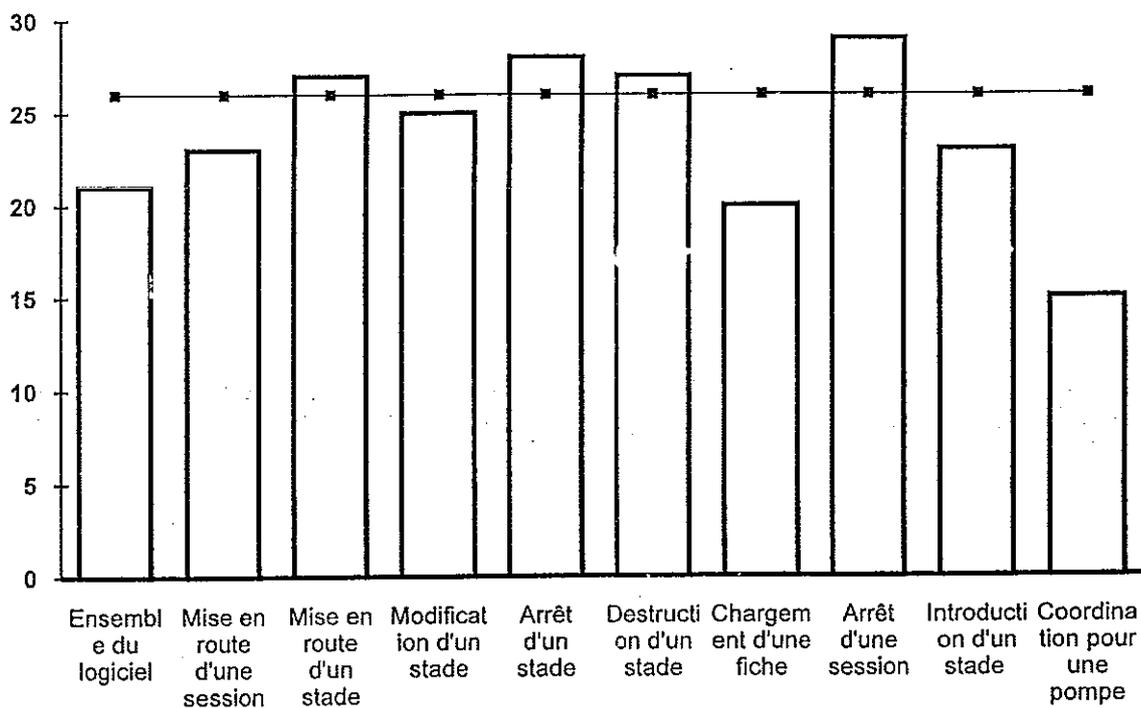
CRITERE 10 : COMPLETEUDE FONCTIONNELLE							
	Valeur						S.Pond
	0	1	2	3	4	5	
Ensemble du logiciel			2	3	1	1	22
Vue détaillée d'une perfusion			1	2	2	2	26
Données d'une session	1		3		2	1	19
Données d'un stade de perfusion		1	1	1	3	1	25
Coordination pour une pompe		2	2		3		18
Modification d'un stade de perfusion			1	1	4	1	26



