



UNIVERSITE DE LIEGE

Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education

Dissertation présentée par Anne-Sophie NYSSSEN
pour obtenir le titre de Docteur en Psychologie

Vers une nouvelle approche de l'erreur humaine dans les systèmes complexes

**Exploration des mécanismes de production de
l'erreur en anesthésie**

soutenue le 26 novembre 1997, devant le jury composé de :

Véronique DE KEYSER	Professeur à l'Université de Liège Directeur de thèse
Serge BREDART	Professeur à l'Université de Liège
Maurice LAMY	Professeur à l'Université de Liège
Jacques LEPLAT	Directeur émérite de l'E.P.H.E., Paris
James REASON	Professeur à l'Université de Manchester



UNIVERSITÉ DE LIÈGE
Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation

Dissertation présentée par Anne-Sophie NYSSEN
pour obtenir le titre de Docteur en Psychologie

Vers une nouvelle approche de l'erreur humaine dans les systèmes complexes

Exploration des mécanismes de production de
l'erreur en anesthésie

soutenue le 25 novembre 1997, devant le jury composé de :

Véronique DE KEYSER	Professeur à l'Université de Liège
Serge BREDART	Directeur de thèse
Maurice LAMY	Professeur à l'Université de Liège
Jacques LEBLAT	Professeur à l'Université de Liège
James REASON	Directeur émérite de l'E.P.H.E. Paris
	Professeur à l'Université de Manchester

REMERCIEMENTS

Je suis extrêmement heureuse de pouvoir remercier tant de personnes pour l'aide et le soutien qu'elles m'ont apportés dans la réalisation de cette thèse.

Madame le Professeur Véronique De Keyser et Monsieur le Professeur Maurice Lamy m'ont fourni une assistance inestimable au fil des années, en m'invitant à préciser mes idées.

Mes remerciements vont aussi à Messieurs les Professeurs James Reason, Jacques Leplat et Serge Bredart qui m'ont encouragée et inspirée à divers égards.

Je suis profondément reconnaissante à Marie-Elisabeth Faymonville, Robert Larbuisson et Marc Janssens qui ont compté d'autant plus pour moi que nous avons recueilli, analysé et discuté de concert les données et les résultats de ce travail.

D'autres encore ont bien voulu partager avec moi leur connaissance experte de l'anesthésie : Jean Joris, Gary Hartstein, Didier Noirot, Philippe Pendeville, Alain Mayné, Monsieur le Professeur Alain d'Hollander et tous les stagiaires qui m'ont fait confiance, partageant avec moi leurs expériences parfois difficiles et me permettant d'accéder aux situations d'erreurs.

Je remercie de même Christine Bettonville, Muriel Thomas et Nicole Bodson pour leur aide précieuse, Dimitri pour sa coopération au simulateur, Waltère Dewé et Francis Pérée pour leurs compétences statistiques, Monsieur et Madame Lemaire pour Vaison-la-Romaine où j'adore méditer, Daniel Vos pour sa recherche de la perfection et Christine Goffinet pour l'achèvement du manuscrit.

Enfin, ce travail a été généreusement financé par la bourse de recherche du Fond National de Recherche Scientifique et par le programme d'appui scientifique à la protection du travailleur en matière de santé des Services Fédéraux des Affaires Scientifiques, Techniques et Culturelles.

Mais, je souhaite particulièrement remercier ma famille, mes amis et Philippe qui ont rendu ce travail plus léger au fil des jours.

Et, à la mémoire de Jean-Baptiste Niel et de Jeanine Bastiaans.

REMERCIEMENTS

Je suis extrêmement reconnaissant envers mon directeur de thèse, M. J. J. van den Broek, pour son accueil, son soutien et son aide précieuse.

Mes remerciements s'adressent également à M. J. J. van den Broek pour son accueil, son soutien et son aide précieuse.

Mes remerciements s'adressent également à M. J. J. van den Broek pour son accueil, son soutien et son aide précieuse.

Je suis profondément reconnaissant envers M. J. J. van den Broek pour son accueil, son soutien et son aide précieuse.

D'autre part, je tiens à remercier M. J. J. van den Broek pour son accueil, son soutien et son aide précieuse.

Je tiens également à remercier M. J. J. van den Broek pour son accueil, son soutien et son aide précieuse.

Enfin, je tiens à remercier M. J. J. van den Broek pour son accueil, son soutien et son aide précieuse.

Mais, je souhaite particulièrement remercier M. J. J. van den Broek pour son accueil, son soutien et son aide précieuse.

Et à la mémoire de mon directeur de thèse, M. J. J. van den Broek.

AVANT - PROPOS

Cette thèse a pour objet d'explorer l'erreur humaine à la lumière du développement de la psychologie du travail et de la psychologie cognitive. Elle s'appuie sur un recueil d'observations et d'interprétations réalisées à la fois en situation naturelle et sur simulateur.

La perspective théorique poursuivie consiste à élargir les recherches cognitives relatives à l'erreur humaine en "situant" les individus dans leur activité de travail; toute activité humaine, quel que soit le niveau de contrainte imposé par l'environnement, met en jeu des processus cognitifs en interaction avec les finalités d'action.

Du point de vue de l'étude de l'erreur humaine, cette perspective ouvre la voie à une explication en terme d'interactions entre l'homme et le milieu. Les lignes de notre recherche sont ainsi tracées : il s'agit d'acquérir des connaissances quant aux types de relations qui existent entre la performance humaine, le fonctionnement de l'homme et les caractéristiques des milieux modernes de travail.

Le plan de cet ouvrage est le suivant. Les chapitres de la première partie portent sur des repères théoriques.

Le chapitre 1 précise la position du problème, et pour ce faire, retrace l'évolution des mentalités et des représentations dans lesquelles s'inscrivent le modèle psychologique contemporain de l'erreur humaine. Il cherche à dégager une définition de l'erreur humaine et examine les divers niveaux de classification.

Le chapitre 2 développe les méthodes employées pour étudier les mécanismes de production de l'erreur en évitant un réductionnisme qui supprimerait la complexité de l'explication causale par une assimilation trop facile de l'erreur à un seul déterminant à rechercher exclusivement chez l'homme.

Les chapitres 3 et 4, encore introductifs, abordent le domaine étudié : l'anesthésie. Ils examinent les principaux résultats obtenus sur l'erreur humaine dans ce domaine et présentent notre première étude sur le terrain qui a conduit à l'idée centrale de cette thèse.

La seconde partie de cet ouvrage présente les recherches que nous avons réalisées en vue d'apporter des éléments de réponses à la problématique de l'erreur humaine dans les systèmes complexes.

Le chapitre 5 expose l'hypothèse directrice ainsi que l'approche méthodologique utilisée pour l'éprouver.

Les chapitres 6 et 7 sont respectivement consacrés à l'étude de terrain et à l'étude sur simulateur. Ils présentent et discutent des résultats, et les conclusions générales fournissent une synthèse du travail et abordent les implications méthodologiques, théoriques et pratiques de cette recherche.

Cette thèse a pour objet d'étudier les processus de la pensée et de la connaissance en psychologie. Elle se propose de faire connaître les méthodes et les résultats de ces recherches et de les discuter dans une perspective théorique.

La perspective théorique des recherches psychologiques est d'abord une perspective épistémologique. Elle se propose de faire connaître les méthodes et les résultats de ces recherches et de les discuter dans une perspective théorique. Elle se propose de faire connaître les méthodes et les résultats de ces recherches et de les discuter dans une perspective théorique.

Le plan de cette thèse est le suivant : I. Introduction. II. Les méthodes de la psychologie. III. Les résultats de la psychologie. IV. La discussion.

La thèse est divisée en quatre parties. La première partie est l'introduction. La deuxième partie est l'étude des méthodes de la psychologie. La troisième partie est l'étude des résultats de la psychologie. La quatrième partie est la discussion.

Le chapitre I est consacré à l'étude des méthodes de la psychologie. Il est divisé en deux sections. La première section est l'étude des méthodes de la psychologie expérimentale. La deuxième section est l'étude des méthodes de la psychologie clinique.

Les chapitres II et III sont consacrés à l'étude des résultats de la psychologie. Le chapitre II est consacré à l'étude des résultats de la psychologie expérimentale. Le chapitre III est consacré à l'étude des résultats de la psychologie clinique.

La quatrième partie est la discussion. Elle est consacrée à l'étude des problèmes théoriques et méthodologiques qui se posent en psychologie.

Le chapitre IV est consacré à l'étude des problèmes théoriques et méthodologiques qui se posent en psychologie. Il est divisé en deux sections. La première section est l'étude des problèmes théoriques. La deuxième section est l'étude des problèmes méthodologiques.

Les chapitres V et VI sont consacrés à l'étude des problèmes théoriques et méthodologiques qui se posent en psychologie. Le chapitre V est consacré à l'étude des problèmes théoriques. Le chapitre VI est consacré à l'étude des problèmes méthodologiques.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements

Avant-propos

PARTIE I

Repères théoriques

Chapitre 1

Position du problème 1

§ 1. Erreur humaine : évolution des conceptions 3

1. L'erreur humaine comme propriété intrinsèque de l'opérateur 3

2. L'erreur humaine comme le symptôme d'un mauvais couplage

opérateur - tâche 4

3. L'erreur humaine comme le signe d'une inadaptation du système 8

§ 2. Définitions 9

1. La norme 9

2. L'intentionnalité dans l'erreur 10

§ 3. Les classifications 10

1. Le niveau comportemental 11

2. Le niveau psychologique 11

3. Le niveau systémique 12

§ 4. Question de généralisation 12

Chapitre 2

Les méthodes d'investigation et leurs contributions 14

§ 1. Recherches de laboratoire 14

1. Les biais cognitifs ou "les erreurs systématiques" 14

2. Capacité limitée de la mémoire de travail 18

3. Processus automatiques et processus contrôlés 19

4. Conclusions 19

§ 2. Méthodes naturalistes ou "recueil de corpus" 20

1. Description de la complexité des situations de travail 20

2. L'importance de l'expertise 25

§ 3. Recherches sur simulateur 31

§ 4. Conclusions 35

Chapitre 3

Le domaine de l'anesthésie 36

§ 1. Évolution du risque anesthésique 36

§ 2. Le point sur les risques en anesthésie 39

§ 3. Synthèse des principaux travaux sur l'activité	41
1. L'anesthésie comme une activité de surveillance	42
2. L'anesthésie comme une activité de résolution de problèmes	43
3. Vers un modèle de résolution de problèmes en anesthésie	46
4. Les activités de planification	51

§ 4. Conclusions	52
------------------------	----

Chapitre 4

Étude préliminaire	53
---------------------------------	----

§ 1. Description du système	53
-----------------------------------	----

§ 2. Aperçu de la complexité du système	54
---	----

§ 3. Déroulement d'une anesthésie générale	56
1. La phase préopératoire	56
2. L'induction	57
3. L'entretien et la régulation	58
4. Le réveil	59

§ 4. Facteurs de risque	60
-------------------------------	----

§ 5. Vers l'idée de scénarios prototypiques d'erreurs	62
---	----

PARTIE II

Contribution à l'étude des mécanismes de production d'erreurs dans les systèmes complexes - Interventions réalisées dans le domaine de l'anesthésie

Chapitre 5

Hypothèse directrice et approche méthodologique	64
--	----

Chapitre 6

Etude de terrain - Analyse des situations problèmes	66
--	----

§ 1. Méthodologie	66
1. Modalités de recueil des données	66
2. Analyse des données	68

§ 2. Résultats	68
1. Analyse descriptive	69
1.1. Caractéristiques du patient	69
1.2. Caractéristiques des actes effectués	69
1.3. Gravité des situations problèmes	70
1.4. Composition de l'équipe médicale	71
1.5. Conditions d'urgence	71
1.6. Moment de survenue	71
1.7. Heure de l'anesthésie	71
1.8. Symptomatologie prédominante	72

1.9.	Facteurs associés	73
1.10.	Attribution de la causalité	74
1.11.	Discussion	74
2.	Analyse psychologique	77
2.1.	Types de difficultés cognitives	77
2.2.	Relations entre les types de difficultés et le pronostic	79
2.3.	Discussion	80
3.	Analyse systémique	81
3.1.	Identification de situations à risque prototypiques	81
3.2.	Discussion	83

Chapitre 7

Étude à partir d'une simulation pleine échelle de la tâche 87

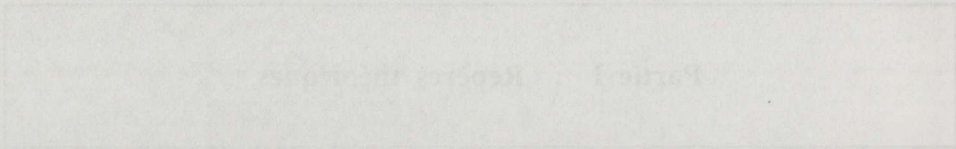
§ 1.	La simulation de la tâche	87
1.	Le dispositif	87
2.	Déroulement d'une séance de simulation	88
§ 2.	Protocole d'étude	89
1.	Les sujets	89
2.	Les scénarios	89
3.	Collecte des données	92
4.	Analyse des données	93
§ 3.	Résultats	94
1.	Analyse quantitative et comparaison inter-scénario	94
1.1.	Délais de diagnostic	94
1.2.	Ventilation des activités	95
2.	Analyse qualitative des protocoles d'action par scénario	96
2.1.	Scénario 1 : problèmes à l'intubation	96
2.2.	Scénario 2 : ischémie myocardique, segment ST	98
2.3.	Scénario 3 : choc anaphylactique	100
2.4.	Scénario 4 : hyperthermie maligne	101
2.5.	Scénario 5 : tamponnade cardiaque	103
3.	Modèle de l'activité de résolution de problèmes	106
4.	Résumé des résultats et discussion	106
4.1.	Précision du diagnostic	107
4.2.	Délais de diagnostic	108
4.3.	Identification des informations	109
4.4.	Génération d'hypothèses et testing	109
4.5.	Types de raisonnement	110
4.6.	Cohérence de l'explication	110
4.7.	Types d'actions	111

CONCLUSIONS GÉNÉRALES 112

RÉFÉRENCES 119

ANNEXE

Partie I : Repères théoriques



Chapitre 1

POSITION DU PROBLÈME

La mise en cause du facteur humain dans les enquêtes d'accidents augmente régulièrement, comme le montrent les rapports des grandes catastrophes nucléaires, chimiques, ferroviaires ou aériennes de ces dernières années. 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. En général, tout système technologique à haut risque présente un pourcentage similaire (Hollnagel, 1993).

Le même phénomène est constaté en médecine, envahie depuis une vingtaine d'années par les nouvelles techniques médicales. Approximativement, 80% des accidents survenus mettent en cause la responsabilité des médecins (Chopra et al., 1992). Les enquêtes statistiques réalisées par les compagnies d'assurance, telles que le Sou Médical et la Mutuelle d'Assurance du Corps sanitaire qui couvrent 4 493 anesthésistes-réanimateurs, montrent une augmentation de 16% du nombre des déclarations d'accidents en 1993 (Desmonts, 1994). En l'absence du dénominateur commun qui est le nombre total d'anesthésies effectuées par ces praticiens, il est impossible de dire, à partir de ces résultats, que le risque anesthésique augmente. En effet, il peut ne s'agir que d'une augmentation des poursuites médico-légales sans augmentation du nombre absolu des complications liées à l'anesthésie. En tout cas, ces chiffres reflètent la mauvaise tolérance du public à l'égard de celles-ci et révèlent un phénomène de société qui dépasse très largement les frontières de la responsabilité médicale : c'est le refus du risque.

Chaque fois que le risque affecte la vie et l'intégrité corporelle de manière grave, il ne faut pas que la victime soit finalement contrainte d'en supporter les conséquences. Cet esprit du temps incite à en transférer la charge à autrui, spécialement à celui qui, par état ou par profession, a contribué à la création du risque; et en réaction il suscite chez celui-ci le refus précisément de le créer. Ce phénomène aboutit à la formation à la fois dans l'opinion publique, et dans les champs juridique, politique et scientifique, d'une perception d'un homme faillible et blâmable largement médiatisée par les journaux.

Quelles sont les raisons qui peuvent expliquer ce mouvement de responsabilisation ?

- Primo, c'est évidemment là un moyen facile d'éluder les difficultés pratiques que soulève l'explication causale d'un accident dans un système complexe. Car toutes les causes d'un accident ne sont pas aussi aisément observables que l'erreur de l'opérateur en première ligne. Elles doivent d'ailleurs être généralement reconstruites plutôt qu'observées. En effet, l'analyse des accidents consiste à reconstruire un enchaînement causal en partant d'un événement passé et en recherchant, en amont, les causes. Le choix des unités d'analyse et la décision d'arrêter la recherche rétrospective dépendent entièrement de l'enquêteur, de l'histoire de l'accident et des sources d'informations disponibles. Aucune règle n'est établie.

Comme toujours avec de telles approches, la perspective dans laquelle l'analyse est réalisée influence directement l'attribution de la causalité et la définition même de l'erreur (Rasmussen, 1991a). Les enquêtes d'accident, par exemple, dont l'objectif

principal est l'attribution des responsabilités s'arrêtent généralement à l'identification de la faute ou de la négligence. Il en découle une conception simplifiée de l'erreur, synonyme de faute et chargée de culpabilité. A y regarder de plus près, cette simplification est trompeuse car on voit tout de suite qu'elle reflète le choix, parmi les circonstances innombrables de l'accident, de celles auxquelles l'analyste confère une influence déterminante.

- L'augmentation de la fiabilité technique dans les systèmes complexes pousse également à expliquer l'accident par l'erreur humaine. Dans les débuts de l'ère industrielle, des défaillances techniques manifestes limitaient l'analyse à ce seul facteur. Mais il est vite apparu que certains accidents ne pouvaient être expliqués uniquement sous l'angle technique, et à côté de ce type de facteur, 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 dans des systèmes où les réalités humaines, techniques mais aussi organisationnelles sont étroitement imbriquées.
- Brehmer (1993) a avancé une troisième raison d'ordre épistémologique : c'est que la relation de cause à effet dans l'explication d'un accident s'installe sur la base de cause perçue comme *suffisante*. Un élément "a" est perçu comme la cause d'un événement "x", si "a" est suffisant pour que "x" apparaisse. Une telle conjecture est raisonnable, et c'est pourquoi une grande majorité l'adopte. Mais elle peut aussi être appliquée de façon malencontreuse et, ainsi, donner naissance à des croyances collectives fausses. Supposons, par exemple, le cas d'un décès en salle d'opération à la suite d'une déconnexion du tube endotrachéal assurant la ventilation du patient. Il est facile de dire a posteriori du médecin anesthésiste que, s'il avait détecté la déconnexion du tube, le patient ne serait pas décédé, et par conséquent d'en conclure à une faute dans son chef, compte tenu du devoir de surveillance qui lui incombe. Pourtant, ni la négligence de l'anesthésiste, ni la déconnexion du tube ne constituent en soi des causes "suffisantes" au décès du patient. D'autres facteurs ont dû être présents pour aboutir au drame, comme par exemple : l'absence de monitoring et d'alarme de déconnexion, un changement de position du patient, une supervision inadéquate, etc. C'est l'ensemble de ces conditions et leurs interrelations, et non pas les éléments pris isolément, qui constitue en soi une cause "suffisante" de l'accident, mais il faut pouvoir identifier cet ensemble d'éléments et en convaincre ensuite l'opinion publique et toutes les instances qui, en règle générale, ne possèdent pas la connaissance indispensable nécessaire du système.
- Je terminerai en évoquant un argument psychologique étayé par de multiples expériences (Ross & Anderson, 1982) : *l'erreur d'attribution fondamentale* qui décrit la tendance à blâmer de mauvais résultats sur la base d'imperfections personnelles liées à l'acteur (facteurs dispositionnels) plutôt que de les attribuer aux facteurs situationnels qui échappent à son contrôle. L'imposture est d'autant plus sérieuse qu'elle est une tentation naturelle dont l'influence inconsciente s'imposera même à l'expert le plus compétent et soucieux d'objectivité. En outre, la connaissance des résultats, Fishoff (1975) l'a bien montré, influence profondément la façon dont nous considérons le passé. Les faits antérieurs seront systématiquement reconstruits dans une histoire causalement cohérente par rapport aux résultats connus. Ce phénomène est appelé *le biais de rétropection*. Ainsi, dans l'analyse des accidents, il faudra soigneusement faire la différence entre notre représentation des faits, en tant que juge rétrospectif connaissant la fin de l'histoire, et la façon dont les individus ont vu les événements s'enchaîner au moment des faits.

Au vu de ce qui vient d'être développé, il est clair que l'attribution causale en matière d'accident témoigne d'un processus de jugement social et psychologique. Dès lors, n'est-ce pas à tort ou par simplification que l'on parle de *cause* puisque tout accident doit être

considéré comme un ensemble, non de faits, mais de signes dont on ne peut déchiffrer la signification que de l'intérieur et par projection ? Ne doit-on pas préférer à l'explication causale une explication soit par les fonctions, étant donné que tout accident survient dans un système social qui forme un tout, soit par les relations puisque, dans un système complexe, tout accident peut être conçu comme le produit de plusieurs facteurs en interaction ?

Si l'on admet ces deux postulats, le problème de l'inférence causale perd de son importance et l'intérêt devrait converger vers la compréhension du système de manière à préparer les analyses ultérieures portant sur l'explication de l'erreur à partir des relations entre les éléments de base du système.

§ 1. ERREUR HUMAINE : ÉVOLUTION DES CONCEPTIONS

L'idée de Monteau et Pham (1987) de décrire l'évolution des conceptions relatives à l'accident de travail selon deux axes définissant, d'une part, l'option déterministe, sous-jacente à l'analyse, et d'autre part, le champ d'investigation construit par l'analyste, peut être transposée aux erreurs humaines. La démonstration sera tentée ici avec l'examen successif de trois conceptions de l'erreur, reflétant leur développement chronologique.