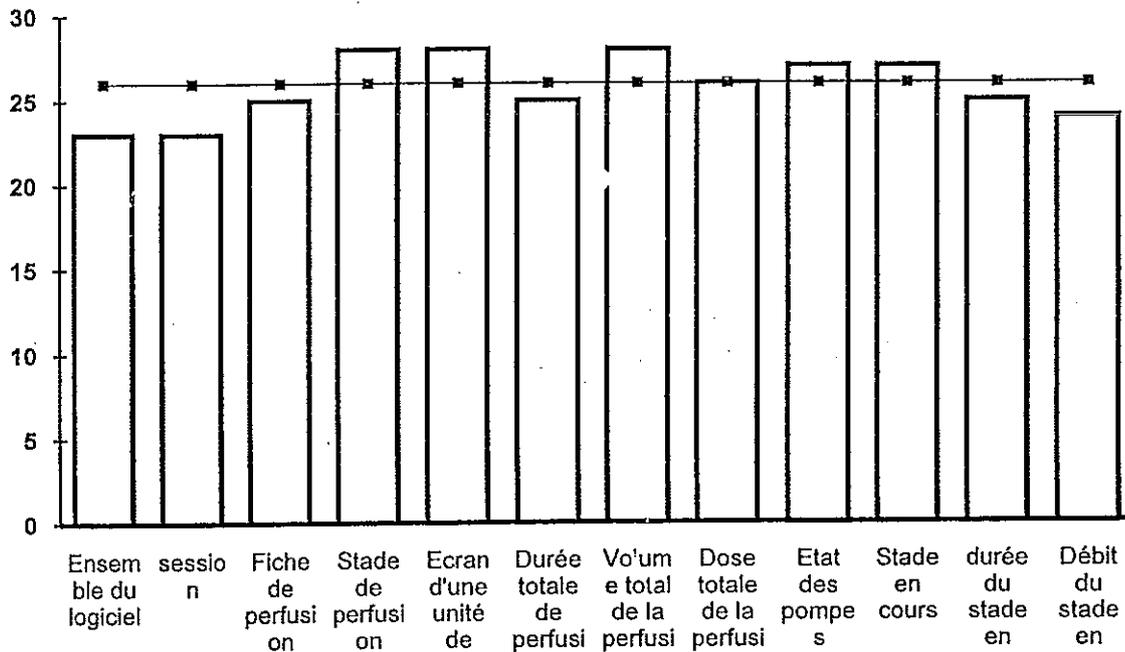
CRITERE 11 : DIVERSITE FONCTIONNELLE							
	Valeur					S.Pond	
	0	1	2	3	4		5
Ensemble du logiciel			3	3	1		19
Commande de contrôle de pompe			1	2	2	2	26
Commande de chargement d'une fiche		3	1	2	1		15
Modification des fiches de perfusion			2	3	1	1	22
Affichage des écrans		2	2		3		18