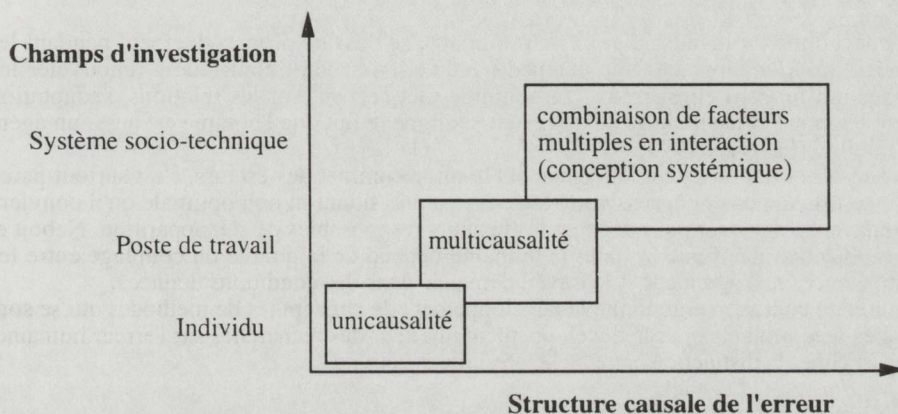


Figure 1. Tableau synoptique des conceptions relatives aux erreurs humaines : adaptation de Monteau et Pham, 1987

Au fur et à mesure que le nombre et la nature des facteurs pris en compte dans l'explication causale de l'erreur humaine augmentent et se diversifient, les conceptions relatives à l'erreur humaine se complexifient.

1. L'erreur humaine comme propriété intrinsèque de l'opérateur

L'erreur humaine est conçue comme un phénomène simple, c'est-à-dire résultant d'une cause unique, à savoir des caractéristiques individuelles de l'opérateur : intelligence, impulsivité, inattention, etc. La plupart des recherches orientées dans ce sens aboutissent à la notion de "susceptibilité à l'erreur" considérée comme une propriété intrinsèque à certains individus. Ces recherches cherchent à caractériser les individus par une tendance plus ou moins forte à commettre des erreurs afin de pouvoir les écarter dès leur sélection. La même conception avait déjà été avancée en 1919 en ce qui concerne les accidents de travail. A cette époque, Greenwood et Woods étudiant la distribution des accidents de travail survenus aux ouvrières d'une usine d'armement énonçaient l'hypothèse d'une tendance initiale inégale aux accidents (cfr. Greenwood & Woods, 1964).

Cette conception ancienne est loin d'être abandonnée comme en témoigne son émergence fréquente dans le monde du travail, dans des rapports d'accidents ou d'erreurs, et dans

des travaux de chercheurs. Broadbent et al. (1982) ont récemment cherché à caractériser des individus sur base des erreurs de la vie quotidienne qu'ils avaient commises pendant un certain laps de temps. Les résultats laissent à penser que les individus posséderaient une capacité plus ou moins grande de "contrôle général" face à ce type d'erreur. Mais ces premiers résultats sont tirés d'expériences très limitées, aussi est-il hasardeux de les généraliser à la totalité des erreurs.

Plusieurs auteurs ont critiqué cette conception. Leplat (1985) a notamment fait remarquer qu'un même trait de personnalité pouvait avoir des effets positifs ou négatifs selon les situations. Mais le principal reproche qu'on lui ait adressé porte sur le principe de causalité unique sur lequel elle se base, lequel réduit le champ d'investigation à un seul facteur et masque une dimension constitutive de l'erreur : le contexte dans lequel elle s'est produite.

Sur le plan de la prévention, cette conception a pour effet de considérer essentiellement l'homme comme une source d'infirmité. Elle est utilisée par les ingénieurs pour justifier le remplacement de l'homme par des systèmes automatisés, et de ce fait représente une barrière au développement de principes de prévention en fiabilité humaine et en sécurité.

2. L'erreur humaine comme le symptôme d'un mauvais couplage opérateur - tâche

La conception multicausale de l'erreur humaine se dessine progressivement pendant les années 60. Le changement de perspective qu'elle introduit contribue à renouveler les études qui lui sont consacrées. L'ergonomie met l'accent sur les relations d'adaptation entre l'homme et la situation de travail, et souligne le fait que l'homme est aussi un agent de fiabilité (Faverge, 1970).

De Keyser (1982) soutient l'idée que si l'homme commet des erreurs, c'est surtout parce qu'il se trouve dans la nécessité de faire face à une situation non optimale qu'il convient dorénavant d'analyser pour dégager les facteurs responsables de son apparition. Neboit et al. (1990) indiquent que la fiabilité humaine dépend de la qualité du couplage entre les compétences de l'opérateur et le travail demandé dans des conditions données.

On doit au courant d'ergonomie le développement de concepts et de méthodes qui se sont révélés déterminants pour le développement ultérieur des recherches sur l'erreur humaine, en particulier la distinction entre tâche prescrite et activité.

La tâche

Elle désigne ce qui est à faire. C'est l'objectif assigné à l'opérateur (Leplat, 1989a). Elle comporte les instructions, les consignes mais aussi les conditions dans lesquelles la tâche est réalisée. Faverge (1972) distingue la tâche "prescrite" (ce que l'on attend de l'opérateur) de la tâche "effective" (les buts et les conditions effectivement pris en compte dans l'activité).

L'activité est définie comme "ce que le sujet met en jeu pour exécuter la tâche" (Leplat, 1985, p.104). La distinction se retrouve chez plusieurs auteurs sous des termes divers : tâche formelle / tâche informelle (Ombrebane & Faverge, 1955), tâche pour l'expert / tâche réelle pour l'observateur (Vermersch, 1980), tâche redéfinie pour désigner la tâche effective (Hackman, 1969).

Cette distinction a d'importantes implications pour l'étude de l'erreur humaine. La notion de tâche est fondée sur le postulat implicite de la constance des exigences de travail. C'est bien le cas pour les études de laboratoire, explicitement construites à des fins expérimentales; mais, en situation réelle de travail, les exigences de travail sont loin d'être toujours stables. De ce fait, le problème de la fiabilité, comme l'a souligné Gadbois (1990) n'est pas simplement celui des variations de l'opérateur par rapport à des exigences stables, mais celui de la compatibilité entre deux séries de variations : celles de l'état fonctionnel de l'opérateur et celles des exigences du travail.

L'accent est mis sur le fait qu'un système peut ou non "absorber" une variation, c'est-à-dire y répondre de manière adéquate. Hollnagel (1991a) propose, dans ce sens, de

distinguer trois qualités des systèmes, dont le fléchissement peut donner naissance à différents types d'erreurs. Il distingue : la fiabilité, la robustesse et l'adaptabilité.

- *La fiabilité* : c'est la qualité du système à réaliser une certaine fonction, dans des conditions environnementales données, durant un certain intervalle de temps. Cela suppose des tâches procédurales, clairement définies et stables. Une erreur pourrait être la non observance du plan pré-établi : par exemple, un pharmacien se trompant dans l'exécution d'une prescription médicale.
- *La robustesse* : c'est la qualité qui permet au système d'assumer une fonction dans des conditions environnementales pour lesquelles "il n'est pas fait". Dans ce cas, ce n'est pas la tâche à accomplir qui varie, mais l'homme, soumis à des influences externes. C'est typiquement le cas dans le travail de nuit, où l'on observe des modifications du rythme circadien et l'apparition de certaines erreurs dues à un fléchissement de la vigilance (Gadbois & Queinnec, 1984).
- *L'adaptabilité* : c'est la qualité qui permet au système d'accomplir une certaine fonction, dans des conditions environnementales telles que les procédures normales ne peuvent être utilisées. Dans ce cas, il faut encore faire une distinction entre les situations survenant inopinément, pour lesquelles sont prévues des procédures, et les situations entièrement nouvelles où la voie à suivre est littéralement à construire. Un exemple de la première situation serait un jeune interne en formation persistant dans le traitement qu'il a prescrit bien qu'aucune amélioration ne soit constatée chez le patient - alors que dans ce cas, l'appel du senior de garde est la règle. Un exemple de la seconde : un médecin rencontrant une maladie atypique échoue à sauver son malade. En expérimentant un autre traitement, il aurait peut-être évité le pire - ce que d'autres cas similaires, dans la suite, lui confirment. Dans ce dernier exemple, ce n'est souvent qu'après coup, lorsque l'objectif souhaité n'est pas atteint, que l'on parle d'erreur.

Les variations

Leplat (1985) a longuement traité de l'intérêt de l'analyse des variations pour la prévention des accidents notamment dans son ouvrage : "Erreur humaine et fiabilité humaine dans le travail". Il propose de concevoir les variations comme les accidents, sous leur forme "positive" de symptômes de dysfonctionnements du système.

Bien qu'apparemment simple, la notion de variation n'est pas facile à définir. Plusieurs référents sont, en effet, imaginables. Cuny (1993) propose de distinguer deux niveaux de variation selon le référent utilisé : la tâche ou l'activité.

Au niveau de la tâche, on retient dans la variation l'idée d'écart par référence à une valeur prescrite, planifiée. Les variations se rapportent soit au but poursuivi, soit aux conditions d'exécution (dispositif, règle de fonctionnement).

Au niveau de l'activité, on retient dans la variation l'idée de changement par rapport à la situation habituelle telle qu'elle se présente d'ordinaire. Dans ce cas, le problème est de définir la notion d'habituel. Dans la méthode d'analyse des accidents développée par l'Institut National de Recherche pour la Sécurité (I.N.R.S.), les chercheurs ont proposé de retenir comme critère ce que les opérateurs qui connaissent bien le travail considèrent comme habituel (Krawsky et al., 1981). La situation habituelle est une situation ayant acquis une certaine stabilité. Un écart à cette stabilité peut invalider, plus ou moins, les processus de fonctionnement.

Le degré de prévisibilité des variations est aussi important à envisager. Certaines variations sont prévisibles voire programmées, d'autres sont parfois inattendues. Ainsi par exemple, les changements dans le personnel ou dans le lieu de travail peuvent favoriser certaines erreurs qui ont souvent été décrites dans les analyses d'accidents (Perrow, 1984; Nyssen, 1990; Wilpert & Klumb, 1993).

La récupération

Faverge (1980) considère la récupération comme la composante principale de l'activité humaine dans les systèmes socio-techniques. L'argument central est le suivant : puisqu'il est impossible de garantir l'élimination des erreurs, nous devons découvrir des moyens efficaces de les récupérer avant que les conséquences néfastes n'aient eu la possibilité de se produire. En conséquence, "un système fiable, ajoutent Neboit et al. (1990), est un système capable de récupération, donc capable de gérer ses dysfonctionnements, ce qui implique une connaissance de ces derniers".

Nombreux sont les auteurs qui pensent qu'il s'agit là de la seule façon sérieuse de traiter le problème de l'erreur humaine. Le concept de "management de l'erreur" mis en avant dans les travaux de Frese (1991, 1994) illustre bien cette idée. Il insiste sur l'étude des mécanismes impliqués dans la détection, le diagnostic et la correction des erreurs qui surgissent ordinairement dans le travail mais qui n'ont pas entraîné de conséquences néfastes parce qu'elles ont été corrigées à temps par leur auteur ou par un autre. Cette catégorie d'erreur est appelée "*presque ratés*" (*near misses*). Elles forment une base de données exceptionnelle entre des accidents visibles mais rares et des comportements erronés fréquents mais difficilement observables (van der Schaaf et al., 1991).

Les stratégies de détection des erreurs

Malgré l'importance évidente du sujet, très peu de chercheurs se sont intéressés aux stratégies de détection d'erreurs. Néanmoins, il faut citer les études de Norman (1984) sur les ratés de l'action, l'étude d'Alwood (1984) sur la résolution de problèmes statistiques et les travaux de l'école italienne (Rizzo et al., 1987) sur l'utilisation d'un programme informatique de base de données.

Pris dans leur ensemble, les résultats sur ce thème peuvent se résumer de la façon suivante : trois épisodes (internes) de détection d'erreurs ont été identifiés :

- la suspicion d'erreur (observée surtout chez les débutants), utile pour détecter les fautes basées sur des règles ou sur des connaissances conceptuelles;
- l'élaboration directe d'hypothèse d'erreur (de plus en plus efficace avec l'expertise), utile pour détecter les ratés et les fautes basées sur des règles;
- la détection au cours d'une vérification standard (de plus en plus efficace avec l'expertise), utile pour détecter les ratés et éventuellement les fautes basées sur des connaissances conceptuelles.

Mais les taux de détection spontanées sont très différents, selon les types d'erreurs : 60 % des ratés de l'action (erreurs d'exécution), 30% des fautes basées sur des règles et seulement 10 % des fautes basées sur des connaissances conceptuelles (Reason, 1993). Toutefois, les ratés qui se traduisent par une omission sont très difficilement découverts. Ceci met en évidence l'importance des facteurs externes dans la détection des erreurs, en particulier : - les fonctions de contraintes des systèmes qui bloquent la poursuite du comportement tant que l'erreur n'a pas été corrigée (Masson, 1994), - ou la détection par un tiers.

L'analyse du travail

L'analyse de travail devient dans l'approche ergonomique une étape préliminaire indispensable à l'étude de l'erreur. Pour citer Leplat (1985, p.111) : "C'est par la connaissance qui sera acquise de l'activité en situation de travail et des mécanismes qui le régissent que pourront être comprises les erreurs".

Ces analyses qui s'inspirent de cadres théoriques divers ont mis en oeuvre des méthodes également diverses : observation in situ, interview, verbalisation, enregistrement, etc. Elles peuvent être descriptives et se limiter aux seuls faits observables ou, au contraire, s'attacher à découvrir les activités cognitives de l'opérateur à travers une analyse psychologique du travail. Cette démarche, qui est souvent apparue sous le nom d'analyse cognitive de la tâche, se justifie pleinement au regard de l'impact de l'évolution technologique sur la nature du travail.

En effet, depuis les années 60, la prise en charge progressive, par les automatismes et les systèmes informatiques, de certaines opérations mises en jeu dans les procédés industriels a changé de façon importante la nature du travail des opérateurs : d'une part, l'opérateur s'informe et agit sur le processus de façon indirecte par l'intermédiaire d'interfaces écrans/claviers/commandes et d'autre part, son intervention a lieu plus souvent en phase de fonctionnement dégradé pour réguler un incident non prévu par l'automatisation. Au cours du fonctionnement normal, l'opérateur a essentiellement une tâche de supervision comme l'a décrit Sheridan (1987). De ces faits, la tâche de l'opérateur fait appel à des activités mentales (ou cognitives) de prise/traitement d'information, de mémorisation, de représentation, d'anticipation et de diagnostic.

L'analyse du travail doit donc tenir compte de la nature de ces activités et raisonnements. Woods (1988) et Rasmussen (1986a), en s'appuyant sur le paradigme du General Problem Solving de Newel et Simon (1972), ont d'abord tenté de représenter les aspects cognitifs du travail en décomposant "l'espace-problème" de la tâche en une architecture d'objectifs et de moyens. Dans cette perspective, l'analyse cognitive est normative (De Keyser, 1988). Les objectifs et les moyens sont ceux que l'organisation définit, par exemple : assurer la production sous certaines exigences de qualité et de sécurité. Ce qui implique immédiatement une représentation en cascade de sous-objectifs et de moyens à mettre en oeuvre : maintien d'une certaine variable à tel niveau, augmentation de tel produit, etc.

Dans beaucoup de situations modernes de travail, dans les limites du respect des buts et des contraintes, il reste néanmoins un espace de liberté au travailleur. Ainsi, par exemple, quand des moyens différents sont accessibles, il faut en choisir un en fonction des ressources disponibles. De même, dans les cas de circonstances peu familières, la marge de manoeuvre immédiate reste souvent à l'initiative de l'opérateur. L'idée de Rasmussen (1993a) est alors que l'analyse de travail devrait identifier l'enveloppe des ressources dans laquelle un opérateur peut cheminer y compris dans le cas de situations imprévues. La définition d'une telle enveloppe repose sur une représentation distincte du domaine de travail, des tâches cognitives de prise de décision mais aussi des stratégies utiles pour de telles décisions, y compris les critères subjectifs de choix des opérateurs. A la place de séquences de tâches standardisées, Rasmussen et al. (1994, Figure 2) proposent d'identifier un *ensemble de situations prototypiques* afin de déterminer "la fenêtre d'observation" et l'information nécessaire aux décisions lors de chaque situation particulière. Cette manière d'approcher l'activité à partir de l'identification de "situations d'action caractéristiques" a aussi été suggérée par Daniellou et Garrigou (1993).

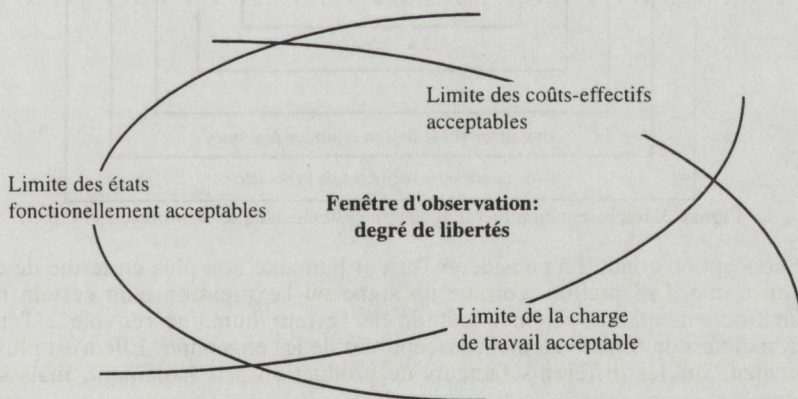


Figure 2. Espace de liberté des acteurs dans un système complexe, adapté de Rasmussen et al. 1994, p.8

S'il est vrai que l'approche multicausale élargit l'analyse de l'erreur au lieu de la réduire aux seules caractéristiques de son auteur, il faut constater qu'elle reste souvent

circonscrite au poste de travail, en négligeant les aspects collectifs et organisationnels des situations de travail modernes.

Le progrès décisif pour la compréhension du phénomène "erreur" est acquis avec la notion de "système" qui permet d'articuler les principaux aspects de la production des erreurs dans un cadre théorique global.

3. L'erreur humaine comme le signe d'une inadaptation du système

Ce nouveau cadre de référence s'appuie largement sur les développements de l'ergonomie des systèmes initiée par Faverge (1970) et centrés sur la notion de "fiabilité des systèmes". Cette notion est l'application aux activités industrielles des théories sur le fonctionnement des organismes vivants énoncées par Von Bertalanfly en 1949 (cfr. Von Bertalanfly, 1973).

Dans cette perspective, l'entreprise est un "système sociotechnique" (Herbst, 1974) formé généralement de quatre composantes : les individus, la tâche, les instruments et le milieu de travail, et organisé en vue d'atteindre des objectifs. Ces éléments sont interdépendants, c'est-à-dire qu'ils sont liés par un réseau important de relations. On trouve une illustration de ce système dans la figure suivante empruntée à Moray (1994).

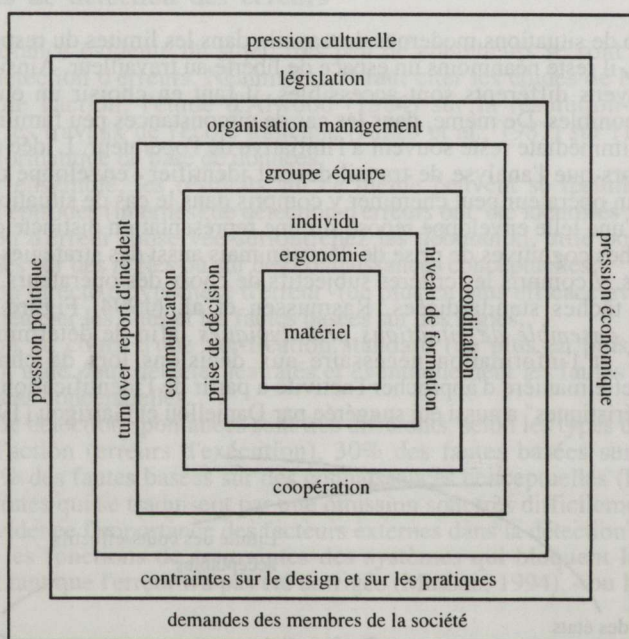


Figure 3. Représentation hiérarchique du système, adapté de Moray, 1994, p.70

Cette conception conduit à considérer l'erreur humaine non plus en terme de causalité mais en terme d'adaptation, comme un signe ou l'expression d'un certain mode de dysfonctionnement du système. L'étude de l'erreur humaine renvoie à l'étude des caractéristiques de fonctionnement susceptibles de les engendrer. Elle n'est plus centrée uniquement sur les différents facteurs de production pris isolément, mais sur leurs relations.

L'idée essentielle est que notre connaissance de l'erreur dépend très largement de notre compréhension des relations entre les composants du système : "le tout, dit Von Bertalanfly, ne se réduit pas à l'ensemble des composants considérés isolément. Toutefois si nous connaissons l'ensemble des composants et les relations qui existent

entre eux, alors nous pouvons dériver les niveaux supérieurs de leurs éléments de constitution" (Les problèmes de la vie, p.198).

§ 2. DÉFINITIONS

Les définitions de l'erreur comportent habituellement l'idée d'écart par rapport à une norme, alors qu'il existe des degrés de liberté - des possibilités d'agir différemment - et une intentionnalité, c'est-à-dire l'intention préalable d'atteindre cette norme (De Keyser & Nyssen, 1993). Cette définition, en supposant que l'on dispose de critères d'évaluation, soulève au moins deux problèmes : celui de la détermination de la norme par rapport à laquelle l'erreur est évaluée et des degrés de liberté dont dispose l'opérateur d'une part, et celui de la volonté ou de l'intention d'autre part.

1. La norme

Nous avons déjà mentionné avec Leplat (1990), que l'écart de l'activité humaine lors d'un accident peut être défini par rapport à la tâche prescrite, par rapport à la tâche effective ou par rapport à l'activité réelle de l'opérateur. Dans tous les cas, la norme qui sert à définir l'erreur peut être relative soit à un résultat, soit à une action. Ainsi, pour un anesthésiste dont la tâche prescrite est d'injecter une certaine dose de curare pour relâcher la musculature avant intubation en vérifiant l'état du patient après les 3 min. de délai d'action du produit, on considérera qu'il y a *erreur sur le résultat* si le niveau de relâchement n'atteint pas la valeur-cible et *erreur sur l'action* si, par exemple, le délai n'est pas respecté.

Cette distinction est importante car les liaisons entre les résultats et les actions, autrement dit entre les fins et les moyens, définissent virtuellement l'espace de liberté de l'opérateur au-delà duquel l'erreur est définie. Or, on constate que ces liaisons ont changé avec l'évolution des milieux de travail. Jadis, dans les environnements de travail traditionnels, les relations entre résultats et actions étaient stables et bien établies. Elles étaient souvent formulées de façon explicite dans des modèles normatifs de la tâche, dans des règlements de travail ou dans des standards de comportements. Dans ces conditions, la référence à la "tâche prescrite" était particulièrement appropriée et aisée pour identifier l'erreur.

Aujourd'hui, ce type de référentiel n'est plus adéquat. Comme l'a souligné Rasmussen (1993a), la stabilité et la répétition des tâches ont été remplacées par des environnements de travail évolutifs et dynamiques dans lesquels il est difficile d'envisager une liste comprenant toutes les situations possibles et les réponses adéquates. Les procédures qui existent sont nécessairement incomplètes, parfois même en contradiction avec les exigences particulières de la situation. Il est clair que les relations classiques entre les fins et les moyens ont évolué. Elles se sont élargies. Différentes procédures peuvent mener à un même résultat; toute procédure défectueuse ne mène pas toujours à la catastrophe; et toute bonne décision ne garantit pas un bon résultat. Ceci est particulièrement vrai dans des systèmes dynamiques comme la médecine où un résultat catastrophique peut survenir en dépit de l'expertise de l'équipe médicale.

Dans un tel environnement, l'exigence primordiale, pour citer Rasmussen (1991b, p. 50), "devient l'identification, parmi la diversité des moyens et des alternatives disponibles, de ceux qui seront le mieux adaptés au but ou à la fonction considérée, dans les conditions particulières du moment".

Il est donc évident que la définition de l'erreur ne peut plus reposer uniquement sur le référentiel de la tâche idéale mais doit inclure, comme l'avait déjà proposé Cuny (1993) les trois niveaux d'analyse : la tâche prescrite, la tâche effective et l'activité réelle. Par ailleurs, il s'agit moins d'une "définition" au sens strict que d' "une mise en problème" visant à comprendre l'erreur c'est-à-dire à penser le comportement dans ses rapports à la situation de travail.

Pour répondre à cette nécessité d'intégration, De Keyser et Woods (1990) ont proposé comme approche : *the neutral observer criterion* qui consiste à comparer le comportement d'un opérateur pendant un incident passé à celui de ses collègues, cela à divers moments de l'évolution de la situation. En pratique, la comparaison se fait en demandant aux autres opérateurs ce qu'ils auraient fait dans des circonstances égales. Sur la base des informations recueillies, "l'observateur neutre" évalue les exigences et les contraintes du moment, pronostique les futurs possibles et mesure les possibilités d'action pour l'opérateur.

L'approche du *neutral observer* aide à définir l'enveloppe des réponses possibles et acceptables compte tenu des conditions particulières du moment. La question, pour lui, est de définir si le chemin emprunté par l'opérateur est *plausible*. La difficulté est d'éviter le biais de la rétrospection qui peut l'amener à surestimer ce qui était réellement connu par l'opérateur avant la prise de décision.

2. L'intentionnalité dans l'erreur

Expliquer un comportement, c'est en saisir le sens pour l'acteur; c'est reconstruire ses raisons et ses intentions. Le système judiciaire fait dépendre la responsabilité d'un acte de la présence d'une volonté à commettre cet acte. De la même manière, la définition psychologique de l'erreur humaine limite l'emploi du terme aux seules actions intentionnelles. Toutefois, Searle (1980, p.52) fait une distinction entre l'intention préalable et l'intention en action : "Toute action intentionnelle, dit-il, comporte une intention en action, mais ne présente pas nécessairement d'intention préalable". L'auteur cite l'exemple d'une personne qui, sous l'impulsion du moment, en frappe une autre. "En ce cas, écrit-il, l'action et l'intention sont inséparables" : il y a une intention dans l'action mais pas d'intention préalable.

Toutes les actions "subsidiaries" qui permettent d'atteindre un état final souhaité (par exemple, ouvrir la portière, mettre la clé de contact, démarrer le moteur, etc. en vue de conduire) n'ont pas, non plus, d'intention préalable mais sont néanmoins intentionnelles.

Par intention, on entend à la fois l'expression d'un résultat final et l'identification des moyens pour y parvenir. Ce concept est à la base de la distinction que Norman (1981) et Reason (1988) ont systématisé entre deux types fondamentaux d'erreurs : les *ratés* et les *lapses* d'une part, et les *fautes* d'autre part. Les premières étant des erreurs qui résultent d'un défaut dans l'exécution et/ou dans le stockage d'une séquence d'actions, indépendamment de l'adéquation du plan qui les guide à son objectif. Les secondes, des déficiences ou des défauts dans les processus de jugements et/ou d'inférence, impliqués dans la sélection d'un objectif ou dans la spécification des moyens pour l'atteindre, indépendamment du fait que les actions basées sur ce schème de décision se déroulent ou non conformément au plan.

§ 3. LES CLASSIFICATIONS

La distinction entre *raté* et *lapse*, et *faute* est une façon de classer les erreurs. Il en existe beaucoup d'autres qui reflètent la variété des intérêts pratiques et des orientations théoriques des recherches depuis une vingtaine d'années. De ce fait, l'idée d'une classification universelle n'est pas envisageable; elle l'est d'autant moins que l'erreur humaine peut être décrite à différents niveaux, selon l'explication plus ou moins orientée vers les relations entre les facteurs contextuels locaux et les processus psychologiques fondamentaux mis en jeu dans leur genèse. Néanmoins, il est possible de distinguer trois niveaux de classification : comportemental, psychologique et systémique.

1. Le niveau comportemental

Au premier niveau, on peut décrire l'erreur en termes du domaine, et les classer dans des catégories liées à la nature de l'activité dont elles sont issues. Citons à titre d'exemple, une typologie d'erreurs d'anesthésie :

- Déconnexion du circuit respiratoire
- Erreur de mélange des gaz frais
- Confusion de seringues ou d'ampoules
- Panne d'alimentation en gaz
- Déconnexion des voies veineuses
- Mauvais fonctionnement du laryngoscope
- Extubation prématurée
- Mauvaise connexion du système respiratoire
- Compensation liquidienne non adaptée
- Changement de position du tube endotrachéal

Tableau 1. Typologie d'erreurs en anesthésie, adapté de Copper et al. (1978)

Dans le monde du travail, les analyses d'accident ont beaucoup utilisé cette méthode. Les rubriques font en général référence exclusivement aux faits ou aux conséquences aisément observables; parfois, elles traduisent une interprétation ou une évaluation (compensation liquidienne non adaptée).

A ce niveau, les erreurs peuvent aussi être classées par rapport à une procédure d'exécution, indépendamment de leur contexte de production. Swain (1976) propose par exemple un classement en cinq catégories : erreur d'omission, erreur d'exécution, erreur due à l'introduction d'une action qui ne figure pas dans la tâche, erreur de séquence et erreur de délai.

Bien que superficiel, ce premier niveau de classification est utile car il attire l'attention sur certains aspects du travail. Toutefois, il est à noter qu'il n'existe pas de corrélation simple et établie entre les caractéristiques observables des erreurs et les mécanismes mentaux en jeu. Deux erreurs d'omission, par exemple, peuvent se produire sous l'effet de processus cognitifs différents, et des erreurs d'omission et d'insertion peuvent partager des étiologies communes.

2. Le niveau psychologique

Le deuxième niveau exploite des hypothèses sur les mécanismes cognitifs impliqués dans la production de l'erreur. Reason (1993) parle de niveau "conceptuel". Ce type de classification est basé sur des inférences théoriques. Il est relatif à un modèle de fonctionnement du sujet, qui ne rend compte de l'activité humaine que de façon imparfaite. Malgré cet inconvénient, les classifications psychologiques sont potentiellement très fructueuses puisqu'elles cherchent à identifier les mécanismes causaux.

Un exemple de ce type se trouve chez Reason (1988) lequel a classé les types fondamentaux d'erreurs évoqués plus haut en fonction des étapes cognitives où ils apparaissent : la planification, le stockage et l'exécution. La planification met en jeu divers processus qui identifient le but et les moyens pour y parvenir. Une phase de stockage de durée variable doit généralement prendre place entre la formulation des actions souhaitées et leur exécution. L'étape d'exécution recouvre les processus impliqués dans la mise en oeuvre effective du plan mémorisé.

Alors que les ratés sont potentiellement observables (dans la parole, dans l'action), Reason réserve le terme lapsus aux erreurs moins observables, principalement causées par des défauts de mémoire, qui ne se manifestent pas nécessairement dans le comportement et qui peuvent n'apparaître qu'au sujet qui les produit.

Étape cognitive	Type fondamental d'erreur
Planification	Fautes
Stockage	Lapsus
Exécution	Ratés

Tableau 2. Classification des types fondamentaux d'erreurs en fonction des étapes cognitives où ils apparaissent, d'après Reason, 1993, p. 36

Certains auteurs ont combiné les deux niveaux de classification, en articulant un niveau externe "phase de la tâche" et un niveau interne "type d'erreur" (Rasmussen, 1980; Wu & Hwang, 1989). Ce type de classification est fructueux car il reconnaît la relation critique entre le type d'erreur et les caractéristiques de la tâche.

3. Le niveau systémique

Le troisième niveau inclut le système d'interaction entre les caractéristiques de l'environnement de travail qui influencent le comportement et les tendances fondamentales à la défaillance que révèle l'erreur.

La classification prend la forme d'une modélisation qui doit servir à décrire les articulations entre les grandes catégories de facteurs qui conditionnent le comportement en situation de travail. La figure suivante en est un exemple.

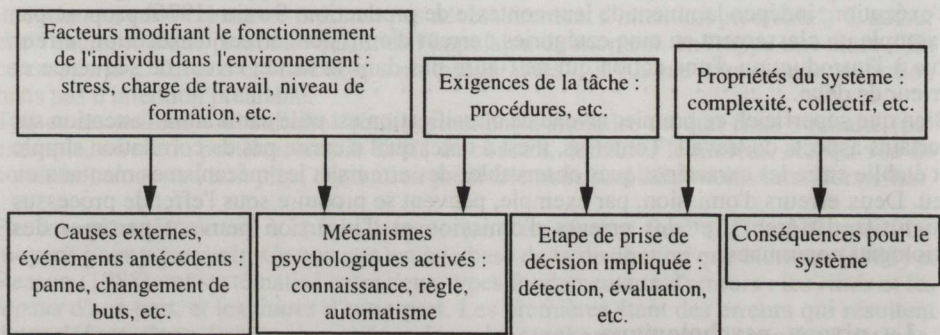


Figure 4. Décomposition de l'activité pour identifier les grandes catégories de facteurs internes et externes entrant dans l'analyse de l'erreur, d'après Rasmussen et al. , 1994

Ce niveau de classification, appliquée à une situation de travail, conduit naturellement à l'idée de "scénarios prototypiques d'erreurs" caractérisés par des combinaisons spécifiques entre les différents facteurs de cause. Les résultats obtenus conduiraient à une meilleure connaissance des liens entre la performance humaine et les occasions d'erreurs en situation de travail. C'est l'idée de cette thèse. Mais une telle démarche soulève immédiatement la question de la généralisation des résultats construits à partir de l'analyse d'une situation de travail particulière.

§ 4. QUESTION DE GÉNÉRALISATION

La phase de généralisation est souvent identifiée dans la littérature sous les termes de validité "externe" d'une étude, validité externe qui est à distinguer de la validité "interne" laquelle mesure le degré de certitude avec lequel il est possible d'affirmer que "c'est bien x qui fait varier y et non une autre variable" (Lemaine & Lemaine, 1969).

La validité externe mesure la possibilité d'étendre les résultats obtenus à d'autres situations ou à d'autres contextes.

Cellier et al. (1990) ont défini la généralisation comme le résultat d'une activité d'abstraction qui conduit le praticien à déterminer des classes d'équivalence de situations différentes. Reprenant les travaux d'épistémologie génétique de Piaget, ces auteurs ont envisagé deux stratégies principales pour fonder l'équivalence : *la généralisation basée sur le processus d'abstraction empirique* et *la généralisation basée sur le processus d'abstraction constructive*.

La généralisation empirique consiste à fonder l'équivalence des situations sur une caractéristique structurale de la situation. On peut, par exemple, concevoir comme équivalentes des situations industrielles qui utilisent la même technique, qui partagent le même type de tâche ou certaines propriétés comme l'aspect dynamique. Ce mode de généralisation a souvent été appliqué en psychologie du travail. De nombreux travaux ont été consacrés par exemple aux situations de contrôle de processus continus tels qu'on peut les rencontrer dans la chimie, la sidérurgie, le nucléaire. L'analogie est simple : elle est basée sur le partage d'une caractéristique observable des situations de travail, sans référence aux activités cognitives impliquées dans la tâche.

A la différence de la première, dans la généralisation constructive, l'équivalence est fondée sur des inférences théoriques permettant d'attribuer une signification commune à diverses situations empiriques.

Le problème d'une signification psychologique commune a été soulevé par Woods (1993), et c'est sur le terrain cognitif du comportement que la généralisation des résultats apparaît applicable. En effet, les études qui se sont intéressées aux activités mentales impliquées dans des tâches ont trouvé que les demandes cognitives qui rendent une situation difficile à gérer pour un individu sont souvent les mêmes qui rendent une autre situation, ostensiblement différente, complexe aux yeux d'un autre individu. L'intégration d'un grand nombre de variables en interaction, par exemple, apparaît comme une activité complexe quels que soient le contexte et le sujet. D'autre part, des travaux récents de psychologie cognitive, que nous développons dans le cadre du chapitre suivant, ont révélé des stratégies de simplification (conscientes et inconscientes) que les individus adoptent en vue de réduire la complexité à laquelle ils sont confrontés. Ces stratégies sont systématiques et universelles. On peut donc envisager leur utilisation dans toutes les situations complexes de travail.

Un autre type de généralisation est également envisageable sur le terrain de l'organisation du phénomène étudié. On peut imaginer en effet que deux systèmes présentent la même organisation et fonder l'équivalence sur cette base. Dans le cadre de notre recherche, l'idée de "scénario prototypique" apparaît comme un lieu possible de généralisation si l'on parvient à mettre à jour des structures invariantes quant à la production d'erreurs, communes aux systèmes complexes.

Chapitre 2

LES MÉTHODES D'INVESTIGATION ET LEURS CONTRIBUTIONS

La multiplicité des conceptions relatives à l'erreur humaine demande un soin d'autant plus poussé dans le choix des méthodes d'approche et de contrôle que ces conceptions témoignent d'un processus de jugement social et psychologique.

Par ailleurs, le problème de l'erreur humaine n'existe pas à l'état nu, c'est-à-dire indépendamment des théories et des méthodes qui conduisent à le poser.

Il convient donc de consacrer un chapitre à l'examen de ces méthodes ainsi qu'à la présentation, nécessairement sélective, des notions ou des explications employées.

Cet examen comprend trois parties, utiles à dissocier pour la clarté de l'exposé mais finalement inséparables, dès l'abord, d'un cadre de connaissance général sur les mécanismes d'erreur humaine.

Dans la première partie, la plupart des recherches ont été menées en laboratoire dans la tradition des sciences expérimentales. Elles s'intéressent aux traitements cognitifs de l'information et aux erreurs qui leur sont associées dans des tâches de résolution de problèmes bien définies et manipulables, et en proposent des modèles.

La deuxième partie insiste sur les aspects des situations de travail qui influencent la pensée et l'action du travailleur. La plupart de ces travaux ont recueilli et analysé des données naturalistes sur les erreurs via l'observation en milieu industriel.

La troisième approche plus récente fondée sur l'utilisation de simulateur vient enrichir les possibilités d'observation, d'analyse et de contrôle dans ce domaine.

§ 1. RECHERCHES DE LABORATOIRE

La construction de tâches dans des conditions parfaitement contrôlées a surtout concouru à l'étude des mécanismes sous-jacents à la production des erreurs. De telles investigations s'inscrivent dans le courant des sciences cognitives. Elles ont révélé notamment la présence de défaillances systématiques dans le raisonnement humain, appelées "*biais cognitifs*", pouvant conduire à des erreurs dont on doit un catalogue à Fraser et al. (1992). Loin de prendre leurs racines dans des tendances irrationnelles, ces formes d'erreurs récurrentes trouvent leurs sources dans des processus psychologiques fondamentalement utiles. Comme le disait très bien Mach (1905) : "La connaissance et l'erreur coulent des même sources mentales, seul le succès permet de différencier l'une de l'autre".

1. Les biais cognitifs ou "les erreurs systématiques"¹

Evans (1989, p. 9) définit un biais comme : "a systematic tendency to take account of factors irrelevant to the task at hand or to ignore relevant factors". L'omniprésence des

¹ Voir Evans (1989) pour une revue détaillée sur les biais cognitifs

biais laisse à penser qu'ils prennent racine dans des processus cognitifs universels. Parmi les biais les plus connus, on peut citer le biais de confirmation et le biais de jugement.

- 1) **Le biais de confirmation**, souvent considéré comme caractéristique du raisonnement inductif, est décrit comme une tendance de la part des sujets à rechercher l'information permettant de confirmer une hypothèse plutôt que celle permettant de l'infirmer. Il a été mis en évidence dans des tâches d'inférence variées (Oakhill & Johnson-Laird, 1985; Beattie & Baron, 1988) dont la plus célèbre est sans aucun doute la tâche de sélection de Wason (1960) ou *problème des quatre cartes*.

Dans sa version formelle, on présente à des sujets un paquet de cartes portant toutes une lettre au recto et un chiffre au verso puis on leur demande de considérer la règle suivante : "si une carte porte la lettre B d'un côté, alors elle porte le chiffre 3 de l'autre côté". Quatre cartes sont prélevées du paquet et exposées seulement sur une face, par exemple: B, D, 3, 7. La tâche consiste à indiquer les cartes qu'il est indispensable de retourner pour savoir si la règle est vraie ou fausse. La solution correcte est de retourner B et 7; ce sont les seules manières de détecter les contre-exemples. Typiquement 10 % des sujets choisissent ces cartes. La plupart des sujets choisissent B ou B, 3 ou plus rarement B,3,7. On attribue généralement les deux premiers patrons de réponse à un biais de confirmation.

Plusieurs chercheurs ont remis en question cette interprétation. Johnson-Laird et al. (1972) ont remarqué une augmentation de la fréquence de la réponse logiquement correcte lorsqu'on présentait la règle dans le cadre d'un scénario familial aux sujets tel que "si une enveloppe est cachetée, alors elle a un timbre de 50 litres". Ce résultat a d'abord été interprété en terme d'activation de la mémoire : la recherche des contre-exemples serait facilitée par l'expérience des sujets. Les recherches de Cheng et Holyoak (1985) ont ensuite remis en question cette interprétation, en montrant que des sujets sans expérience de l'affranchissement postal font les choix logiquement corrects aussi fréquemment que les sujets avec expérience si - et seulement si - on fournit aux premiers la raison d'être de la règle. Les auteurs s'appuient entre autre sur ce résultat pour soutenir que l'individu ne dispose pas de règles d'inférences abstraites indépendantes du contexte, mais raisonne en utilisant des "structures de connaissance abstraites induites de la vie courante telles que permission, obligation, cause, etc.", qu'ils appellent "schémas pragmatiques de raisonnement".

Evans (1989) relie le biais de confirmation à un ensemble de défaillances cognitives : les sujets chercheraient à confirmer, non pas parce qu'ils le voudraient, mais parce qu'ils ne sauraient pas comment infirmer la règle. Il relie la tendance observée principalement à deux défaillances fondamentales liées aux processus pré-attentionnels de sélection de l'information : le biais positif (Klayman & Ha, 1987) conduisant les sujets à sélectionner l'information positive plutôt que négative et le biais d'appariement qui consiste à choisir un exemple dont les éléments coïncident avec ceux mentionnés dans l'exemple.

Dans un article récent, Liberman et Klar (1996) proposent une explication de la performance en terme de compréhension de la tâche. Ces auteurs font remarquer que l'individu réagit à la tâche de sélection de Wason de la même façon qu'il résout un problème au quotidien. Or, dans la vie de tous les jours, une règle telle que "si P alors Q" sous-tend plus souvent une relation probabiliste qu'une relation déterministe; dans ce cas, le contre-exemple est peu utile pour tester la règle. Par ailleurs, dans la tâche de sélection de Wason, il n'existe qu'un seul patron de réponse qui réfute la règle alors qu'il existe souvent plusieurs contre-exemples à une règle dans la réalité. Dès lors, une stratégie de test négatif peut être moins optimale qu'une stratégie de test positif. Ainsi, lorsqu'un individu n'a qu'une faible idée d'une règle, il est naturel qu'il recherche en premier à la confirmer. Les contre-exemples deviennent utiles uniquement quand la règle est établie. Plusieurs études ont aussi montré que la performance peut être favorisée si les instructions invitent à réfuter la règle (Griggs,

1984; Yachanin, 1986). Le débat sur la tâche de sélection de Wason et son interprétation est donc grand ouvert.