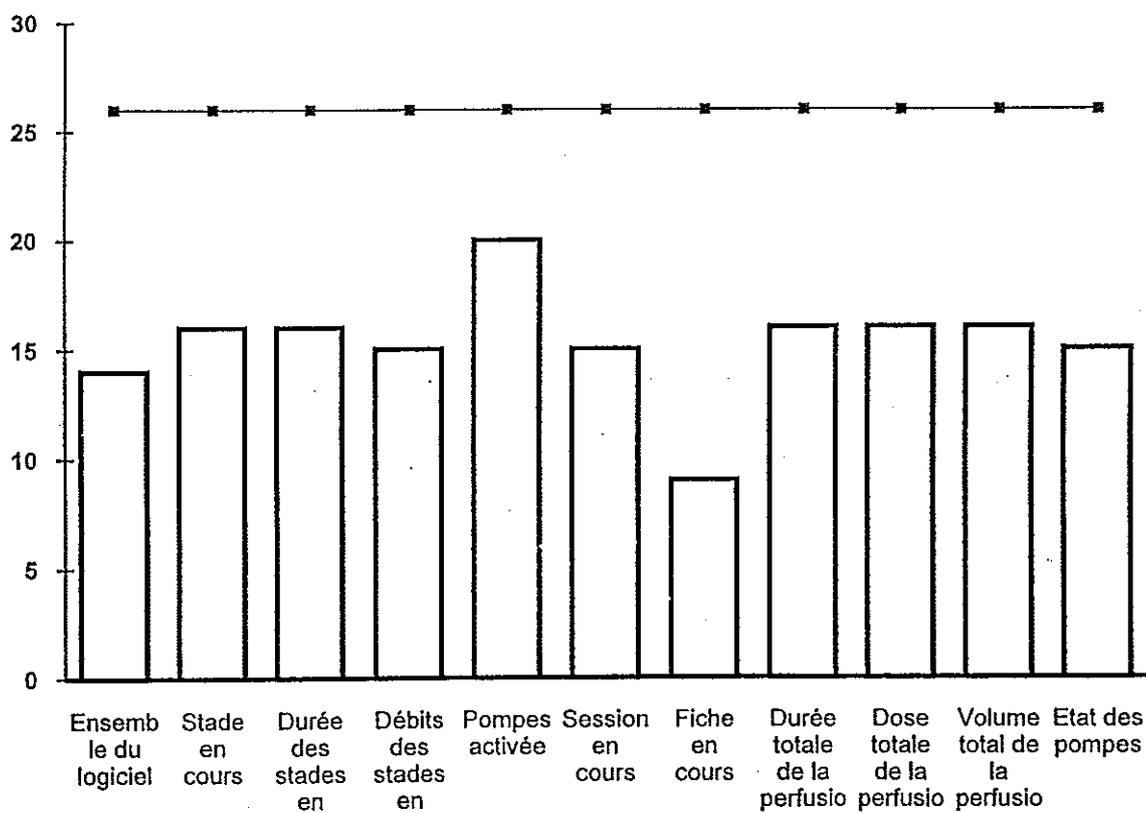
CRITERE 12 : CHARGE MENTALE MNESIQUE							
	Valeur						S.Pond
	0	1	2	3	4	5	
Ensemble du logiciel		1	1	3	1	1	21
Mise en route d'une session			3		3	1	23
Mise en route d'un stade			2		2	3	27
Modification d'un stade			2	1	2	2	25
Arrêt d'un stade				2	3	2	28
Destruction d'un stade			1		5	1	27
Chargement d'une fiche		2	1	1	2	1	20
Arrêt d'une session				2	2	3	29
Introduction d'un stade			2	2	2	1	23
Coordination pour une pompe		2	2	3			15



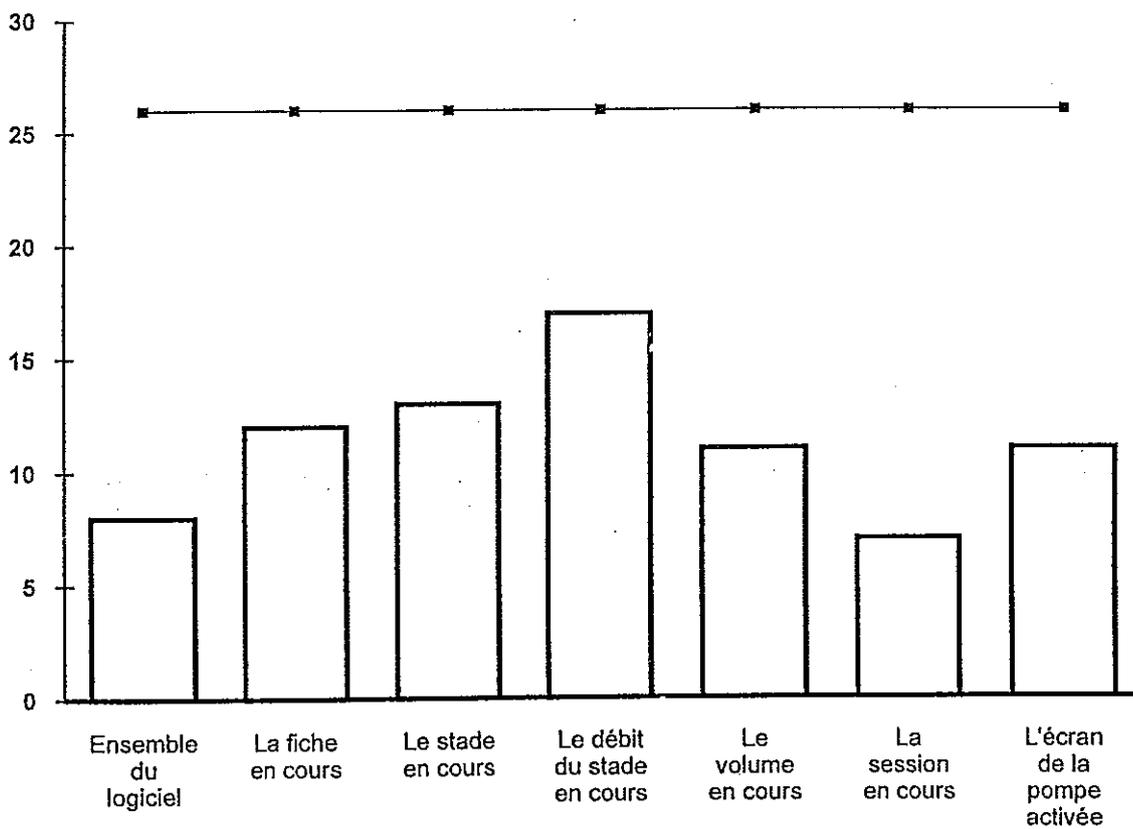
CRITERE 13 : HOMOGENEITE DE LA REPRESENTATION DES OBJETS							
	Valeur						S.Pond
	0	1	2	3	4	5	
Ensemble du logiciel			1	3	3		23
session	1			2	3	1	23
Fiche de perfusion		1		2	2	2	25
Stade de perfusion			1	1	2	3	28
Ecran d'une unité de pompe			1	1	2	3	28
Durée totale de perfusion			1	2	3	1	25
Volume total de la perfusion				2	3	2	28
Dose totale de la perfusion			1	2	2	2	26
Etat des pompes		1		1	2	3	27
Stade en cours		1		1	2	3	27
durée du stade en cours			1		2	2	25
Débit du stade en cours		1	2		1	3	24