- 2) Le **biais de jugement** a été mis en évidence dans des tâches comme celle du pari dans laquelle les sujets sont invités à formuler une estimation de probabilité d'un événement passé ou futur. Le résultat principal fut le constat de l'incapacité des sujets à produire des réponses qui soient compatibles avec la théorie des probabilités. Kahneman et al. (1982a) ont proposé le concept d'heuristique pour tenter d'expliquer ce résultat. Le terme désigne des procédures d'élaboration de réponses dont la justification n'est pas rigoureuse mais qui sont habituellement efficaces. Les principales heuristiques sont : *la disponibilité, la représentativité et l'ancrage-ajustement*.

i) *L'heuristique de disponibilité*

Elle exprime l'estimation d'une probabilité d'un événement par l'évocation d'exemples. Une telle stratégie est utile car elle est en général efficace et rapide. Néanmoins, elle peut conduire à des erreurs prévisibles, dues notamment à la facilité avec laquelle des exemples peuvent être rappelés en mémoire et dues à l'attitude de recherche. Lorsqu'on présente, par exemple, des listes de noms et que l'on demande après coup si elles comportaient davantage de noms d'hommes ou de femmes, les sujets répondent invariablement en fonction du nombre de noms de personnalités connues présents dans la liste.

Dans un autre domaine, Chapman et Chapman (1967) ont montré que les médecins établissaient des corrélations entre des examens et des diagnostics alors qu'elles n'existaient pas du point de vue statistique dans les données présentées. Ces auteurs ont demandé à des psychiatres si la dépression est cause du suicide. La plupart ont répondu par l'affirmative. Quand ils les ont interrogés sur la base empirique sur laquelle ils fondaient cette relation, ils se sont contentés de dire qu'ils avaient rencontré un nombre appréciable de sujets manifestant des symptômes dépressifs et ayant fait une tentative de suicide. Par conséquent, c'est sur base de leur expérience, de leur attente et de leur croyances qu'ils concluaient à cette relation. L'insistance des médias peut aussi favoriser une perception tronquée d'une relation. Slovic et al. (1982) ont ainsi montré que les individus surestimaient radicalement le nombre de morts dû aux accidents par rapport à celui dû aux maladies.

ii) *L'heuristique de représentativité*

Cette heuristique évalue la probabilité d'un événement en fonction de sa similarité avec les propriétés essentielles de sa population parente (proche de la typicalité) ou de la façon dont il représente les caractéristiques saillantes de sa procédure d'obtention.

Dans le contexte industriel, cette heuristique est particulièrement pertinente dans le diagnostic des pannes. Quand un incident se produit sur un chaînon "a" d'une installation, l'opérateur se référera à la similarité de la panne avec les incidents types provenant d'ordinaire de "a". Cette heuristique peut, néanmoins, conduire à des erreurs systématiques car elle néglige certains facteurs qui devraient affecter les jugements de probabilité comme par exemple la taille de l'échantillon et la probabilité a priori.

iii) *L'heuristique d'ancrage-ajustement*

Dans la plupart des situations, les gens font des estimations à partir d'une valeur initiale qui est ajustée pour produire la réponse finale. La valeur initiale ou "ancree" peut être suggérée par la formulation du problème ou résulter de calculs partiels.

Si l'on demande à des sujets d'estimer rapidement, par exemple, la valeur du produit $8 \times 7 \times 6 \times 5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1$ et à d'autres celle du produit $1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5 \times 6 \times 7 \times 8$, on

constate que les premiers donnent en moyenne 2250 et les seconds 512 (résultat correct 40320).

Le phénomène d'ancrage se réfère au biais introduit par la valeur initiale dans l'estimation: différents ancrages produisent des estimations différentes qui sont biaisées dans le sens de la valeur initiale.

Deux facteurs peuvent conduire à persévérer dans un jugement : la sur-confiance dans ses prédictions (Lichtenstein et al., 1982) et la recherche de confirmation de la prédiction qui conduit à négliger les feedback négatifs (Brehmer, 1974). Cette persévérance peut aboutir à des erreurs de fixation que l'on retrouve dans de nombreux scénarios catastrophiques, comme l'ont décrit De Keyser et Wood (op. cit.).

Il existe au sujet de ces heuristiques une polémique concernant leur moment d'intervention, précoce ou tardive, dans la chaîne de traitement de l'information. Pour Evans (1984), les règles heuristiques sont entièrement inconscientes et relèvent du stade pré-attentif. Elles ont pour fonction d'identifier les aspects psychologiquement pertinents d'une information donnée et de retrouver en mémoire l'information pertinente qui lui est associée. Cet auteur propose un modèle qui repose essentiellement sur deux stades :

- un stade heuristique au cours duquel certains aspects du problème sont identifiés comme pertinents et sélectionnés pour un traitement ultérieur,
- un stade analytique au cours duquel les inférences sont réalisées à partir de l'information sélectionnée.

En revanche, Kahneman et al. (op.cit.) définissent les heuristiques comme des méthodes d'élaboration d'inférences. S'il fallait les placer dans le modèle d'Evans, elles se situeraient au niveau du stade analytique au même titre que la théorie des schémas de Bartlett¹, des modèles mentaux de Johnson-Laird² et plus récemment de la théorie des scripts telle que Shank et Abelson³ l'envisagent.

¹ Bartlett (1932) a invoqué la notion de schéma pour expliquer les erreurs systématiques qui apparaissent dans le rappel de matériel textuel. Il a découvert que dans le cas du rappel, le texte était plus régulier, plus conventionnel que les histoires initiales et a attribué cette cohérence à la mise en oeuvre de schéma. Selon lui, un schéma est une organisation active de réactions passées ou d'expériences passées, que l'on doit toujours supposer à l'oeuvre dans toute réponse bien adaptée. La notion de schéma a été reprise dans les théories cognitives actuelles dans le cadre d'un mode de contrôle schématique qui permet de traiter rapidement les informations familières et sans effort conscient.

² Plusieurs auteurs ont fait dépendre la cohérence introduite par l'apprenant davantage de la structure de ses connaissances, c'est-à-dire de sa représentation du domaine. La notion de modèle mental (Johnson Laird, 1983) a été introduite pour conceptualiser cette représentation du monde que les apprenants se sont construits à travers leurs expériences et leurs apprentissages et qui est activée lors de la lecture d'un texte.

³ Shank & Abelson (1977) ont proposé un modèle assez célèbre de la représentation de notre connaissance des situations quotidiennes. Il s'agit de la théorie des scripts. La majorité des auteurs utilisent le terme script comme synonyme de schéma d'événements pour désigner une représentation conceptuelle d'une situation stéréotypée. Mandler & Murphy (1983) ont énoncé l'idée que le schéma d'événement pourrait fonctionner comme une structure hiérarchiquement organisée mais ce n'est que plus récemment qu'Abbott et al. (1985) ont proposé les premiers tests empiriques visant à évaluer cette proposition (voir Bredart, 1987).

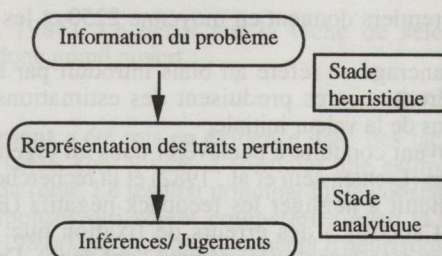


Figure 5. Modèle de raisonnement en deux stades, d'après Evans, 1989, p. 25

Les recherches sur les biais cognitifs posent le problème de la compétence du raisonnement en référence à la théorie des traitements cognitifs de l'information et de la sélection opérée. Evans (1984) a souligné l'importance de la notion de pertinence de l'information, puisque c'est de la perception de cette pertinence que dépend, de façon critique, l'exactitude des raisonnements. Beaucoup de ses travaux se sont attachés à étudier les facteurs qui la déterminent et qui, par conséquent, jouent un rôle dans la sélection des informations retenues par les sujets, comme par exemple leurs croyances et la formulation linguistique du problème.

En plus de ces facteurs, le traitement de l'information est contraint par des caractéristiques structurales et fonctionnelles du système de traitement. On ne fera pas ici une revue de celles-ci. Deux caractéristiques fondamentales retiendront cependant notre intérêt, car elles se sont montrées très fructueuses dans l'explication de la production d'une large variété d'erreurs. Ce sont : *la capacité limitée de la mémoire de travail et la nature automatique ou contrôlée des processus de traitement de l'information.*

2. Capacité limitée de la mémoire de travail

Le concept de mémoire de travail (*Working Memory*, Baddeley, 1986) est aujourd'hui largement reconnu en psychologie cognitive. Alors que la mémoire à court terme ne serait qu'un système de stockage passif entre les processus perceptifs et la mémoire à long terme, la mémoire de travail est définie plus largement comme un centre de traitement d'informations transitoires directement utiles pour l'action en cours et inutiles à conserver durablement (Camus, 1996). Elle effectue les révisions qui s'imposent au fur et à mesure de la réalisation des différentes phases du plan.

Les processus attentionnels sont donc liés à cette mémoire de travail par la nécessité de maintenir continuellement disponibles des représentations différentes dont le nombre risque d'excéder les capacités de la mémoire à court terme ou qui doivent être maintenue un laps de temps excédant la capacité temporelle de cette mémoire. Certains auteurs conçoivent alors que la stratégie de sélectivité des informations ainsi que bon nombre d'heuristiques adoptées par les sujets sont des dispositions prises pour soulager la mémoire de travail ou minimiser l'effort cognitif (Reason, op. cit.; Evans, op. cit.).

Norman et Shallice (1986) suggèrent que le traitement cognitif dispose d'un système attentionnel superviseur concerné par la possibilité d'interrompre volontairement un plan en cours, de stopper délibérément la routine actuelle et d'élaborer une stratégie neuve. Ce superviseur exerce sa fonction non seulement dans les situations nouvelles pour lesquelles aucune routine n'est a priori disponible, mais aussi dans le cas où une routine automatisée (mais non sélectionnée dans le plan en cours) s'emparerait de manière intempestive du contrôle de l'exécution. Ce système attentionnel est donc obligé de maintenir activement en mémoire de travail certaines représentations pour contrebalancer les priorités cognitives puissantes qui sont liées au caractère automatique de certaines activités.

Plusieurs travaux de neurophysiologie (Shallice & Burgess, 1991; Damasio, 1995) ont montré que les patients souffrant de lésions préfrontales sont souvent handicapés dans diverses activités cognitives concernées par le superviseur attentionnel, par exemple dans l'élaboration d'une stratégie nouvelle, dans sa réactualisation en fonction des

changements externes ou dans sa vérification au cours de son exécution. Dans un article récent, Shallice & Burgess (1993) font l'hypothèse d'un superviseur attentionnel fractionné, qui permettrait d'expliquer l'observation sélective de certains troubles chez un même patient.

3. Processus automatiques et processus contrôlés

En 1977, Schneider, Schiffrin et leur groupe de recherche mettent en évidence l'existence de deux processus de traitement de l'information : "le traitement automatique et le traitement contrôlé". On empruntera aux auteurs une présentation résumée : "Le traitement automatique est généralement un traitement rapide, en parallèle, requérant peu d'efforts, qui n'est pas limité par la capacité de la mémoire à court terme, n'est pas sous le contrôle direct du sujet et réalise des comportements d'une habileté bien développée. Il se développe typiquement quand des sujets traitent des stimuli d'une manière uniforme durant beaucoup d'essais, il est difficile à supprimer, modifier ou ignorer une fois appris. Le traitement contrôlé est souvent lent, généralement en série, requiert de l'effort, limite la capacité, est régulé par le sujet et employé pour traiter une information nouvelle ou originale. Il est exigé dans des situations où les réponses requises aux stimuli varient d'un essai ou d'une situation à l'autre; il est facilement modifié, supprimé ou ignoré selon le désir du sujet." (Schneider & Schiffrin, 1977; Camus, 1988).

Un certain nombre de critiques ont été adressées à la théorie de Schiffrin et Schneider. On retiendra, en particulier que leur approche est plus descriptive qu'explicative (Eysenck & Keane, 1990). Nous développerons ce point dans le cadre de la partie consacrée à l'expertise.

Norman et Shallice (1986) ont proposé une analyse en deux plans du système cognitif. Le premier plan correspond à celui où sont conservées toutes nos actions routinières, automatiques et automatisées fonctionnant comme des sous-programmes et caractérisant notre compétence en savoir-faire. Ces routines sont appelables à volonté et sont mises en oeuvre dès que les conditions d'exécution sont réunies. L'activité automatisée se déroule sans contrôle volontaire et sans attention manifeste.

Le second plan correspond à la définition d'un schéma comportemental plus complexe, un programme composé de routines. La structure de ce programme est différente de celle des routines notamment par le fait qu'il est contrôlé.

En définitive, ces auteurs distinguent deux systèmes de contrôle : un système de supervision attentionnel et un gestionnaire des priorités de déroulement qui fonctionne de manière relativement automatique et assure de manière souple les ajustements nécessaires en fonction des changements locaux, sans modifier profondément la substance du plan.

La distinction automatique/contrôlé a eu d'importantes implications dans l'étude et plus spécialement dans la taxonomie des erreurs humaines puisque, comme l'a montré Reason (1993), chacun de ces processus suscite des erreurs différentes par leur forme et leur déterminant (voir chapitre 1, § 3).

4. Conclusions

L'ensemble des recherches expérimentales précédentes constituent sans aucun doute un outil privilégié pour l'étude des mécanismes mentaux en jeu dans la production de l'erreur humaine. Elles souffrent, néanmoins, de la pauvreté des observables à partir desquels les processus et les biais sont conceptualisés. Dans la plupart des cas, l'observable unique est la réponse du sujet, laquelle est mise en relation avec la tâche à partir de laquelle elle a été sollicitée.

Idéalement, les tâches expérimentales constituent des micro-environnements qui abstraient les variables essentielles d'environnements plus larges auxquels l'expérimentateur veut généraliser ses résultats. En réalité, certaines de ces variables peuvent manquer ou changer en laboratoire, avec des conséquences importantes sur le phénomène observé.

Plus les mesures de contrôle prises par l'expérimentateur sont sévères, plus les tâches sont artificielles et décontextualisées. La performance réalisée sur de telles tâches par des sujets insouciantes des conséquences de leur comportement peut alors différer radicalement de celle que l'on observerait en situation naturelle.

Par ailleurs, la pénétration des outils informatiques dans des environnements de travail où s'exercent des activités réputées complexes et expertes a multiplié les recherches de terrain et de plus en plus de chercheurs font appel aux concepts de biais et d'heuristiques pour expliquer certaines erreurs de raisonnement observées en milieu industriel. Une certaine prudence est ici de mise car, comme nous l'avons montré pour le biais de confirmation, ces concepts dépendent beaucoup du paradigme expérimental utilisé pour les mettre à jour et leur définition, par conséquent, doivent souvent se limiter à ce cadre.

§ 2. MÉTHODES NATURALISTES OU "RECUEIL DE CORPUS"

Le recueil d'erreurs en situation réelle consiste à recueillir et à décrire des phénomènes qui se produisent spontanément. C'est la première étape du processus de catégorisation des erreurs dans le monde réel. Les méthodes de recueil sont diverses : auto observation (Freud, 1914), recueil systématique de la vie quotidienne (Wilkins & Baddeley, 1978), observation in situ, questionnaires, etc. Mais le recueil d'un corpus présente au moins deux difficultés : la rareté des erreurs force le chercheur à observer le comportement pendant des heures sans garantie de succès et l'évaluation des erreurs exige une connaissance profonde de la situation de travail.

Malgré ces difficultés, les méthodes naturalistes ont le mérite de donner une vue d'ensemble du phénomène, en insistant sur l'étroite interaction des conditions externes du milieu et des caractéristiques internes du fonctionnement de l'opérateur.

L'étude de la complexité et de l'expertise, souvent liées dans la réalité, constitue un objectif caractéristique de ce courant de recherches. Dans cette partie, on examinera certains traits importants que recouvrent ces deux concepts et qui ont justifié le recueil de données naturelles sur l'erreur humaine.

1. Description de la complexité des situations de travail

Bien que la perception de la complexité soit un sentiment éminemment relatif, plusieurs auteurs ont identifié, à travers des observations multiples, les traits de base de la complexité qui rendent une tâche difficile pour un opérateur quelle que soit la situation de travail.

Trois éléments de base et leurs interactions doivent être pris en compte : le monde ou la situation dans laquelle l'opérateur travaille, les personnes qui agissent sur ce monde et la représentation que l'opérateur a du monde.

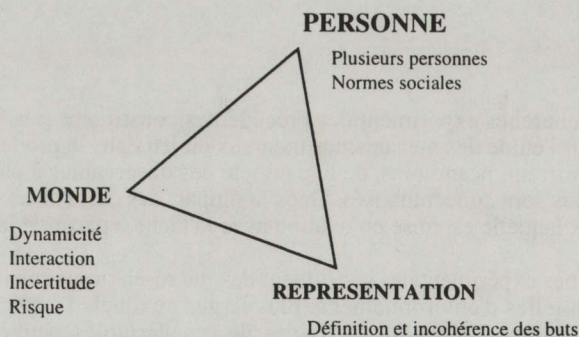


Figure 6. Facteurs qui contribuent à la complexité d'après Woods (1988) et représentation des traits issus de l'analyse de Orasanu & Conolly, 1993

Woods (1988) a proposé de caractériser la complexité liée au monde à travers 4 dimensions : la dynamique, le nombre et la façon dont les variables sont en interaction, l'incertitude et le risque. Plus récemment, et dans le cadre d'une comparaison des recherches sur la prise de décision menées en laboratoire et en situation naturelle, Orasanu et Connolly (1993) ont souligné que 8 traits caractéristiques du monde industriel sont fréquemment ignorés dans l'étude de la performance en laboratoire.

Bien évidemment, ces huit traits ne sont pas présents de la même façon dans chaque environnement de travail, mais leur présence complexifie l'exécution de la tâche et par conséquent caractérise les circonstances qui conduisent à des erreurs dans le monde réel. Ce sont :

1. la définition confuse de la tâche et l'incohérence des buts
2. le caractère dynamique et incertain de l'environnement
3. les délais d'action et les boucles de rétroaction
4. les contraintes temporelles
5. la multidétermination
6. les risques
7. la dimension collective du travail
8. les normes sociales

1) Définition confuse de la tâche et incohérence des buts

Contrairement aux tâches expérimentales conçues par le chercheur à partir des hypothèses à éprouver, les tâches réelles se présentent rarement sous la forme d'une consigne claire et précise à laquelle ne correspond qu'une seule bonne réponse. Ce point a déjà été abordé dans le chapitre 1 où les notions de tâche et de liberté d'action ont été développées.

Les limites et l'incomplétude des consignes, décrites par certains comme un trait de la complexité des situations de travail (Leplat & Hoc, 1983), ont souvent été signalées dans les analyses d'accident comme une source importante de réduction de la fiabilité (Weill Fassina, 1979). De même, l'incohérence et le caractère contradictoire des buts sont à l'origine de certaines erreurs. Les études de Cook et Woods (1994) et De Keyser et Nyssen (1993) l'illustrent bien. En dehors des laboratoires, il est rare qu'une tâche ne fasse référence qu'à un seul but défini. Plusieurs objectifs doivent en général être remplis conjointement. En plus de l'objectif de productivité, des objectifs de sécurité, de qualité, de réduction de coût sont souvent à la base des prises de décision des travailleurs. Ils peuvent être plus ou moins lointains, plus ou moins interdépendants, parfois conflictuels, avec des effets différents sur la performance humaine.

Selon le contexte, le travailleur hiérarchise les objectifs à atteindre. Ainsi, dans un contexte d'optimisation, l'objectif de productivité est prioritaire. En revanche, le travailleur confronté à un accident aura pour objectif premier de récupérer l'incident sinon d'éviter sa propagation, afin de rétablir le système en sécurité.

Locke (Locke et al., 1981) a énuméré quatre mécanismes par lesquels les buts peuvent affecter la performance : en dirigeant l'attention et l'action, en mobilisant la dépense d'énergie ou l'effort, en prolongeant l'effort dans le temps (persistance) et en motivant l'individu à mettre en oeuvre des stratégies pertinentes visant à atteindre le but.

Les sources potentielles d'erreur liées à une définition confuse de la tâche et à une incohérence des objectifs se posent d'une façon encore plus aiguë dans des environnements dynamiques, incertains et multidéterminés.

2) Environnements dynamiques et incertains

Reason (1990) distingue trois configurations de problèmes : - soit les caractéristiques physiques du problème restent constantes quelles que soient les actions des

opérateurs; la configuration est définie comme statique, - soit les actions des opérateurs modifient la configuration du problème; elle est dynamique réactive, - soit la configuration du problème est influencée à la fois par les actions des opérateurs et, spontanément, par des facteurs indépendants, liés à la situation ou à la nature du processus lui-même; elle est multidynamique. Dans ce cas, l'état du monde peut évoluer et certains événements peuvent survenir à des moments indéterminés.

D'un point de vue cognitif, cette caractérisation a d'importantes conséquences pour l'opérateur. Dans un environnement multidynamique, la connaissance qu'a l'opérateur de la façon dont le monde change est essentielle pour la prise de décision et l'action. Néanmoins, elle est souvent imparfaite. De Keyser et Woods (op. cit.) ont montré que, pour résoudre un problème dans ce type de situation instable, l'opérateur procédait davantage par ajustements successifs avec de nombreuses vérifications plutôt que par sélection d'une stratégie a priori suivie de la génération et l'implémentation d'un plan.

Les actions de l'opérateur qui influencent le cours des événements fournissent également des informations cruciales sur la façon future d'agir. Les médecins, par exemple, conçoivent un traitement à la fois pour sa qualité thérapeutique et pour sa valeur diagnostique. Une règle qui pourrait être appliquée serait : "Si le patient répond à la drogue A, alors le diagnostic serait de type X. Si non, l'action B nous aiderait au cas où l'infection est de type Y". Dans ce cas de figure, il n'y a pas un diagnostic plausible que l'on peut épingler à tout moment d'une échelle de temps, mais plutôt une évaluation progressive des options possibles où action et décision sont étroitement liés (Py, 1987).

D'après Klein (1993), cette stratégie évaluative ne testerait pas les différentes options de façon concurrentielle comme le prétendent les modèles cognitifs classiques, mais séquentiellement sur les circonstances du moment, ce qui permet des réponses adaptées aux exigences évolutives de la situation.

A cet égard, Woods (1988, Figure 7) fait remarquer que le diagnostic initial est souvent assez précis étant donné les données disponibles du moment. Les erreurs surviendraient quand la représentation qu'a l'opérateur de la situation est découplée de l'état actuel des choses compte tenu des développements inattendus ou imprévisibles (Bainbridge, 1989).

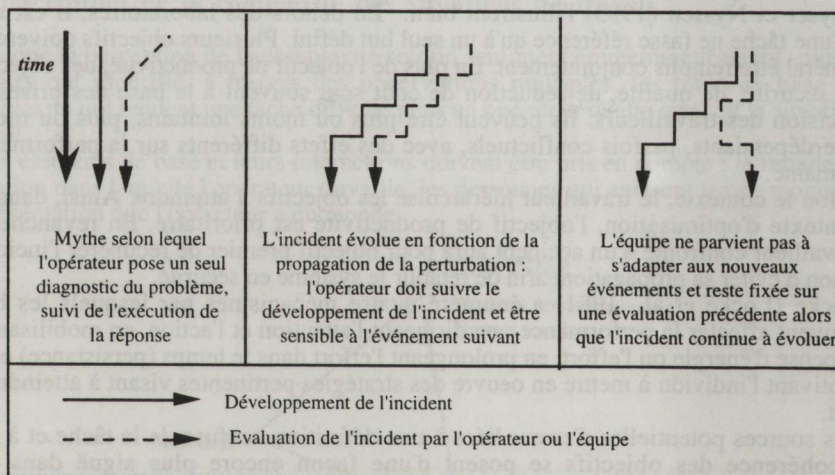


Figure 7. Développement des incidents et erreurs dans le suivi des dynamiques d'après Woods (1988)

3) Action, feedback et délais

Contrairement aux études en laboratoire centrées sur un événement unique, défini dans le temps, les méthodes naturalistes se sont intéressées à l'empan temporel des décisions, des actions et de leurs conséquences.

Les feedback et les délais constituent une caractéristique importante des situations réelles. Par feedback, on désigne l'ensemble des informations rétroactives engendrées par les diverses conséquences de l'activité. On distingue (Van Daele, 1993) également deux types de délais : les délais liés au processus lui-même (la nature physique du processus peut faire qu'une action n'ait pas d'effet immédiat) et les délais liés à la transmission des informations (lorsque un opérateur n'agit pas directement sur le processus mais via, par exemple, un coéquipier). Les délais peuvent être constants ou variables.

L'étroitesse du couplage entre l'action, l'effet et le feedback a été utilisée par Perrow (1984) pour décrire la complexité d'une tâche. En cas de couplage large, l'attribution de l'effet à la cause est plus difficile. Comme l'a souligné De Keyser (1991; 1995), dans bien des tâches industrielles, le problème primordial pour l'opérateur est devenu le "When to act" : agir ni trop tôt, ni trop tard. Ne pas agir trop tôt se justifie dans différents cas : certaines perturbations peuvent disparaître spontanément; d'autres peuvent évoluer par palier, et si l'opérateur réagit dès les premiers effets, il peut aggraver la situation. L'opérateur ne doit pas non plus agir trop tard car une perturbation évolue constamment et peut devenir brutalement irrécupérable. On examinera plus en détail les difficultés des sujets à prédire l'évolution exponentielle de certains phénomènes quand on abordera les recherches de Dörner (1987) sur simulateur (cfr. chapitre. 2).

4) Les contraintes temporelles

Dans un environnement de travail, une grande partie des prises de décision se font sous des contraintes de temps importantes. Le plus souvent, c'est l'organisation du travail qui les définit mais elles peuvent aussi avoir leur origine dans la nature même de la technique associée au processus. Beaucoup de travaux ont montré leurs implications sur la fiabilité: elles constituent d'abord un facteur de stress personnel pour le travailleur et l'astreinte qui en résulte peut modifier le niveau de vigilance et l'activité. Payne et al. (1988) ont démontré que l'opérateur pressé se tourne de façon caractéristique vers des raisonnements moins compliqués; les stratégies qui impliquent une évaluation des différentes options possibles ne sont tout simplement pas applicables dans un contexte de prise de décision et d'action qui s'exprime en terme de minutes et de secondes. D'autres stratégies comme les heuristiques semblent plus appropriées en permettant la mise en oeuvre rapide d'une réponse souvent efficace dans des conditions de travail routinières.

5) La multidétermination

Les analyses détaillées des grandes catastrophes (Pew et al., 1982; Amalberti, 1993; Perrow, op. cit.) ont évoqué fréquemment des erreurs relatives à l'effet combiné d'un grand nombre de variables en interaction.

Dans les situations industrielles modernes, le nombre de variables liées, dépendant l'une de l'autre, peut être très élevé. Récemment, Patel et al. (1989a) ont souligné cette complexité dans le domaine médical où de nombreux sous-systèmes sont interreliés.

La complexité liée à cette multidétermination, qui renvoie à la notion de complexité structurale, est fonction du nombre, de la diversité et des relations des éléments à prendre en compte dans une tâche.

Le couplage entre les éléments risque de donner lieu à des erreurs notamment en cas de couplage inconnu, invisible ou extensif. Reprenons de Leplat (op.cit.) un exemple simple. Les variables Z et Y sont liées et un opérateur doit contrôler la variable de

sortie Z qu'il peut corriger en agissant sur l'installation. Si l'opérateur ne connaît pas la nature du couplage entre Z et Y ou s'il ne reçoit pas d'information sur la variable Y, il aura du mal à discerner l'effet de sa propre action sur Z. En revanche, la connaissance du couplage et une information sur Y lui donnent les moyens de vérifier certaines hypothèses afin d'ajuster ses actions plus précisément.

Dans un environnement multidéterminé, une erreur peut avoir des effets sur plusieurs parties de l'installation, tout comme des erreurs indépendantes peuvent agir sur une même partie. Des chaînes incidentelles résultant de fautes indépendantes peuvent donc coexister et interagir entre elles. Pour récupérer la situation, il est important que l'opérateur se demande si les dégradations observées sont indépendantes, proviennent d'une chaîne incidentelle unique ou de chaînes liées entre elles.

La représentation qu'a l'opérateur des relations entre les éléments est donc un facteur crucial de la fiabilité dans un système interactif. Dörner (1987) a signalé la faiblesse de la performance humaine à cet égard. Il a montré que, face à une série d'événements interdépendants, les opérateurs ont une tendance marquée à les traiter un à un sans tenir compte ni de leur relations potentielles ni des effets secondaires de ses propres actions sur le reste du système.

6) Les risques

Sans aucun doute, les sujets ne s'investissent pas de la même façon, au même degré, dans une tâche expérimentale et en situation réelle. Les risques associés à une tâche expérimentale sont nuls ou du moins sans signification réelle pour les participants.

Notre intérêt porte sur des situations de travail où l'idée du risque inhérent à l'activité interfère sur la performance humaine. Les méthodes naturalistes insèrent la problématique du risque dans son contexte comme un phénomène de société. L'idée du risque réunit celle de danger et celle du hasard. Il n'est pas d'action qui ne s'expose à des risques et qui, de ce fait, ne puisse échouer ou dévier. L'évaluation du risque précède, consciemment ou non, la décision d'agir ou de s'abstenir. Jusqu'à un certain degré d'improbabilité, la raison commande d'accepter le risque, degré qu'abaisse la gravité du danger et qu'élève, au contraire, l'importance du but visé par l'action; au-delà de ce degré s'impose le refus du risque. Mais la raison n'est pas toujours ce qui guide le comportement. Comme nous l'avons souligné, notre société refuse le risque bien davantage que ne l'exige la raison. Elle incite tout d'abord à refuser de supporter le risque après qu'il se soit réalisé, ensuite à transférer sa charge à autrui, spécialement à celui qui l'a créé, et enfin elle suscite en réaction chez celui qui, par état ou par profession, est appelé à créer le risque, le refus précisément de le créer. Refus de supporter, refus de créer le risque, tels sont les deux aspects de ce phénomène de société.

7) Travail collectif

L'évolution et la complexité des techniques, avec le renforcement des spécialités, ont contribué à rendre le travail collectif indispensable, particulièrement dans des secteurs à haut risque tels que l'aviation, l'industrie chimique ou encore la médecine où il est devenu impossible pour un médecin d'avoir toutes les informations, les habiletés, les compétences nécessaires pour répondre aux demandes d'un patient.

La montée du collectif exige une coordination à la fois spatiale et temporelle des activités distribuées sur le terrain qui peuvent être à la source de difficultés propres à réduire la fiabilité. Déjà Faverge (1970) avait mis l'accent sur les situations de coactivité comme l'un des points noirs de la fiabilité. Les catastrophes de Three Mile Island, de Challenger ou celle du stade du Heysel en sont malheureusement des témoignages plus récents. Elles mettent toutes en scène des problèmes de coordination et de coopération entre des personnes réalisant en commun une activité. La prise en compte de la dimension collective dans l'activité des opérateurs apparaît comme un élément déterminant dans l'étude de la fiabilité humaine.

8) Conditions organisationnelles

Comme la discussion jusqu'ici l'a suggéré, l'activité de l'opérateur prend place dans le cadre d'une organisation qui lui impose un certain nombre de conditions de travail (réglementaires en particulier). Certaines de ces conditions influencent l'activité; le milieu social constitue un aspect de ces conditions organisationnelles. L'effet du milieu se traduit parfois par une pression sociale et par l'élaboration de normes de groupe qui peuvent réduire la fiabilité humaine. Les travaux de Janis (1989) sur l'influence des groupes dans la genèse des erreurs l'ont bien montré. Ils ont lancé la notion de "syndrome de pensée de groupe" (groupthink syndrome) pour décrire la détérioration des processus d'évaluation de la réalité, de jugement, de planification que la volonté de préserver l'harmonie du groupe peut introduire dans les groupes relativement petits, d'une grande cohésion et souvent d'élite.

L'approche naturaliste se justifie pour deux raisons dans l'étude du rôle des conditions organisationnelles sur la fiabilité. D'une part parce que les objectifs, les normes ou toutes autres conditions imposées par l'organisation ne correspondent pas nécessairement aux préférences personnelles de l'opérateur et, d'autre part parce l'organisation répond souvent au problème de l'erreur humaine par l'implantation de standards de sécurité, de "doctrines", de guides divers qui sont difficiles à incorporer dans des environnements artificiels (Hackman, 1986).

2. L'importance de l'expertise

En plus de l'observation des caractéristiques des situations de travail, il est important de comprendre comment les individus utilisent leurs connaissances et leurs expériences dans une situation de travail pour répondre à la complexité. Les enjeux ne se limitent pas au besoin de réduire les erreurs humaines. Une meilleure connaissance des rapports entre l'expertise et la performance pourra orienter des actions de formation et les ajuster aux exigences des situations de travail modernes.

Le concept d'expertise

Comme l'ont indiqué de nombreux auteurs (Montmollin, 1986; Leplat, 1991; Amalberti, 1991), le concept d'expertise a beaucoup de voisins : habileté, compétence, savoir-faire, capacité. Ces termes sont potentiellement équivalents. Le concept d'habileté (skill, en anglais) a surtout été utilisé par les anglo-saxons et réservé au domaine sensori-moteur bien que son emploi se soit étendu ces dernières années avec l'étude des habiletés cognitives (Anderson, 1982). De Montmollin et Leplat préfèrent parler de compétence ou de savoir-faire.

L'emploi du terme d'expertise s'est développé dans le domaine des sciences cognitives avec le développement des systèmes experts. Dans ce domaine, l'expertise est définie comme une sorte de connaissance opérative, la connaissance nécessaire à communiquer à une machine pour qu'elle produise le même résultat qu'un sujet humain. Il est clair que c'est une définition beaucoup trop étroite pour rendre compte de l'expertise humaine. Il paraît impossible de transmettre à une machine l'expertise d'un pianiste virtuose, d'une danseuse étoile ou d'un ouvrier expérimenté. Le simple descriptif de connaissance, aussi sophistiqué soit-il, ne recouvre pas la notion de l'expertise.

Dans la littérature psychologique, on s'accorde à définir l'expertise par quelques traits caractéristiques :

- 1) L'expertise est finalisée. Elle caractérise la mise en oeuvre de savoirs et de savoir-faire en vue de la réalisation d'une tâche ou d'une classe de tâches. On est expert en quelque chose ou dans un domaine particulier. Voss et al. (1983) ont montré que des experts en chimie ou en science sociale manquaient de connaissances et de stratégies spécifiques pour analyser un problème de science politique. Mais d'autres travaux ont

indiqué que des connaissances pouvaient être transférées avec succès pour résoudre des problèmes non familiers. Dorner et Scholkopf (1991) ont ainsi montré que des travailleurs expérimentés résolvaient mieux que des étudiants un problème inconnu impliquant le management d'un environnement complexe. D'où l'idée de la possibilité d'une expertise plus générale, indépendante du domaine, que Groen et Patel (1988) argumentent en faisant appel à une distinction classique dans le cadre conceptuel de la résolution de problèmes entre les méthodes dites *faibles* et celles dites *fortes*.

Les premières consistent en une prise en charge du raisonnement par heuristique. Ce type de stratégie est nécessaire quand les connaissances de base sont inadéquates et qu'il convient de guider la prise d'information, en particulier dans des situations-problèmes mal définies. Les méthodes "fortes" sont plus apparentées à la prise de décision qu'à la recherche d'information. Il s'agit de méthodes davantage dirigées par les connaissances spécifiques sur le problème. Il est important de souligner que les méthodes faibles ne sont pas nécessairement naïves ou peu sophistiquées; la méthode scientifique est, par exemple, heuristique en général. Il s'agit en fait d'une stratégie puissante, en mesure peut-être de définir ce qui est à la base de l'expertise inter-domaines observée par Patel et Groen (1991).

- 2) L'expertise est apprise. On ne naît pas expert, on le devient. Cette conception s'oppose à l'idée ancienne, associée aux travaux de Galton (1869) selon laquelle sans le talent ou une capacité individuelle innée, l'instruction et la pratique ne sont pas suffisantes pour conduire à la formation d'une expertise. Dans leur étude sur l'expertise des joueurs d'échec, Chase et Simon (1973) insistent beaucoup sur la dépendance du concept d'expertise avec celui de la pratique. Ils ont ainsi trouvé qu'un joueur d'échec a besoin d'environ 10 années d'entraînement intensif pour arriver à un niveau de jeu international. Cette conception a conduit certains auteurs (Leplat & Pailhous, 1981) à comparer l'expert davantage à un technicien qu'à un scientifique : le technicien a en général peu de formation théorique, il se caractérise surtout par des connaissances pratiques acquises petit à petit avec l'entraînement et qui se traduisent par une transformation de la performance.

Typiquement, la performance experte diffère de la performance novice par une plus grande vitesse et une plus grande précision. D'autres variations sont également attribuées à l'acquisition d'une expertise : la réduction du coût cognitif pour un même niveau d'efficacité, l'accroissement de la stabilité dans la performance et de la disponibilité des connaissances (Leplat, 1988a). Chi et al. (1982) ont montré que les experts en physique n'avaient pas seulement plus de connaissances que les novices mais les organisaient mieux. Les experts se représentaient les problèmes sous la forme de principes théoriques pertinents tandis que les novices se basaient sur des éléments de surface.

Ces résultats ont été mis en évidence en comparant les activités des sujets débutants et experts dans différents domaines (jeux d'échec, médecine, problèmes physiques, politiques). Il en résulte parfois des affirmations du genre "l'expert fait moins d'erreur que le novice; l'expert est plus rapide que le débutant, etc." dont plusieurs auteurs ont souligné le caractère naïf et parfois boiteux.

Dans un article récent, Holyoak (1991) a présenté des contre-exemples et des exceptions tirés d'études spécifiques pour chacune de ces idées. C'est ainsi que, contrairement à l'idée préconçue que l'expertise s'accompagne d'une diminution des erreurs, Prumper et al. (1992) ont montré que les programmeurs experts commettaient plus d'erreurs que les novices (à l'exception des erreurs dues à un manque de connaissance) mais qu'ils prenaient, en revanche, moins de temps pour les récupérer. De même, Groen et Patel (1988) ont remis en question les résultats classiques des travaux de Chase et Simon (1973) associant la mémoire à l'expertise. Ces auteurs ont présenté à des médecins de niveaux de formation différents une description écrite de cas cliniques puis leur ont demandé de restituer les informations présentées. Dans ces conditions, les sujets novices ont fourni une description plus détaillée des cas présentés que les sujets experts. Mais la restitution des données faite

par ces derniers était davantage dirigée par l'activité de diagnostic et leurs récits centrés autour des informations pertinentes, reflétant une activité d'inférence. Cette différence de résultats viendrait, selon certains, de l'utilisation par Chase et Simon de tâches expérimentales construites en vue de contraster la performance experts/novices et devant pouvoir être résolues par des sujets novices. Invariablement, ces tâches présentent peu de difficulté pour l'expert et il n'est pas surprenant que leur activité de diagnostic s'appuie sur l'évocation en mémoire de schémas.

- 3) L'expertise peut être adaptative. Dès lors qu'il s'agit d'un apprentissage finalisé, de nombreux auteurs s'accordent à reconnaître qu'il existe plusieurs variétés d'expertises. Hatano et Inagaki (1986) ont suggéré de distinguer deux classes d'expertises : l'expertise routinière et l'expertise adaptative.

L'expert "routinier" est capable de résoudre des problèmes familiers avec plus de rapidité et de précision que le débutant, mais il ne présente qu'une habileté modeste à gérer une situation nouvelle.

Au contraire, l'expert "adaptatif" sait mettre en jeu de façon originale ses connaissances pour répondre aux contraintes spécifiques d'une situation non familière.

Ces auteurs pensent que l'élément clé de l'expertise adaptative réside dans la compréhension conceptuelle profonde de l'espace de la tâche. Ils soulignent l'importance de la tâche qui finalise l'activité de compréhension : une tâche variable, avec des degrés d'imprévisibilité, qui peut être explorée librement sans pression temporelle faciliterait l'acquisition d'une telle compréhension. D'autres facteurs joueraient, comme la motivation, la présence de feedback et l'existence de support social encourageant un tel processus d'acquisition.

L'intérêt de cette distinction est de définir l'expertise selon la nature de l'acquisition réalisée et les mécanismes en jeu dans l'apprentissage. On ne s'étonnera pas alors de sa forme dichotomique, compatible avec les recherches propres à rendre compte des étapes du progrès dans la performance comme la théorie ACT d'Anderson (1987) et le modèle de traitement de l'information de Newell et Simon (1972), basés tout deux sur des distinctions dualistes consacrées en psychologie : la distinction entre connaissances déclaratives et procédurales, et la distinction entre processus contrôlés et automatiques.

Connaissances déclaratives et connaissances procédurales

Les travaux d'Anderson (1983, 1987) sont actuellement les seuls à avoir proposé une théorie générale de l'acquisition des habiletés. Ils font appel à la dichotomie entre connaissances déclaratives et connaissances procédurales, qui a souvent été assimilée à la distinction entre savoir et savoir-faire.

Cette distinction traduit l'idée familière d'un hiatus possible de la connaissance à l'action ou encore l'idée que certaines connaissances concernent plus la conceptualisation et d'autres plus l'action (Georges, 1988).

Faute d'avoir un accès direct au mode de représentation des connaissances, elle se fonde sur leur mode de manifestation : les connaissances déclaratives sont celles qui s'expriment dans un langage et les connaissances procédurales dans l'activité finalisée. Les premières sont analysables en concepts et en relations, et les secondes le sont en règles d'action définissant une ou plusieurs opérations à réaliser, compte tenu de la situation ou du but poursuivi.

La théorie d'Anderson considère que les connaissances sont généralement d'abord stockées sous une forme déclarative à cause de l'importance de la transmission du savoir sous une forme verbale. Elles seraient ensuite converties en connaissances procédurales selon les étapes suivantes :

- une première phase d'interprétation dans laquelle l'individu fait appel à des méthodes très générales de résolution de problèmes (méthodes faibles), pour sélectionner, parmi

les connaissances déclaratives disponibles sur un domaine, celles qui permettront de choisir les actions à réaliser,

- une phase de compilation qui consiste à transformer la solution précaire élaborée précédemment en une véritable expertise grâce à deux sous-mécanismes : la procéduralisation et la composition. La procéduralisation spécifie des règles générales à un domaine et à un but particulier, ce qui a pour conséquence de réduire la charge de la mémoire de travail; l'information à long terme n'ayant plus besoin d'être gardée dans la mémoire de travail. La composition fusionne des règles qui ont été activées de façon répétée dans le même ordre de succession.

L'exécution d'une habileté déjà bien maîtrisée (expertise "routinière") ne ferait pas intervenir habituellement les connaissances déclaratives, alors que l'élaboration d'une procédure nouvelle (expertise "adaptative") exigerait des processus d'analyse et de conceptualisation des connaissances déclaratives.

Patel et Groen (1991) ont cherché à analyser les différents stades de développement de l'expertise dans le domaine de la médecine. Ils ont comparé les performances de médecins de degrés de formation variés : les novices ou débutants, les intermédiaires, les sous-experts, possédant une connaissance générale mais non spécialisée, et les experts ou spécialistes dans un domaine. A l'issue de leurs recherches, ces chercheurs proposent de concevoir l'expertise comme un processus comprenant trois grands stades de développement :

- le premier stade implique le développement de représentations de structures de connaissances adéquates,
- le deuxième stade est caractérisé par le développement de connaissances sur la façon de discerner les informations pertinentes et non pertinentes d'un problème,
- le troisième stade implique l'apprentissage de la manière d'utiliser efficacement les représentations pertinentes.