CRITERE 14 : VISIBILITE							
	Valeur					S.Pond	
	0	1	2	3	4		5
Ensemble du logiciel		2	3	2			14
Stade en cours		1	4	1	1		16
Durée des stades en cours		2	3	1		1	16
Débits des stades en cours		3	2	1		1	15
Pompes activées			2	3	1	1	20
Session en cours		2	3	1	1		15
Fiche en cours	2	2	2	1			9
Durée totale de la perfusion		2	3	1		1	16
Dose totale de la perfusion		2	3	1		1	16
Volume total de la perfusion		2	3	1		1	16
Etat des pompes		3	2	1		1	15



CRITERE 15 : AJUSTEMENT DE LA REPRESENTATION DES OBJETS						
	Valeur					S.Pond
	0	1	2	3	4	
Ensemble du logiciel	2	3	1	1		8
La fiche en cours	1	3	1	1	1	12
Le stade en cours	1	3		2	1	13
Le débit du stade en cours	1	2		2	1	17
Le volume en cours		4	2	1		11
La session en cours	2	4		1		7
L'écran de la pompe activée	1	3	2		1	11



ANNEXE 2

LISTE DES PUBLICATIONS

parues

- Predictive accuracy of alfentanil Infusion in Coronary Artery Surgery : A Prebypass Study in Middle-Aged and Elderly Patients. L. Barvais, A. d'Hollander, D. Schmartz, C. Hendrice, F. Cantraine, E. Coussaert (1994). *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, 8, 278-293.
- Time in ergonomics research. V. De Keyser (1995), *Ergonomics*, 38, 8, 1639-1160. NB. L'article contient des exemples tirés de l'anesthésie.
- Analysis of synchronization constraints and associated errors in collective work environments. A.S. Nyssen & D. Javaux (1996), *Ergonomics*, 39, 10, 1249-1265.
- Safety factors in the remote control of infusion devices. F.R.L. Cantraine & E.J.A. Coussaert (1996), *International Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 13, 45-55.
- NYSSSEN, A.S. (1997). Vers une nouvelle approche de l'erreur humaine dans les systèmes complexes : exploration des mécanismes de production de l'erreur en anesthésie. Thèse de doctorat, Université de Liège, Liège.
- Management software for a universal device communication controller : Application to monitoring and computerized infusions. E. Coussaert , F. Cantraine. *International Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 13 : 225-233, 1997.
- Administration of propofol by target controlled infusion in patients under-going coronary surgery. L. Barvais , I. Rausin , JB. Glen, SC. Hunter , D. D'hulster, F. Cantraine , A. d'Hollander. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, 1996; 10 : 877-883.
- Closed-loop control of arterial blood pressure during cardiac surgery. D. Schmartz, R. Meijers, L. Barvais, H. Blom, F. Cabtraine, A. d'Hollander (1996), *Brit. J. Anesthesia*, 76, pp. 12, A.39.
- TIVA with propofol in general surgery : manual compared with a new object-oriented programmable TCI system. C.E. Velghe-Lenelle, L. Barvais, E. Coussaert, F. Cantraine, A. d'Hollander (1996), *Brit.J. Anesthesia*, 76, pp. 10, A.30.
- Four drugs PC controlled TIVA for adult cardiac surgery: The use of different macro commands is related to the drug injected. F. Vinuesa, J. Vinuesa, F. Cantraine, L. Barvais, A. d'Hollander (1996), *Brit J. Anesthesia*, 76, pp. 10, A.32.
- The free access of PC controlled infusion devices results to further standardisation of TIVA in adult cardiac surgery: A retrospective quality control study. J. Vinuesa, F. Vinuesa, F. Cantraine, L. Barvais, A. d'Hollander (1996), *Brit J. Anesthesia*, 76, pp. 10, A.31.

- Predictive accuracy of continuous propofol infusions in neurosurgical patients: Comparison of pharmacokinetic models. P. Hans , E. Coussaert , F. Cantraine , F. Pieron , P.Y. Dewandre, A. d'Hollander, M. Lamy. *Journal of Neurosurgical Anesthesiology*, 1997, 9 : 112-117.
- Clinical evaluation of an automatic blood pressure controller during cardiac surgery. R. Meijers, D. Schmartz, F. Cantraine, L. Barvais, A. d'Hollander, J. Blom (1997). *Journal of Clinical Monitoring*, 1, 261-268.
- Integration of a blood pressure controller and an infusion Toolbox system using client - server technology. R. Meijers , E. Coussaert, F. Cantraine (1998). *International Journal of Medical Informatics*, 49, 321-328.
- Nyssen A.S., De Keyser V. (1998). Improving Training in Problem Solving Skills : Analysis of Anesthetist's Performance in Simulated Problem Situations. *Le travail humain*, 61, 4, 387-401.

Chapitres de livres

- The Management of Temporal Constraints in Naturalistic Decision Making. The Case of Anaesthesia. De Keyser ,V. & Nyssen, A.S. (in press)
- Analysis of Human Errors in Anaesthesia - Our methodological approach : from general observations to targeted studies on simulator. A.S. Nyssen. (in press)

Submitted

- Le simulateur en anesthésie-réanimation : premiers échos de son utilisation en Belgique. P. Pendeville, A. Mayne, M. Janssens, R. Larbuisson, A.S. Nyssen (submitted to J. of Belgian Anaesthesia)
- Analysis of 23 critical events involving relatively healthy patients. Nyssen A.S., Faymonville E., Lamy M. (submitted to B. J. Anaesthesia).
- "Use of Anaesthesia Simulator : initial impressions of its use in two Belgian University centers". R. Larbuisson, Ph. Pendeville, A.S. Nyssen, M. Janssens, A. Mayné (Acta Anaesthesiologica Belgica, in press).

Proceedings

- Research on Human Error in a Complex and Dynamic Work Environment : Anaesthesia. Nyssen A.S.(1995) Proceedings of the 7th European Congress on *Work and Organisational Psychology*, Győr (Hungary), April, 19-22, 1995.
- Erreur humaine et Prise de décision. A.S. Nyssen (1995). Communication de la conférence sur la décision médicale, 21 octobre 1995.
- The Management of Temporal Constraints in Naturalistic Decision Making. The Case of Anaesthesia. De Keyser V. & Nyssen A.S. Proceedings of the Fourth Conference on Naturalistic Decision Making. Warrenton, Virginia, May 29-31, 1997.