Ce type d'étude procure un cadre nouveau d'analyse de l'erreur humaine qui tente de préciser à la fois les conditions et les processus d'acquisition pour différents types de connaissance.

Processus automatiques et processus contrôlés

Un autre courant de recherche susceptible d'apporter un cadre d'interprétation est celui développé autour de la distinction déjà mentionnée entre les processus automatiques et les processus contrôlés (Schneider & Shiffrin, 1977).

Dans cette perspective théorique, on peut expliquer la rapidité et la précision qui caractérisent la performance d'un expert "routinier" par le mécanisme d'automatisation des processus qui intervient progressivement au cours de l'apprentissage de tâches longuement pratiquées de manière constante. Ces marques, qui ne sont pas exhaustives, de la performance experte obtenue par la pratique constituent en général des qualités recherchées dans les contextes industriels. Cependant, elles ont aussi un envers qui peut entraîner des effets pervers comme une certaine rigidité du mode d'exécution, le déclenchement prématuré de l'action sur des indices sommaires ou encore un suivi inapproprié lié à une capture attentionnelle.

Ces effets négatifs sont à l'origine du type d'erreur désigné par Norman (1981) et par Reason et Micielska (1982) sous le nom de *raté*. Dans des contextes de travail routinier, comme la programmation, ils peuvent conduire au résultat paradoxal précédemment cité, à savoir que les sujets experts commettent plus d'erreurs que les débutants.

Dans un article récent, Ericsson et Lehman (1996) mettent en cause l'idée préconçue que la performance experte ne s'appuie que sur des processus automatiques ou automatisés. Ils font remarquer que la plupart des compétences qui caractérisent l'expert continuent à être médiatisées par des processus mentaux de haut niveau impliquant des raisonnements complexes de planification et d'anticipation. Même dans des tâches de routine telle que la programmation, plusieurs travaux ont révélé des traces d'anticipation dans la performance

experte. Gentner (1988) a ainsi montré que les secrétaires expérimentées dirigeaient leur regard en avant du texte qu'elles tapaient. Lorsqu'on empêchait cette stratégie, la vitesse de frappe des secrétaires expérimentées diminuait pour se réduire presque à celle des débutantes.

De même, les expériences de Dörner et Schölkopf (1991) réalisées sur simulateur montrent que les experts passent plus de temps que les novices à évaluer la situation problème et à planifier leurs activités en début de session. Ils sont capables de faire "the right thing in the right time" et savent mieux ajuster leur comportement aux demandes de la situation et du système.

Il est intéressant d'analyser ces résultats à travers le concept de *métacognition* qui désigne, en psychologie, la connaissance que le sujet a de ses propres connaissances et le contrôle qu'il exerce sur son propre système cognitif. La régulation et l'ajustement de l'activité supposent, en effet, que l'individu puisse, d'une manière ou d'une autre, avoir conscience de ses propres processus cognitifs.

Valot et son équipe (1993) ont montré à partir d'une analyse d'activités de pilotes de combat que l'expertise se traduit par une meilleure connaissance de ses propres compétences : "en particulier, ils connaissent mieux leurs ressources cognitives et physiologiques (stress, résistance aux accélérations) dans les conditions mêmes de l'exécution de la mission" (p. 288).

La notion de ressources est ici envisagée comme la résultante dynamique de l'ajustement entre : un ensemble de mécanismes cognitifs (mémoire, attention, représentations mentales, etc.), les effets des contraintes de l'environnement, et les effets de l'apprentissage.

La gestion des ressources consiste à définir des stratégies d'action compatibles avec les ressources disponibles, compte tenu du contexte donné pour atteindre le but souhaité ou le but le plus proche accessible. Ainsi, dans le cas des pilotes de combat, cette gestion prend plusieurs modes :

- l'économie des activités, qui consiste à construire les stratégies de vol en fonction des ressources cognitives pour limiter les inadéquations entre les ressources disponibles, les effets des contraintes et les buts visés;
- la distribution des activités qui est réalisée tout à la fois lors de la planification de l'activité (répartition des activités au long de la mission) et lors de son exécution (interruption, attente, report d'activité);
- différentes formes de réalisation des stratégies : chaque procédure peut être exécutée de différentes manières qui traduisent différents compromis entre le coût cognitif, la rapidité d'exécution et les risques encourus à employer telle ou telle stratégie. Les pilotes experts ont une meilleure idée des marges qu'ils sont en mesure de traiter dans l'exécution de leur mission. Que ce soit pour la précision maximale qu'ils savent être en mesure d'atteindre ou, à l'inverse, pour les écarts maximaux qu'ils peuvent s'accorder tout en étant capables de les résorber.

Ce type d'étude sur les métaconnaissances apporte des éléments sur la compréhension des mécanismes d'élaboration et d'évolution des compétences que nous pouvons exploiter pour l'analyse des différences d'activités des opérateurs sous l'angle de l'adaptation des ressources aux exigences immédiates de la tâche.

Comme c'est souvent le cas en psychologie, les diverses distinctions dichotomiques présentées recouvrent en réalité des degrés intermédiaires. Schifffrin et Schneider (op. cit.) avaient déjà insisté sur l'idée que "finalement toutes les tâches sont exécutées par des mélanges complexes de traitements contrôlés et automatiques, utilisés en combinaison" (p. 269). De même, certains auteurs considèrent que toute connaissance comporte des attributs déclaratifs et procéduraux en nombre et en proportion variables.

Plutôt que de répondre par deux classes d'expertises en transférant aux apprentissages la forme dichotomique des études précédentes, une autre position serait d'envisager un gradient par rapport au pôle automatique des processus mentaux et au pôle d'opérationnalité de la connaissance. Dans ce genre de travail, Rasmussen (1986, 1987) a proposé un schéma d'analyse insistant sur l'identification du niveau de contrôle mis en oeuvre dans l'exercice d'une habileté.

La hiérarchie des niveaux de contrôle

La notion de contrôle est ici prise au sens large et concerne également le niveau de régulation des automatismes. Rasmussen (1993b) distingue trois niveaux de contrôle :

- le contrôle par des connaissances conceptuelles (Knowledge-Based, KB) : ce type de contrôle est essentiellement adopté dans des situations non familières où les procédures disponibles pour réaliser la tâche s'avèrent inadéquates. Le guidage de l'action nécessite une interprétation de la situation qui est particulièrement coûteuse du point de vue cognitif, à la fois en termes de stockage des représentations et en termes de traitement;
- le contrôle par des règles (Rule-Based, RB) : les représentations servant au contrôle de l'action sont plus opérationnelles, en ce sens qu'elles déclenchent assez directement des actions concrètes, par l'intermédiaire de règles. Ce type de contrôle est moins onéreux puisqu'il n'exige que le stockage de représentations qui déclenchent l'exécution des règles;
- le contrôle par des automatismes (Skill-Based, SB) : chaque action d'un automatisme qui peut être tout aussi bien sensori-moteur que purement cognitif est déclenchée soit à partir d'une configuration perceptive qui est traitée comme un signal, soit à partir de la fin d'exécution de l'action précédente ou de la coordination avec une autre action exécutée en parallèle.

L'identification du niveau de contrôle d'un individu conduit à des difficultés dans la mesure où la régulation d'une tâche tant soit peu complexe peut être répartie entre les différents niveaux de contrôle. En outre, Leplat (1988a) a montré, en outre, que l'expertise professionnelle conduit à assurer une redondance au contrôle de sorte que les défaillances des automatismes puissent être efficacement détectées et corrigées, voire même anticipées par des mécanismes de type métacognitif.

Malgré ces difficultés, l'utilité d'un tel schéma d'analyse a été maintes fois mise en évidence dans les recherches sur l'erreur humaine en situation naturelle. Reason (1988) a utilisé cette conception hiérarchique pour distinguer trois types d'erreurs de base :

- les fautes fondées sur des connaissances conceptuelles (KB) : ces erreurs proviennent de deux sources principales : la rationalité limitée et l'élaboration d'un modèle mental incomplet ou inadapté de l'espace problème. Le concept de rationalité limitée signifie qu'une partie seulement des possibilités ou de la situation sera prise en compte (Simon, 1975). Cette limitation est attribuable à la difficulté de maintenir dans le champ de l'attention et de traiter au même moment plus qu'une certaine quantité d'information. Reason (1993) juge utile de distinguer aussi la rationalité réticente liée à ce que Bruner et al. (1956) ont appelé l'astreinte cognitive et dont ils ont montré que les sujets cherchaient à la minimiser;
- les fautes fondées sur des règles (RB) : les erreurs peuvent provenir d'une mauvaise application de bonnes règles ou de l'application de mauvaises règles. Dans ce contexte, une "bonne règle" est une règle qui s'est révélée utile dans une situation particulière.
Deux cas sont particulièrement illustratifs de ce type d'erreurs : l'application d'une règle générale à une exception et l'application d'une règle fréquente à une situation

rare, où elle n'est pas valide. En ce qui concerne les mauvaises règles, la situation peut avoir été mal encodée, ou la procédure peut ne pas être optimale.

- les erreurs fondées sur des automatismes (SB) : elles s'appuient sur un certain nombre de propriétés des automatismes, dont le niveau de contrôle ne présente pas d'exigence attentionnelle. On peut les regrouper sous deux rubriques : l'inattention (quand on omet de réaliser un suivi attentionnel à un moment critique, en particulier quand l'intention en cours s'écarte d'une pratique commune), et l'attention excessive (quand on réalise une vérification attentionnelle à un moment inapproprié de l'exécution d'une séquence routinière).

§ 3. RECHERCHES SUR SIMULATEUR

Depuis des siècles, l'homme a utilisé des "simulateurs" à des fins d'apprentissage. Jadis, les Romains utilisaient la quintaine, sorte de mannequin de bois monté sur un axe pour s'entraîner au combat. Lorsque le soldat le frappait maladroitement, la quintaine pivotait et assénait un coup dans le dos de l'assaillant malhabile. Ce montage apprenait aux guerriers à éviter de commettre des erreurs lors des combats réels.

Les premières simulations dans le domaine de l'aviation datent de l'année 1929. Edward Link breveta le premier "trainer" pour enseigner aux élèves-pilotes l'utilisation des commandes d'un avion conventionnel. Plus tard, Link construisit des "trainers" plus perfectionnés pour l'entraînement des pilotes au vol aux instruments, au cours de la guerre 1940-1945. Grâce aux développements de l'électronique et de l'informatique, les simulateurs actuels sont devenus la réplique exacte du cockpit de l'avion. Ils reproduisent non seulement l'intérieur de l'avion mais aussi le plus fidèlement possible l'environnement extérieur au moyen de caméras électroniques.

L'aviation civile ou militaire n'est pas la seule bénéficiaire de cette technologie. Les domaines de la marine, de l'armée, de la conquête de l'espace, de l'énergie nucléaire ou encore les domaines de la chirurgie et de l'anesthésie ont également développé des simulateurs.

L'invention du premier simulateur d'anesthésie remonte à 1969. Ce n'est qu'en 1988 que des simulateurs d'anesthésie "haute fidélité", très réalistes, sont apparus, dont celui de l'Université de Standford, présenté au chapitre 7.

En général, on fait appel aux simulateurs dans des secteurs à haut risque où il n'est pas possible de recourir à l'entraînement direct par exécution de la tâche. Cette impossibilité peut tenir à des raisons déontologiques (la sécurité et la sûreté), économiques (le coût matériel et le coût des erreurs) ou techniques (la très faible fréquence de certains incidents).

D'abord conçu dans un objectif de formation, les simulateurs sont aujourd'hui utilisés dans d'autres perspectives. Singleton (1989) en a relevé huit :

1. Formation au contrôle de processus dynamique
2. Formation à l'habileté diagnostique
3. Formation à la coopération
4. Évaluation ergonomique
5. Testing des procédures
6. Analyse d'activité
7. Étude de la fiabilité et de l'erreur humaine
8. Évaluation et testing des opérateurs

Depuis une dizaine d'années, certains chercheurs ont eu l'idée d'utiliser la simulation comme outil de recherche plus fondamentale. Dans le champ de la psychologie du travail, les travaux de Brehmer sur le contrôle de processus et ceux de Dörner sur la régulation temporelle de l'activité sont exemplaires de cette approche. Tous deux ont vu, dans la simulation informatique ou "microworlds" (Brehmer & Dörner, 1993), la possibilité

d'élargir les mises en situation de résolution de problèmes. La simulation offre, en effet, la possibilité de créer, sous contrôle et de façon reproductible, des scénarios interactifs, dynamiques et complexes de prise de décision qui manquaient jusqu'alors dans les recherches expérimentales.

Dans cette perspective, les "microworlds" sont construits pour refléter certaines caractéristiques du monde du travail. Ils sont :

- 1) complexes : ils exigent de prendre en considération plusieurs variables interdépendantes;
- 2) opaques : l'observabilité des variables et des transformations est faible;
- 3) dynamique : l'état du processus est influencé à la fois par les actions des sujets et, spontanément, par des facteurs indépendants, liés à la nature du processus.

Dans une des simulations créées par Dörner (1987), les sujets, par exemple, avaient à gérer une petite ville d'Europe centrale en tant que maire. Ils pouvaient manipuler plusieurs variables : la production et la politique de vente de l'usine de la ville, les taux d'impôts, les emplois d'enseignement, etc. L'objectif principal était d'une part d'identifier les caractéristiques du système favorisant une médiocre performance et d'autre part, de décrire les pathologies dont faisaient preuve les sujets. Les résultats obtenus sont riches. Trois caractéristiques de la tâche se sont révélées comme favorisant une mauvaise performance (Brehmer, 1993) : l'évolution exponentielle du processus, les délais de rétroaction et les effets de bords. Dörner a relevé cinq pathologies dans les prises de décision des sujets :

- 1) le *vagabondage thématique* qui renvoie à la tendance de passer d'un but à un autre et de contrôler une variable à la fois, chacune n'étant traitée que superficiellement,
- 2) l'*enkystement* qui reflète la tendance inverse : le sujet s'attarde sur une petite partie de la tâche, une variable qui doit être contrôlée mais pour laquelle il connaît aussi la solution,
- 3) la tendance à ne pas vouloir prendre de décision,
- 4) la tendance à *déléguer des responsabilités qui ne peuvent l'être*,
- 5) la tendance à *blâmer les autres*.

Des microworlds aux puissants simulateurs utilisés pour la formation des activités à risque, le terme "simulateur" couvre une variété de dispositifs physiques plus ou moins proches du monde réel.

Il faut distinguer les simulateurs très réalistes où le sujet agit en situation (the realistic or the hand-on simulator) des logiciels de simulation ou "screen only simulator" qui mettent en scène une situation en vue de sa conceptualisation ou à des fins d'analyse, voire de prédiction du comportement. Avec le développement des nouvelles technologies et des multimédia, on voit apparaître une troisième génération de simulateur : les simulateurs virtuels, un univers qui a toutes les apparences du réel mais qui ne correspond pas nécessairement aux contraintes du monde réel.

D'un point de vue psychologique, ces simulateurs peuvent être analysés selon une double dimension (Leplat, 1989) : la dimension haute vs faible fidélité et la dimension statique vs dynamique.

La dimension haute vs faible fidélité

Si l'on retient cette dimension, on peut voir que les simulateurs peuvent être analysés selon deux points de vue (Pastré, 1995) :

- du point de vue figuratif : en quoi la simulation reflète-t-elle, exactement ou pas, la situation de référence ?

- du point de vue opérationnel : quelle est la situation-cible, quelles sont ses dimensions et comment ont-elles été transposées dans la simulation ? Cette dimension ne coïncide pas nécessairement avec la fidélité physique.

La simulation dans ses moindres détails n'est pas forcément indispensable. Sa nécessité dépend de l'objectif poursuivi. Le besoin de fidélité par le figuratif a davantage été reconnu dans les simulateurs utilisés pour la formation afin de faciliter l'acquisition, le développement des compétences ainsi que la transposition didactique. Néanmoins, des travaux récents ont montré que le simulateur très réaliste peut, si l'on n'y prend pas garde, favoriser la construction de représentations fausses sur le monde réel ou sur la distance entre le monde réel et le simulateur. Ainsi, le "reset" ou la "remise à zéro" utilisé communément sur simulateur pour recommencer une manœuvre ratée peut donner naissance à des gestes inadéquats en situation réelle.

La plupart des simulations qui servent aux expériences de recherche ne reproduisent que partiellement la tâche réelle. En général, les simulations expérimentales visent à tester de façon plus contrôlée l'effet de certaines variables préalablement isolées dans la situation réelle et jugées comme cruciales par le chercheur. L'important est alors que les variables cruciales de la situation de référence soient bien isolées et transcrites dans la simulation. Dans cette perspective, on ne cherche pas à simuler le réel mais à simuler des caractéristiques inscrites dans une situation. On voit tout de suite l'importance d'une solide analyse de travail préalable pour identifier ces variables. Et on pourrait dire avec Pastré (op.cit.) "qu'il semble que la valeur d'une simulation dépende de la pertinence de l'analyse préalable de l'activité qui a été faite. Or, malheureusement, c'est bien souvent cette partie-là qui est court-circuitée".

On trouve, dans la littérature, une troisième perspective d'analyse de la fidélité : la fidélité perceptuelle (Andrew, 1988). Elle concerne la perception, le sentiment qu'éprouve un sujet à l'égard du simulateur, en tant que reproduction d'une situation réelle. Il s'agit d'une perspective d'analyse plus subjective. Mais on peut facilement imaginer son influence sur la qualité de la prestation sur simulateur.

La dimension statique vs dynamique

Avec les progrès de la modélisation, il est possible de concevoir aujourd'hui des simulateurs caractérisés par une extension considérable des capacités d'interactions entre le sujet et le simulateur. Dans ce type de simulations dites dynamiques, les caractéristiques de la tâche peuvent changer sous l'effet des actions du sujet mais également de façon indépendante.

A la différence des simulations statiques où la séance de simulation est organisée a priori et où tout changement éventuel est prévu par le chercheur, les simulations dynamiques créent des situations d'interaction qui permettront au sujet d'agir en situation.

Ceci a deux conséquences. D'une part, le sujet peut modifier sa stratégie en cours de problème, voire modifier sa représentation de la situation en fonction des informations et des résultats partiels qu'il obtient. Les actions ne sauraient alors être réduites à l'émission de réponses à des stimuli reçus, passivement, à des actes moteurs, à des procédures d'exécution, mais sont étendues à l'établissement du diagnostic de la situation. Elles manifestent, dans les faits, les processus par lesquels le sujet explore, interprète, utilise et transforme l'environnement. D'autre part, l'analyste dispose non seulement du résultat final mais de l'ensemble du processus de diagnostic et de résolution de problème. Pour lui, il s'agit alors de rendre compte des dynamiques qui articulent les représentations et les actions du sujet et non pas d'étudier des fonctions mentales séparées les unes des autres et isolées de leur contexte. De nouvelles mesures et de nouvelles techniques d'analyse des données sont nécessaires pour réaliser cet objectif. Parmi elles, l'utilisation de la vidéo qui permet l'enregistrement de la dynamique du processus d'interaction entre le sujet et le scénario simulé et les analyses séquentielles qui permettent de faire ressortir les aspects dynamiques et évolutifs du comportement.

Pour caractériser les différents types de simulation, Thurman et Mattoon (1994) ont proposé une classification en trois dimensions (cfr. Figure 8). On peut rapprocher respectivement les échelles "vérité" et "intégration" des dimensions haute vs faible fidélité et statique vs dynamique présentées ci-dessus. La troisième échelle à laquelle les auteurs se réfèrent est la forme d'interface entre le sujet et le simulateur. D'un côté du continuum, se placent les interfaces artificiels tels que l'on trouve dans les jeux vidéo ou les microworlds : clavier, souris d'ordinateur, etc. De l'autre, le sujet évolue naturellement dans la simulation.

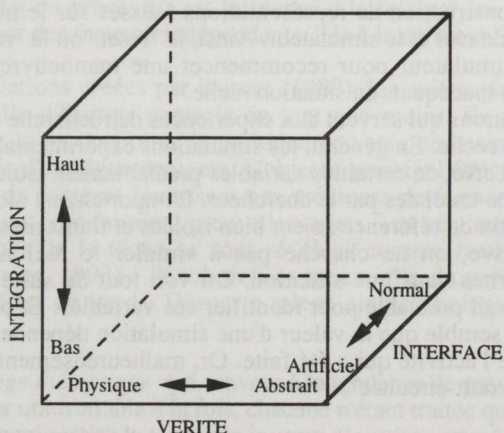


Figure 8. Classification des simulateurs sur trois dimensions d'après Thurman et Mattoon (1994)

Problème de validation

Les études de validation ont d'abord concerné les simulateurs de formation. La méthode la plus fréquente consiste à étudier les transferts de compétence du simulateur à la situation de référence. Il s'agit de comparer et de mesurer la performance sur simulateur avec celle dans la réalité. La validité est mesurée en terme de transfert de performance, "performance validity" selon le cadre conceptuel développé par Holding (1987).

Cet auteur envisage trois autres perspectives d'analyse :

- 1) "the training validity" mesurant l'efficacité du programme à former des individus;
- 2) "the intra organizationnal validity" relative à la capacité de prédiction de la performance d'un nouveau groupe de sujets sur simulateur;
- 3) "the inter organizationnal validity" qui concerne l'efficacité du simulateur à former un autre groupe de l'organisation.