- Analysis of human errors in anaesthesia - Our methodological approach : from general observations to targeted studies on simulator. Proceedings of the Network, Bad Homburg (FRG), June 4-6 1998.
- Using full scale simulator for training and practice : Advantages, limits and perspective. Proceedings for the Annual Meeting of the Belgian Society of Anesthesiology and Resuscitation, Brussels, 13-14 November 1998

écrites par des journalistes à propos de la recherche

- L'erreur, c'est naturel. *Le vif express*, 2037, p°43.
- Une dérive néfaste. B. Drion (1995). *Le journal des médecins*, 847, 24/2/1995.
- Pourquoi fait-on des erreurs ? B. Drion (1995). *Le journal du médecin*, 348, 3/1995.

COMMUNICATIONS A DES CONGRÈS ET À DES CONFÉRENCES

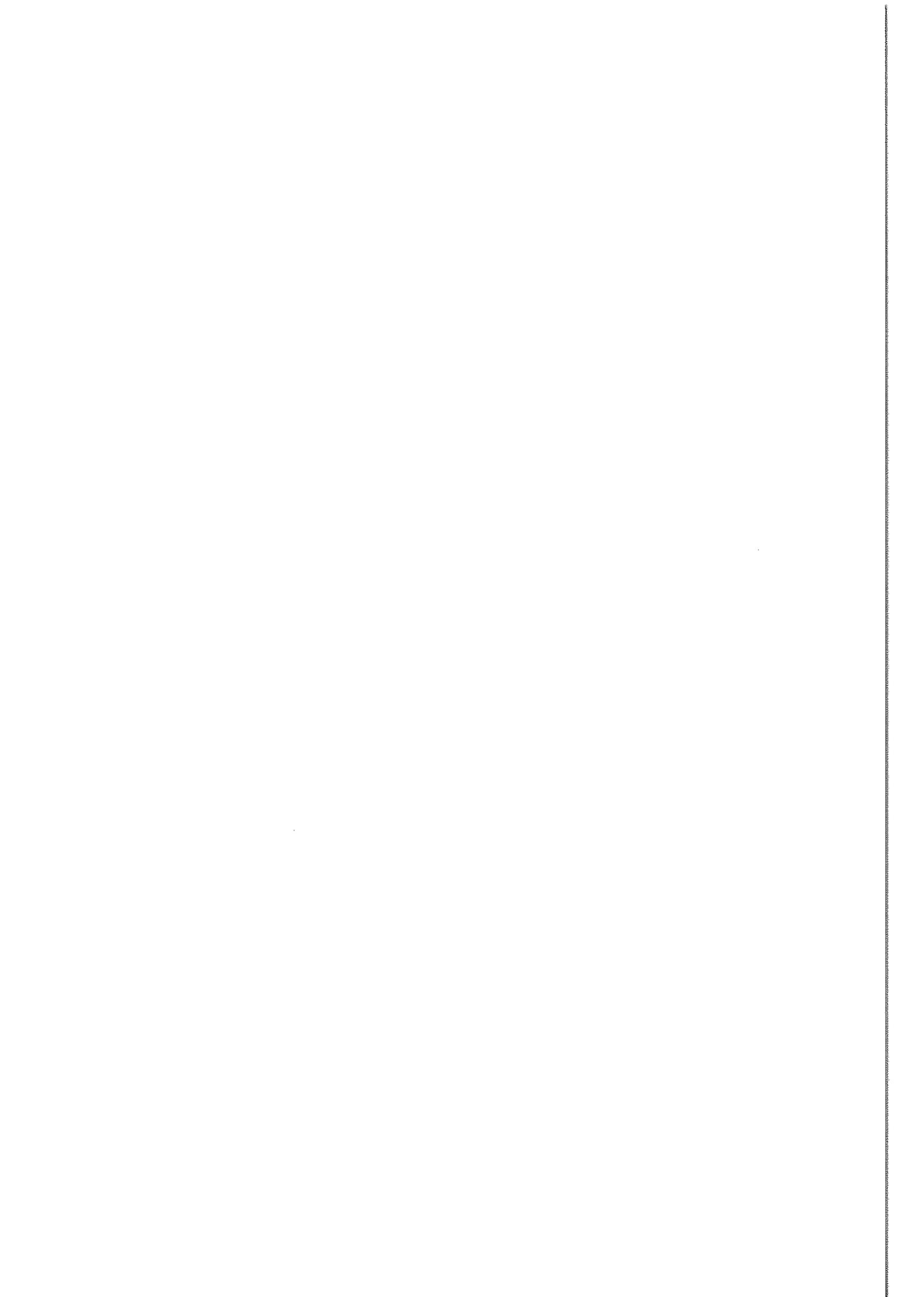
- International Federation of Automatic Control, Galvestone, Texas, mars 94
E. Coussaert, F. Cantraine : "Object oriented monitor"
- Congrès de médecine du travail, Povoá de Varsim (Portugal), décembre 94
V. De Keyser : "Les erreurs humaines en anesthésie".
- Séminaire "PSY ERGO HAINAUT", 3ème journée sur le thème de : "Erreur et Récupération d'erreur dans les situations de travail", Université de Mons Hainaut, janvier 95.
A.S. Nyssen : "Erreur humaine en situation de travail complexe et dynamique"
- Symposium Européen sur les Urgences : mythes ou réalités ?, Centre Hospitalier Universitaire de Liège, février 95.
V. De Keyser : "Les erreurs humaines"
- Conférence à la Belgium Ergonomical Society sur l'ergonomie hospitalière, Université Libre de Bruxelles, mars 95.
V. De Keyser : "Les nouvelles technologies en milieu hospitalier".
- 6th Workshop of the ESCIM Working Groupe "Technicological Developments", Bruxelles, mars 95
A. d'Hollander : "Anaesthesia Simulators: from the concepts to the facts"
- European Network of Work Psychology, Prevention of Human Errors in Systems for Energy Production and Process Industry, Workshop, Cardiff (England), mars 95.
A.S. Nyssen : "The use of "high fidelity" simulator in the study of human error".
- 7th European Congress on Work and Organisational Psychology, Győr (Hungary), April 95.
A.S. Nyssen : "Research on Human Error in a Complex and Dynamic Work Environment : Anaesthesia".

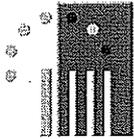
- Cycle de conférences : les mardis de la faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation, juin 95.
V. De Keyser : "L'utilisation du simulateur dans la formation aux situations d'urgence".
- 4ème réunion de la SFIMAR, La Rochelle, juin 95
F. Vinuesa, J. Vinuesa, F. Cantraine, A. d'Hollander, L. Barvais : "Analyse rétrospective des archives d'un système d'anesthésie assistée par ordinateur en chirurgie cardiaque: MINA"
- 4ème réunion de la SFIMAR, La Rochelle, juin 95
Velghe-Lenelle, Barvais, Coussaert, Cantraine : "Comparaison de la qualité de l'anesthésie administrée en mode manuel vs en mode concentration ciblée.
- Cycle de conférences des médecins : le décision médicale, Institut de Pathologie et de Génétique, octobre 95.
A.S.Nyssen : "Erreur humaine et Prise de décision".
- European Network of Work Psychology, Prevention of Human Errors in Systems for Energy Production and Process Industry, Workshop, U.Lg (Belgique), octobre 95
A.S. Nyssen : "Exploration des stratégies de récupération des erreurs sur simulateur d'anesthésie"
- Colloque des médecins, Cycle de conférence du jeudi soir, janvier 96
A.S. Nyssen, M. Janssens, R. Larbuisson, V. De Keyser : "Etude du comportement des anesthésistes face à un état de stress".
- European Society of Anaesthesiologists - London, juin 96
cf Brit J Anesthesia, 76, A.32
Brit J Anesthesia, 76, A.31
Brit J Anesthesia, 76, A.30
Brit J Anesthesia, 76, A.39
- 6ème Atelier du Travail Humain. Paris - La Défense - 30 mai 1997.
A.S. Nyssen : "Utilisation des simulateurs dans la formation médicale: le cas de l'anesthésie".
- Cycle de conférences : les mardis de la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation. U.Lg, Liège, 13 janvier, 1998
A.S. Nyssen : "Vers une nouvelle approche de l'erreur humaine dans les systèmes complexes : Exploration des mécanismes de production de l'erreur en anesthésie".
- Stress et anesthésie. Cycle de conférences, Programme de formation continue. UCL, Bruxelles, 13 février 98
- Conférence Post-Universitaire, Université Catholique de Louvain, 20 mars 98.
V. De Keyser : "Evaluation du logiciel".
- Anesthésiste et patient devant le risque d'erreur. Colloque des médecins, cycle de conférence du jeudi soir. CHU, Liège, 2 avril, 98
- Meeting : "Quantitative Anaesthesia : a concept for the 21st century" Academisch Ziekenhuis Nijmegen (NL), April 12, 1997
M. Lamy : "Safety aspects of Anaesthesia : new concepts"