Les études de validité ont surtout été réalisées dans le domaine de l'aviation. Elles ont mis en évidence certains facteurs déterminants pour l'apprentissage : l'importance du feedback, le rôle des représentations, mais surtout le rôle fondamental du formateur dans sa relation d'aide et dans son rôle de metteur en scène des situations en fonction des compétences du sujet. Ces études restent néanmoins rares et très limitées car difficiles à réaliser.

Certains chercheurs ont commencé à s'interroger sur la validité des mesures de performance réalisées sur simulateur (Sanders, 1991). Vreuls et Obermayer (1985) se sont demandé si ces mesures reflétaient la performance réelle des opérateurs ou si elles n'étaient que des mesures virtuelles sans utilité. Gaba (1992a) a relevé deux effets possibles : l'hypervigilance du sujet conscient d'être observé ou, au contraire, le désintéressement dans une situation sans risque réel. En effet, il est difficile de recréer l'environnement psychologique et social de l'opérateur dans une simulation. Le cadre organisationnel, par exemple, dans lequel s'inscrit toute activité de travail, les conflits d'objectifs, la prise de risque, le climat social qui influencent la performance dans la vie courante sont difficiles à introduire. De même, la maîtrise du temps est également

singulièrement différente sur simulateur : le temps est en quelque sorte réversible; on peut "rejouer le coup", remettre à zéro, ce qui n'est pas le cas dans la réalité.

Ces chercheurs dénoncent le faible intérêt des ingénieurs portés au problème d'enregistrement et de mesure des données et insistent sur la complémentarité des approches méthodologiques utilisant la simulation et le terrain pour valider les résultats.

§ 4. CONCLUSIONS

Comme on a pu le constater tout au long de ces deux chapitres, les travaux sur l'erreur humaine font apparaître deux difficultés principales : (a) une difficulté conceptuelle de définition de l'erreur et (b) une difficulté d'ordre empirique d'analyse de l'erreur en situation complexe.

La difficulté conceptuelle provient de la variété des cadres théoriques auxquels fait référence l'étude de l'erreur humaine, qui appelle à une pluridisciplinarité. Cette variété doit être préservée dans les objets de recherche : il s'agit de penser l'erreur humaine comme le résultat de différents facteurs à la fois contextuels, organisationnels, cognitifs et individuels et de concevoir leurs articulations.

La difficulté empirique provient du fait que l'erreur humaine est encore peu étudiée dans les situations complexes mais elles le sont de plus en plus. Sur ce point, le développement des travaux sur simulateur devrait permettre d'avancer. Toutefois, l'approche d'observation en situation naturelle permet d'éviter de s'écarter trop vite de la complexité des situations-cibles et de contrôler la réduction expérimentale.

Traditionnellement, dans la littérature, les méthodes naturelles et expérimentales sont opposées; il y a peu d'ouvrages qui n'évoquent pas cette distinction. Il est vrai, comme l'a fait remarquer Trogon (1989) que la question de la scientificité des sciences humaines s'y joue et s'y négocie. L'idée, pourtant, d'une complémentarité des démarches se fait de plus en plus ressentir comme nécessaire. Déjà Paul Fraisse (1982) écrivait : "En psychologie (...), les découvertes ne se font pas en laboratoire, mais par l'observation fortuite ou systématique".

Pourquoi alors ne pas appliquer un mouvement de balancier : étudier des situations complexes peut orienter les recherches expérimentales vers des directions plus productives; réciproquement, les hypothèses des recherches expérimentales peuvent amener à voir le monde complexe d'une façon nouvelle.

En appliquant un tel mouvement à la recherche sur l'erreur humaine, on favorise la construction réciproque de théories potentiellement plus porteuses d'avenir, du fait de leur aptitude à penser et à rendre compte de la complexité du monde réel.

La méthode à suivre étant ainsi décrite et l'objectif de cette thèse tracé, tout l'effort consistera, dans les chapitres suivants, à tenter l'aventure d'une application à travers l'étude d'un domaine complexe : l'anesthésie.

Chapitre 3

LE DOMAINE DE L'ANESTHÉSIE

Parmi les erreurs étudiées aujourd'hui à cause du risque potentiel qu'elles entraînent, les erreurs d'anesthésie méritent un regard particulier. Elles semblent en effet permettre l'application d'un certain nombre d'acquis théoriques obtenus dans divers champs, en psychologie cognitive pour ce qui est des mécanismes de décision et des biais de performance mis en oeuvre dans la conduite d'une anesthésie, et en psychologie du travail pour ce qui est des recherches sur terrain, de l'étude du contrôle de processus et de l'analyse de la tâche.

Un constat tout d'abord. 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. Il nous paraît important de mieux comprendre comment s'est installée une telle situation avant d'entreprendre notre étude dans ce domaine.

§ 1. ÉVOLUTION DU RISQUE ANESTHÉSIQUE

C'est en 1846 que le mot anesthésie apparaît officiellement dans une lettre d'Olivier Wendell Holmes adressée à Morton à la suite d'une démonstration publique : "à mon avis, cet état devrait être dénommé "anesthésie". Cela signifie insensibilité, plus particulièrement en ce qui concerne le toucher ". La suppression de la sensibilité est obtenue sous éthérisation. La même année, le premier accident est publié : une jeune fille de 15 ans meurt lors d'une induction d'une anesthésie au chloroforme pour l'extraction d'un ongle incarné.

A cette époque, le but de l'anesthésie était global : perte de toute sensibilité, sans aucune discrimination des effets tant sur la douleur que sur la conscience. Pour obtenir un relâchement acceptable dans des interventions lourdes, la narcose était approfondie en augmentant la quantité des gaz inhalés et ce jusqu'à des zones toxiques. Quand des signes d'asphyxie se manifestaient, le praticien enlevait le masque et attendait que le plan de narcose remonte.

Malgré le risque, l'anesthésie inhalatoire s'est répandue rapidement à partir de l'Angleterre et des États-Unis sur le continent. Elle demeurait une activité marginale à la chirurgie. La responsabilité en était assumée par le seul chirurgien qui la dirigeait. Le risque anesthésique et le risque chirurgical se confondaient. Le risque opératoire provenait d'ailleurs essentiellement de la chirurgie, en particulier des infections postopératoires.

Il a fallu attendre le début du XXe siècle pour qu'une évolution fondamentale survienne, bouleversant la pratique anesthésique : l'introduction du contrôle de la fonction respiratoire peranesthésique.

Le besoin de contrôler la respiration se révéla par l'introduction de deux groupes de produits : les barbituriques et les curares. La rapidité d'action des barbituriques intraveineux va permettre de supprimer les longues inductions par les gaz. Mais, en contrepartie, ils rendent nécessaire l'assistance ventilatoire. De même, l'utilisation du curare pour faciliter l'acte chirurgical va séduire les chirurgiens mais la paralysie des muscles respiratoires et l'asphyxie qui s'ensuivent commandent également une suppléance ventilatoire.

A ce changement fondamental, correspond une dissociation du risque thérapeutique en une pluralité de risques dont la causalité peut être mise en évidence grâce au développement d'une médecine à base expérimentale. La thérapeutique anesthésique va prendre progressivement une assise rationnelle. La professionnalisation de l'anesthésie apparaît avant la guerre 40-45 aux États-Unis et après cette guerre en Europe. Des médecins vont se spécialiser, un corps professoral va être créé et un enseignement spécifique dispensé.

Au fur et à mesure de cette évolution, la responsabilité des risques anesthésiques sera de moins en moins assurée par le chirurgien et de plus en plus par le médecin anesthésiste.

Profitant des progrès du savoir médical, l'anesthésiologie va s'équiper d'une connaissance fondamentale de son objet, le malade. Le but de l'anesthésie ne sera plus uniquement d'endormir le patient mais de permettre la chirurgie tout en protégeant le patient. L'anesthésie générale est décrite comme un état clinique réversible associant : perte de conscience, analgésie, protection neurovégétative et relâchement musculaire. Elle tend de plus en plus à utiliser des moyens technologiques sophistiqués pour surveiller les grandes fonctions vitales.

Malgré ce raffinement technologique, le risque anesthésique demeure. Une étude (Vourc'h, 1983) auprès des anesthésistes français réalisée par l'Inserm entre 1978 et 1980 estime la fréquence des accidents à un décès pour 13 000 actes anesthésiques. Le risque est toujours présenté comme inhérent à l'anesthésie mais il est lié au facteur humain plutôt qu'aux limites des connaissances médicales.

Chopra et al. (1992) estime l'erreur humaine responsable à 75 % des accidents d'anesthésie recueillis sur une période de 18 mois. Selon un collège d'experts anesthésistes, 82 % d'entre eux auraient pu être évités. 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.

	%
Formation complémentaire des anesthésistes	25
Amélioration de l'organisation du travail	13
Meilleure supervision, consultation d'un confrère	12
Monitoring plus élaboré	11
Équipement mieux conçu	11
Vérification préalable du matériel	6
Meilleure évaluation préanesthésique	6
Meilleure communication	6
Meilleur schéma de travail	5
Critères de sélection ou de renvoi plus rigoureux	3
Autres	2

Tableau 3. Stratégies potentielles pour la prévention d'erreur d'après Cooper et al. (1984)

En réponse à ces enquêtes épidémiologiques, le département d'anesthésiologie de la Harvard Medical School¹ éditée, en 1986, des standards de sécurité concernant le monitoring minimum nécessaire à la surveillance du patient et la vérification avant usage des appareils d'anesthésie. C'est à la fois un énorme progrès, car les accidents vont diminuer, et un énorme marché pour les concepteurs d'appareils médicaux. L'hypoxie², par exemple, peut très souvent être détectée et traitée en temps utile au moyen d'appareils de monitoring adaptés, à condition d'en disposer. En France, un rapport récent sur la sécurité anesthésique³ indique qu'un tiers des hôpitaux publics ou assimilés ne seraient toujours pas conformes à la réglementation concernant le matériel d'anesthésie obligatoire.

La multiplication des monitoring dans les salles d'opération pousse à la recherche de solutions intégrées, informatisées. Ainsi, des informations sur le patient, initialement isolées, sont regroupées au sein d'un même monitoring, des poussettes-seringues automatiques, contrôlés par ordinateur, font leur apparition; leur intégration ultérieure aux dispositifs de surveillance ne fait pas de doute.

Ceux qui ont suivi de près le mouvement d'informatisation des processus continus, repéreront bien l'évolution de la tâche de l'anesthésiste, vers le "supervisory control" décrit par Sheridan (1987) : désormais l'anesthésiste surveille, détecte et régule les incidents à travers des écrans, et la coopération homme-ordinateur s'est installée.

Mais alors des problèmes comme celui de la fiabilité des supports d'information, de la convivialité de l'interface, de la compétition d'informations provenant simultanément du malade et de l'appareillage apparaissent. Une étude sur la fiabilité des oxymètres de pouls (Kestin et al., 1988) montre que 75 % des alarmes provenant d'une désaturation en oxygène se déclenchent de manière inopportune à la suite des mouvements du patient ou des interférences du bistouri électrique.

Il est clair que ces équipements, en apportant des informations plus précises, facilitent le diagnostic et le contrôle du patient. Mais ils transforment aussi la tâche de l'anesthésiste de façon imprévisible. Comme l'ont fait remarquer Cook et al. (1990), les nouvelles technologies peuvent diminuer la charge de travail physique et rendre certains actes plus faciles, mais cela aux dépens d'un coût mental plus élevé et de tâches supplémentaires à effectuer. Ces auteurs montrent comment, en anesthésie, un système de surveillance intégrant des informations, auparavant dispersées entre plusieurs éléments discrets, augmente la charge de travail, précisément aux moments les plus critiques, et comment l'anesthésiste emploie la flexibilité du nouveau système pour imiter la configuration de l'ancien.

Pour avoir assisté à une évolution analogue dans d'autres secteurs industriels comme la sidérurgie et l'aviation, on connaît bien le risque associé à de tels outils, si ils ne sont pas conçus en parfaite adéquation avec les connaissances et le fonctionnement cognitif de leur

1 Voir : Anesthesia Patient Safety Foundation, Newsletter, Fall 1992

2 Diminution de la concentration d'oxygène dans le sang.

3 Haut comité de la santé publique, Rapport sur la sécurité anesthésique, novembre 1993, voir Sciences et Avenir, Octobre 1997.

utilisateur. Bainbridge (1987) parle à cet égard d'*ironie de l'automatisation*. Au lieu de renforcer la fiabilité des systèmes, l'automatisation la fragilise en augmentant les risques d'erreur plutôt que de les minimiser, en plaçant, en outre, l'utilisateur en première ligne de la chaîne causale.

Une constatation sociologique s'impose également. Les relations entre les médecins et les malades ont évolué. Jadis, il s'agissait d'une relation quasi de "subordination"; les choses ont changé dans la mesure où le malade estime aujourd'hui qu'il a davantage de droits et que si les choses ne vont pas bien, il peut exercer un recours contre son médecin. Si des progrès dans le contrôle du risque sont encore réalisables - et c'est bien ce vers quoi tend notre travail -, l'évacuation totale du risque paraît utopique.

Il faut donc distinguer les risques évitables - ceux que l'on doit chercher à prévenir et à contrôler - et les risques inévitables, car tout n'est pas et ne sera jamais maîtrisable. La distinction n'est pas facile, elle passe par une meilleure connaissance des risques liés à l'anesthésie mais surtout de l'anesthésie elle-même, des buts et des contraintes de la tâche ainsi que des activités cognitives impliquées dans sa mise en oeuvre.

§ 2. LE POINT SUR LES RISQUES EN ANESTHÉSIE

Depuis une vingtaine d'années, les études sur les facteurs de cause des accidents d'anesthésie se sont multipliées (Cooper et al., 1988; Gaba, 1989; Gannon, 1991; Donchin et al., 1995). Il faut faire remarquer que, de toutes les disciplines médicales, l'anesthésiologie est la première qui ait fait l'objet de pareilles enquêtes et qui ait accepté d'y participer. Le thème même de ces enquêtes - facteurs d'accident - et le contexte dans lequel elles sont menées les rendent très laborieuses.

Parmi ces études, la première est sans doute celle de Cooper et al. (1978) aux Etats-Unis qui réunit 359 accidents anesthésiques recueillis au cours d'entretiens suivant la méthode des incidents critiques¹. Ce type d'étude est basée sur la déclaration volontaire des incidents anesthésiques auprès d'une personne spécialisée. Sont considérés comme incident toute déviation, même mineure, d'une pratique ou de conditions de travail sûres. Des études du même genre ont été menées en Europe (Baele et al., 1991; Vourc'h, 1983). Elles portent sur un grand nombre d'incidents enregistrés pendant des périodes de temps variables, souvent très longues (5 à 10 ans).

Toutes font clairement apparaître l'erreur humaine comme la cause première des accidents, à 82 % pour Cooper en 1978, à 72 % pour Baele en 1991, et à 75 % pour Chopra en 1993. Les défaillances techniques sont peu fréquentes (approximativement 14 %). Quelle que soit la source, on retrouve plus ou moins les mêmes causes et circonstances associées à l'incident.

Les tableaux 4 et 5 reprennent les résultats obtenus par Cooper et al. (1978) à l'échelle d'un hôpital universitaire. L'inexpérience, les variations dans l'environnement (salle d'opération et équipe), le manque de communication et la fatigue sont les facteurs les plus cités.

Causes fréquentes des incidents	n
Déconnexion du circuit respiratoire	27
Erreur de mélange des gaz frais	22
Confusion de seringues ou d'ampoules	19
Panne d'alimentation en gaz	15
Déconnexion des voies veineuses	11
Mauvais fonctionnement du laryngoscope	11
Extubation prématurée	10
Mauvaise connexion du système respiratoire	9
Compensation liquidienne non adaptée	9

¹ La méthode des incidents critiques décrite par Flanagan (1954) consiste à recueillir les récits d'incidents critiques auprès de ceux qui en sont les auteurs ou de ceux qui en ont été témoins. Ce recueil se fait le plus rapidement possible après l'incident, au cours d'entretiens.

Facteurs associés cités			
Expérience totale inadéquate	77	Distraction	13
Environnement inhabituel	45	Pauvre étiquetage des drogues, etc.,	12
Manque de communication	27	Supervision	12
Précipitation	26	Manque de familiarité avec l'anesthésie	10
Inattention/négligence	26	Appréhension	8
Fatigue	24	Urgence	6
Dépendance excessive du personnel	24	Difficulté du cas	6
Omission d'une vérification	22	Ennui	5
Inexpérience par rapport au cas	22	Nature de l'activité	5
Manque de supervision	18	Préparation insuffisante	3
Environnement	18	Procédure lente	3
Champ visuel restreint	17	Autre	3
Disposition d'esprit, physique ou autre	16		
Manque de familiarité avec la chirurgie	14	TOTAL	462

Tableaux 4 et 5. Risques en anesthésie d'après Cooper et al. (1978)

De telles études, même si elles apportent des renseignements sur la typologie des accidents d'anesthésie, ne permettent pas d'en évaluer la fréquence.

A notre connaissance, une seule recherche a été réalisée pour répondre valablement à cette question : l'enquête française présidée par le Professeur Vourc'h (1983) et réalisée à partir de 1978 à la demande du Ministère de la Santé par "l'Unité de Recherche sur l'Évaluation de l'État de Santé et des Systèmes de Soins et de Prévention" (INSERM).

Dans cette enquête, un échantillon représentatif des anesthésies effectuées en France a été calculé afin de permettre une estimation valable de la fréquence des accidents. Un nombre minimum de 200 000 anesthésies a été évalué nécessaire compte tenu des 2 600 000 anesthésies effectuées par an en France (sondage au 1/13^e).

Sur les 198 103 anesthésies analysées, 268 accidents liés partiellement ou totalement à l'anesthésie ont été observés. Parmi ces accidents, 67 ont conduit au décès avant la 24e heure postopératoire et 16 à un coma persistant d'origine anoxique dont 9 ont évolué vers la mort dans un bref délai.

	Partiellement liés		Totalement liés		Total
	n	%	n	%	
Accidents	105	39	163	61	268
Décès	52	78	15	22	67
Comas	6	38	10	62	16

Tableau 6. Rôle de l'anesthésie dans les accidents, décès et comas (Vourc'h op. cit.)

Le rôle de l'anesthésie varie selon l'état de gravité du patient. Cet état a été apprécié à partir de l'indice de gravité élaboré par l'Association Américaine des Anesthésistes (classification ASA) et défini de la manière suivante :

1. Patient n'ayant pas d'affection autre que celle nécessitant l'acte chirurgical; pas de perturbation d'une grande fonction.
2. Patient ayant une perturbation modérée d'une grande fonction en relation ou non avec l'affection chirurgicale.
3. Patient ayant une perturbation sévère d'une grande fonction en relation ou non avec l'acte chirurgical.
4. Patient courant un risque vital imminent, du fait de l'atteinte d'une grande fonction.
5. Patient moribond.

Comme le montre le tableau 7, l'anesthésie joue un rôle exclusif pour les patients ASA 1, chez qui ont été observés trois décès et cinq comas. La contribution de l'anesthésie paraît d'autant plus atténuée que l'état du malade est grave.

L'anesthésie est donc entièrement responsable d'environ un décès sur 13 000 actes pendant la période opératoire et les premières 24 h suivantes. Si l'on tient compte des comas, dont le pronostic a été le plus souvent défavorable, l'anesthésie est à l'origine d'un décès ou coma pour 8 000 actes.

	Total	ASA 1	ASA 2	ASA 3	ASA 4+5
Accidents					
n	268	79	82	67	40
partiellement liés	105	0	36	40	29
totalelement liés	163	79	46	27	11
Décès					
n	67	3	15	26	23
partiellement liés	52	0	10	19	23
totalelement liés	15	3	5	7	0
Comas					
n	16	5	5	5	1
partiellement liés	6	0	3	3	0
totalelement liés	10	5	2	2	1

Tableau 7. Répartition des accidents, décès et comas liés à l'anesthésie par classe ASA, d'après Vourc'h (op. cit.)

Les renseignements obtenus sur les facteurs de risque associés aux accidents sont intéressants. En bref, les accidents et les décès paraissent un peu moins fréquents chez les femmes (1.3 %) que chez les hommes (1.5 %); toutefois, la différence n'est pas significative. Par contre, il existe d'importantes variations en fonction de l'âge. Les accidents sont relativement fréquents chez les enfants de moins d'un an (4.4 % pour les garçons, 2.2 % pour les filles). Ils sont beaucoup plus rares pour les enfants de 1 à 4 ans (0.5 %). Ils restent très bas (inférieurs à 1 %) jusqu'à 45 ans. Après cet âge, la fréquence des accidents augmente de manière nette - le taux des accidents chez les hommes atteignant 7 % après 85 ans.

L'heure du début de l'anesthésie ne semble pas influencer le risque. De même, le risque n'apparaît pas augmenter significativement avec une équipe inhabituelle et la qualification des intervenants ne semble pas avoir d'influence. En revanche, la fréquence des accidents anesthésiques est multipliée par trois en cas d'urgence. Elle s'accroît aussi considérablement avec la durée des interventions - le risque atteignant un maximum avec les interventions durant de 6 à 8 h.

Sur les 268 accidents recensés, 156 sont survenus au moment de l'induction et pendant l'intervention, les autres ont été observés durant la phase de réveil. Le type d'accidents observés est différent selon le moment de survenue. L'accident entraîne beaucoup moins fréquemment le décès quand il survient pendant la période opératoire.

Comme la majorité des enquêtes épidémiologiques, cette étude classe les accidents dans des catégories exclusives : erreur humaine, facteur technique ou autre complication, en se référant à une conception unicausale de l'accident. Elle ne nous renseigne pas sur les mécanismes de production de l'accident. Même si l'accident est attribué à l'anesthésie, le rôle de l'anesthésiste et la difficulté éprouvée dans l'activité n'y sont pas décrits. Une analyse plus détaillée de l'activité est nécessaire pour répondre à ces questions.