- Fourth Conference on Naturalistic Decision Making. Warrenton, Virginia, May 29-31, 98
V. De Keyser & A.S. Nyssen : "Management of Time Pressures in Real Decision-Making Situations : The case of Anesthesiology".
- Study of Human Errors in Complex and Dynamic Work Environment : Anesthesia. New Technologies and Work - Network, Bad Homburg (FRG), June 4-6, 98
- Journée de Formation Continue Anesthésie-Réanimation. Genève, 19 juin 98
A.S. Nyssen : "Qualité en anesthésie - Expérience Liégeoise".
- Meeting : "Joint Meeting of "the Royal Society of Medicine Section of Anaesthesia" with "Les Services d'Anesthésie-Réanimation du Centre Hospitalier Universitaire de Lille" Faculté de Médecine, Lille, September 17-20, 1998
M. Lamy : "Belgian, experience of training on simulator"
- Using full scale simulator for training and practice : Advantages, limits and perspective. Annual Meeting of the Belgian Society of Anesthesiology and Resuscitation, Brussels, 13-14 November 1998.

Participation à des colloques

- Target Controlled Infusion. Launch Meeting TCI Centres of Excellence. Bruxelles, 27 mars





Publié par la Politique scientifique fédérale
Uitgegeven door het Federaal Wetenschapsbeleid

Pour de plus amples informations:
Voor meer informatie:

Madame E. Bourgeois
Politique Scientifique Fédérale – Federaal Wetenschapsbeleid
Rue de la Science 8 Wetenschapstraat
Bruxelles 1000 Brussel
Tél: +32 2 238 34 94
Fax: +32 2 238 59 12
Email: boug@belspo.be
Internet: <http://www.belspo.be>

LEGAL NOTICE

La Politique Scientifique Fédérale ainsi que toute personne agissant en son nom ne peuvent être tenues pour responsables de l'éventuelle utilisation qui serait faite des informations qui suivent.

Cette publication ne peut ni être reproduite, même partiellement, ni stockée dans un système de récupération ni transmise sous aucune forme ou par aucun moyen électronique, mécanique, photocopies, enregistrement ou autres sans y avoir indiqué la référence.

Noch het Federaal Wetenschapsbeleid, noch eenieder die handelt in de naam van het Federaal Wetenschapsbeleid is verantwoordelijk voor het gebruik dat van de volgende informatie zou worden gemaakt.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën of enige manier zonder de aanduiding van de referentie.