§ 3. SYNTHÈSE DES PRINCIPAUX TRAVAUX SUR L'ACTIVITÉ

Les travaux dont il va être question par la suite visent tous à analyser les activités cognitives impliquées dans la réalisation et le déroulement d'une anesthésie. Pour l'essentiel, ils ont été menés sur le terrain en utilisant des méthodes d'observation, de questionnaire et d'entretien, qui nous permettent de mieux décrire l'expertise anesthésique.

1. L'anesthésie comme une activité de surveillance

Dans un article récent, De Keyser & Nyssen (1993) mettent en relation l'évolution technologique que connaît l'anesthésie avec celle que le secteur industriel a rencontré dans les processus continus. L'accent est mis sur l'informatisation du travail et l'évolution de la tâche vers le 'supervisory control' décrit par Sheridan (1987) : l'anesthésiste devient un superviseur chargé de traiter les incidents non prévisibles par l'automatisation.

Dans les secteurs industriels - sidérurgie, nucléaire, verre, engrais - l'opérateur était autrefois directement en contact avec le produit. Il prélevait directement les informations sur le terrain (son, couleur, etc.) pour se représenter l'état du processus. L'action, elle aussi était directe, sans intermédiaire. Avec le développement des technologies, des capteurs sont apparus, renseignant sur des variables indirectes. L'information était transmise à des cadrans, encore dispersés dans l'environnement. Puis les informations ont été centralisées dans les salles de contrôle et des régulations automatiques des variations des paramètres ont été introduites. L'opérateur n'intervenait plus directement sur les variables, des automates se chargeaient de certaines actions. Eloigné progressivement du processus, il devait se le représenter à travers les informations médiatisée par des supports. Bientôt, les informations ont été rassemblées sur des écrans de visualisation alors que le processus était piloté par ordinateur; l'opérateur n'étant plus là que pour reprendre la main en cas d'incident. Sa tâche principale est de surveillance et de coopération avec l'ordinateur.

Le parallélisme avec le monde de l'anesthésie est aisé. Il ne faut pas remonter très loin pour retrouver un anesthésiste surveillant exclusivement son patient à l'aide d'indices informels : dilatation de la pupille, mouvement de la cage thoracique, teint, couleur des ongles, etc. Ces indices sont toujours utilisés mais de plus en plus d'appareils captant une variable sur le patient et présentant l'information sur un cadran se sont ajoutés. Comme dans les processus continus, on assiste à une tentative de centraliser, et d'intégrer ces variables sur des écrans de visualisation. La figure 9 représente le système homme-machine d'anesthésie.

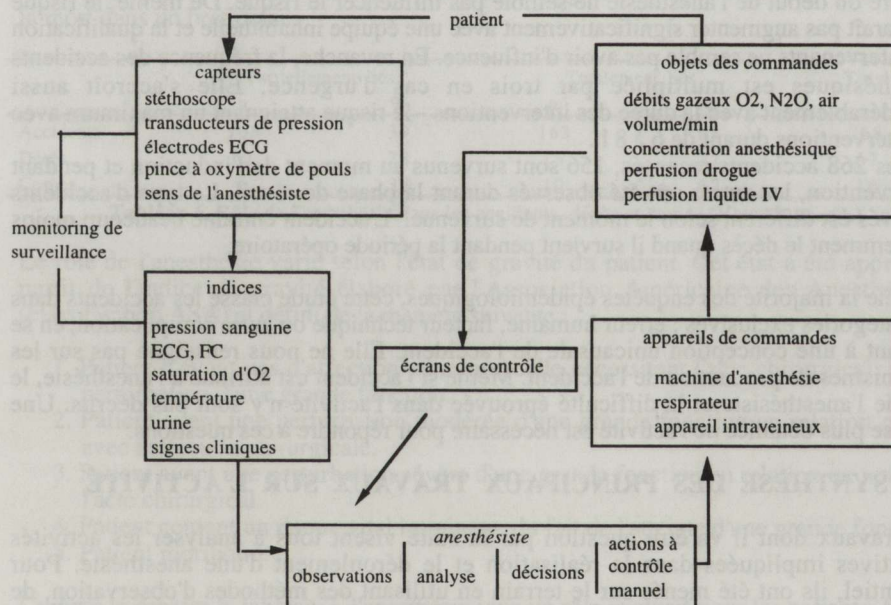


Figure 9. Représentation du système homme-machine (adaptation de Gravenstein et al., 1979)

Comme un opérateur de salle de contrôle, l'anesthésiste induit des états - grâce à une série de moyens anesthésiques - et en contrôle l'équilibre. Il surveille, détecte, diagnostique et récupère les incidents. Le plus souvent d'ailleurs, comme l'opérateur, il ne peut agir sur les causes profondes du problème et doit se contenter de ramener l'état du patient dans les limites acceptables pour sa sécurité.

Si aujourd'hui, les actions sont toujours effectuées directement par l'anesthésiste, des systèmes qui vont l'éloigner de la boucle de contrôle sont à l'étude, notamment pour que certaines drogues puissent être injectées en continu au patient, sans intervention humaine, à partir de plan préétablis et du contrôle en continu de l'état de variables-cibles.

A côté de ce parallélisme, il existe des différences importantes entre l'anesthésie et le secteur industriel qui modulent l'activité de l'anesthésiste assez différemment :

- contrairement à l'opérateur des salles de contrôle, l'anesthésiste a gardé un accès direct au processus à contrôler, même si de nombreux équipements de surveillance sont venus s'interposer entre lui et le patient;
- d'autre part, l'étendue des cas possibles à prendre en considération est différente. Alors que le nombre de situations potentielles auxquelles est confronté un opérateur dans un milieu industriel construit par l'homme, est limité, a priori bien connu et prédictible, l'anesthésiste doit faire face à une grande variété de cas pour lesquels les connaissances médicales ne sont souvent qu'imparfaites. Les réactions du patient ne sont pas toujours prévisibles et son état clinique évolue constamment. Il est influencé à la fois par les actions des anesthésistes et des chirurgiens et, spontanément, par des facteurs liés à sa nature physiologique.

Dans ce contexte d'incertitude, les procédures seront nécessairement moins spécifiques que celles des milieux industriels et l'activité reflétera davantage l'objectif poursuivi et le style de conduite préférentiel de l'anesthésiste, en insistant sur les processus de résolution de problèmes, que des séquences d'actions standardisées commandées par des procédures de travail. Même si les buts de l'anesthésie sont clairs - perte de conscience, analgésie, immobilité et maintien des fonctions vitales -, il n'y a pas de procédure au sens strict. L'induction, l'entretien et l'annulation des composantes de l'anesthésie peuvent se faire de bien des façons, toutes satisfaisantes, mais qui doivent tenir compte du type de patient, de la pathologie associée et des conditions d'urgence.

2. L'anesthésie comme une activité de résolution de problèmes

La prise en compte de l'incertitude de la situation amène à rapprocher l'anesthésie d'un autre type de situations souvent étudiées par les psychologues : les situations de résolution de problèmes ou de diagnostic. Dans un livre récent, Evans et Patel (1989) proposent d'examiner, d'un tel point de vue, l'ensemble de la pratique médicale. La conséquence est un élargissement du cadre théorique et méthodologique utilisé pour l'analyse des comportements et des erreurs observées vers les sciences cognitives.

Les travaux présentés dans ce livre sont essentiellement centrés sur les représentations des médecins et les erreurs associées à un défaut de cohérence; ces représentations sont analysées au niveau des protocoles verbaux, des explications et des interactions verbales entre médecin et patient.

Le concept d'action, bien que présent dans la mesure où les investigations tiennent compte de l'objectif général de la tâche médicale (le diagnostic), n'est pas développé dans le cadre d'une analyse détaillée de l'activité du praticien. Son rôle dans l'établissement du diagnostic a pourtant été souligné dans de nombreuses recherches de terrain (Bainbridge, 1984; Hoc et al., 1995).

Dans ces recherches, le diagnostic est conçu comme une activité de compréhension, c'est-à-dire d'organisation d'un ensemble d'éléments en une structure significative, mais finalisée par une décision explicite d'action ou de refus d'action. L'évaluation de la représentation construite par la compréhension n'est pas réalisée par le seul critère de

cohérence entre les données. Un autre critère d'évaluation plus prioritaire est la possibilité de retirer de la compréhension une décision à l'action.

Cette conception nous semble beaucoup plus pertinente pour appréhender l'activité de diagnostic dans les systèmes dynamiques. Dans le domaine d'anesthésie, par exemple, le médecin fait un diagnostic pour guider son traitement. Le niveau de compréhension du problème peut être variable. L'anesthésiste, peut reconnaître, par exemple, une hypertension sans pour autant se représenter les mécanismes de production de cette hypertension. Le plus souvent, la phase d'analyse ne sera développée que jusqu'au point où une action efficace peut être déterminée. L'exactitude du diagnostic apparaît alors comme d'importance secondaire.

Parmi les nombreux modèles inférant les activités dans la prise de décision en situation naturelle (Hammond et al., 1989; Conolly & Wagner, 1988; Cohen, 1993a; Lipshitz, 1993; Klein, 1993)¹, celui de Rasmussen (1986) a l'avantage de faire bien apparaître les liens entre le diagnostic, la prise de décision et l'action.

Rasmussen a identifié huit étapes dans la chaîne de décision qu'il a réparti en deux phases : une phase d'analyse et une phase de planification.

- La phase d'analyse comprend l'activation (ou la détection des conditions anormales), l'observation (ou la recherche explicite d'information), l'identification de l'état du système et l'interprétation des conséquences sur les buts du système.
- La phase de planification comprend le choix d'un but, la décomposition de ce but, l'établissement d'une procédure et son exécution.

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 et faire un diagnostic plus approfondi par la suite. Quelquefois, au contraire, le diagnostic doit être construit soit par des procédures d'investigations systématiques, soit par des heuristiques de résolution de problèmes telles que nous les avons présentées au chapitre 1.

Dans une situation évolutive, le diagnostic n'est pas une activité isolée. L'anesthésiste, par exemple, doit répéter le processus plusieurs fois pour tenir compte de la variabilité de l'état du patient et mettre à jour la représentation qu'il en a.

Pour rendre compte de ce fait, Bainbridge (1984) a proposé d'introduire des boucles de rétroaction et des effets d'attente dans le modèle de prise de décision. Lorsqu'un opérateur formule un diagnostic, des attentes nombreuses peuvent être diffusées à travers l'ensemble du processus de prise de décision : détection, recherche d'information ou diagnostic.

¹ Pour une critique des modèles de prise de décision réaliste, voir Lipshitz (1993), *Converging themes in the study of Decision Making*. In G.A. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood, C.E. Zsombok, *Decision Making in Actions : Models and Methods*. Ablex Publishing Corporation, Norwood, New Jersey, 103-138.

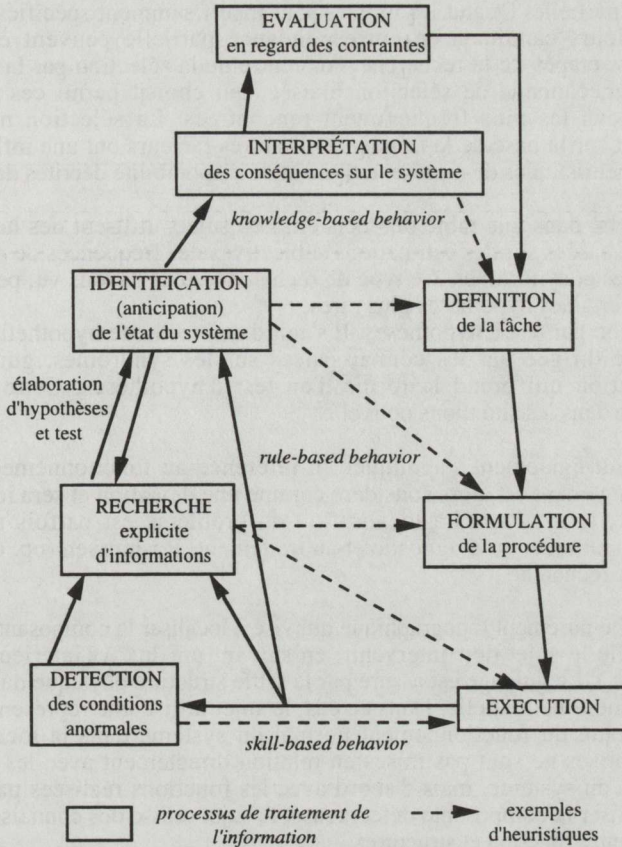


Figure 10. Modèle de prise de décision d'après Rasmussen (1986a) et revu par Hoc et al., (1995)

Les stratégies de diagnostic

Chacune des fonctions impliquées dans le processus de décision peut être mise en oeuvre par différentes stratégies de traitement de l'information, dont découlent des exigences multiples concernant les capacités de traitement de l'information.

On doit à Rasmussen une classification des stratégies de diagnostic selon le type de connaissances sur lequel elles s'appuient principalement : connaissances sur le fonctionnement normal ou connaissances sur le fonctionnement anormal (Rasmussen & Jensen, 1974).

Les stratégies de diagnostic médical s'appuient plus volontiers sur les connaissances des maladies. Un ensemble de symptômes, représentant l'état anormal du système, est utilisé comme guide pour trouver un ensemble similaire dans un catalogue de symptômes. Ce type de recherche est appelé recherche symptomatique. Rasmussen distingue trois types de recherche symptomatique :

- la reconnaissance de configuration ou "pattern matching" : il s'agit de la reconnaissance immédiate d'une configuration familière de symptômes, qui procure en même temps un diagnostic et une décision d'action. Cette stratégie, rapide et efficace, est mise en jeu dans les situations bien connues du sujet. On considère qu'elle implique deux primitives cognitives de base : l'appariement par similarité et par la fréquence (Reason, 1993). L'appariement par similarité est opéré entre des indices présents dans l'environnement ou "conditions d'appel" et des schémas stockés en mémoire qui possèdent des attributs en correspondance

totale ou partielle. Quand les indices sont insuffisamment spécifiés, il en résulte que plusieurs candidats en correspondance partielle peuvent être activés à différentes étapes de la recherche. Au centre de la sélection par la fréquence, se situe un mécanisme de sélection biaisée, qui choisit parmi ces candidats les informations les plus fréquemment rencontrées. La sélection ne se fait pas seulement sur la base de la fréquence. D'autres facteurs ont une influence. Parmi eux : les heuristiques de représentativité et de disponibilité décrites dans le chapitre 1;

- la recherche dans une table de décision. Les sujets utilisent des heuristiques de recherche basées sur des estimations subjectives des fréquences de relations entre symptômes et syndromes. Ce type de recherche, nous l'avons vu, peut conduire à négliger certaines hypothèses plus rares;
- la recherche par test d'hypothèses. Il s'agit d'une méthode hypothético-déductive, davantage dirigée par les connaissances sur les syndromes, guidant la prise d'information qui prend la forme d'un test d'hypothèses. Cette stratégie est nécessaire dans les situations nouvelles.

La recherche peut également s'appliquer en référence au fonctionnement normal du système. Le changement est alors considéré comme une déviation et sera identifié par sa localisation dans le système. La localisation du problème est parfois nécessaire en médecine. Elle peut aider au diagnostic et au traitement. Rasmussen (op. cit.) distingue trois stratégies de recherche :

- la recherche purement topographique qui vise à localiser la composante défectueuse sur laquelle le sujet doit intervenir, en suivant un flux à l'intérieur du système (fluide, etc.). Le guidage est assuré par la seule structure physique du système;
- la recherche fonctionnelle. Dans ce cas, le sujet utilise une représentation un peu plus abstraite du fonctionnement normal du système dans la localisation. Les mesures prises ne sont pas mises en relation directement avec les composantes physiques du système, mais d'abord avec les fonctions réalisées par le système. Pour localiser la composante défectueuse, le sujet utilise des connaissances sur les relations entre fonction et structure;
- la recherche par évaluation qui se traduit par la mise en oeuvre d'une représentation mentale des fonctions et des composantes du système. Les informations prises sur le système sont alors peu nombreuses et se réduisent à l'analyse de la sortie du système.

De cette classification, il est important de retenir que les différentes stratégies possibles peuvent exiger des niveaux de ressources différents en termes de données disponibles, de connaissances des fonctions du système, ou de capacités de traitements et de mémorisation. Les psychologues du travail ont montré que la stratégie adoptée par l'opérateur suit souvent la règle du moindre coût (Rasmussen, 1986a). Dans cette perspective, tout changement de stratégie peut être efficace pour réaliser une meilleure adéquation entre les ressources et les exigences immédiates de la tâche (Sperandio, 1980).

3. Vers un modèle de résolution de problèmes en anesthésie

Le modèle de résolution de problème qui est présenté dans cette partie suit d'assez près la synthèse de Gaba (1992b; 1994). La figure 11 schématise ce modèle conçu dans le cadre d'une situation dynamique, sous la forme d'une boucle : observation, diagnostic, pronostic, actions initiales, réévaluation et planification. Ce modèle recouvre les exigences cognitives de la tâche dont une partie a déjà été évoquée.

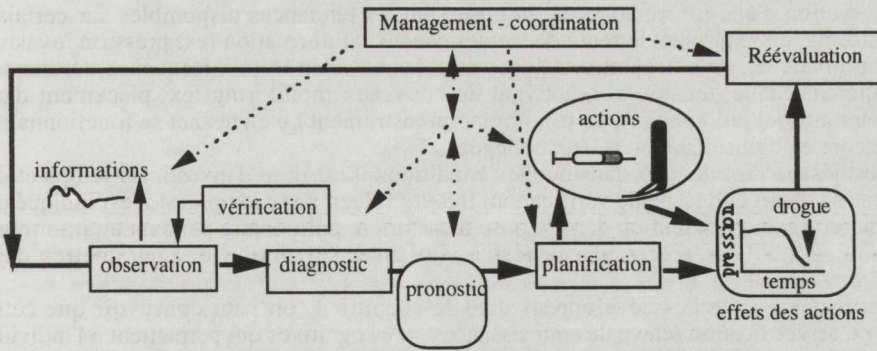


Figure 11. Modèle de prise de décision en anesthésie (adaptation de Gaba, 1994, p.209)

Observation

La gestion d'une anesthésie dépend beaucoup des réponses que l'anesthésiste déploie aux variations rapides des informations observées. Les informations, on l'a vu, sont multiples et de sources variées. Elles peuvent provenir : de l'observation clinique du patient, des nombreux écrans des monitoring de surveillance, de l'inspection du site chirurgical, de la surveillance des activités des infirmières, de l'écoute des bruits du patient et de l'équipement, de la lecture du dossier médical, des tests de laboratoire ou de l'interprétation des radiographies.

Face à cette multitude d'informations, l'anesthésiste ne peut pas les prélever toutes en même temps. Il doit partager son attention entre les différentes sources. Une telle allocation s'appuie sur un filtrage des informations qui dépend des propriétés de celles-ci (visibilité, accessibilité, etc.) mais aussi de l'évaluation que l'anesthésiste fait de la pertinence de l'information pour la tâche.

Les travaux sur les biais cognitifs, développés au chapitre 1, montrent bien que l'acquisition d'indices sur la situation peut relever d'une recherche contrôlée ou d'une activité automatique. Elle peut être très dépendante des croyances, des valeurs, mais aussi des hypothèses déjà élaborées, qui peuvent restreindre la prise d'informations à des indices qui les confirment et donner lieu au biais de confirmation.

Par ailleurs, la recherche contrôlée d'information qui requiert l'attention consciente a un coût élevé pour l'anesthésiste. Il est évident que, dans une situation où les durées peuvent s'étaler sur plusieurs heures, de nombreux facteurs tels que la fatigue, les interruptions, la distraction due à la dimension collective du travail peuvent diminuer le niveau de vigilance et retarder la détection d'indices sur l'état du patient. A cet égard, de nombreuses études, et notamment celle de Krueger (1989), montrent qu'on peut s'attendre à une baisse de vigilance après 25-35 minutes d'attention soutenue, bien que cela dépende de diverses variables comme l'amplitude du signal critique, les modalités sensorielles et la mise en place de stratégies intra- et inter-individuelles (Gadbois & Queinnec, 1984), qui permettent à l'opérateur de compenser l'impact de la rythmicité circadienne.

La notion de vigilance joue donc un rôle essentiel dans la tâche de l'anesthésiste, mais seule, elle n'est pas suffisante pour préserver la sécurité du patient. De nombreuses étapes, postérieures à l'observation dans l'échelle de décision de Rasmussen, peuvent être mises en défaut.

Vérification

Les informations disponibles dans une salle d'opération ne sont pas toujours certaines. La plupart des informations sur l'état du patient proviennent de l'instrumentation dont la fiabilité peut être imparfaite ou sujette à des artefacts. Même les informations directes provenant de l'observation et de l'auscultation peuvent être ambiguës. Pour réduire cette incertitude, l'anesthésiste doit souvent vérifier l'information observée avant de décider d'agir. L'activité de vérification peut se faire de différentes façons : en répétant

l'observation d'une information ou en observant les tendances disponibles sur certains monitoring, en exploitant la redondance des canaux d'information (ex. pression invasive et non invasive), en corrélant certaines variables en relation (ex. fréquence cardiaque, rythme cardiaque, tension), en activant de nouveaux monitoring (ex. placement d'un cathéter artériel pulmonaire), en recalibrant un instrument ou en testant sa fonctionnalité ou encore en demandant l'avis d'un collègue.

L'anesthésiste doit décider dans quelles conditions il est utile d'investir du temps et de l'attention dans cette tâche de vérification. Il doit évaluer, par exemple, si il est indiqué de consacrer toute son attention dans la pose d'une artère pulmonaire pendant au minimum 15 min., ou s'il est préférable de rester vigilant à l'évolution des paramètres déjà monitorés.

A partir des recherches développées dans le chapitre 1, on peut concevoir que cette activité de vérification relève de connaissances métacognitives qui permettent à l'individu de distribuer de façon efficace les ressources dont il dispose. Pour rappel, Valot et son équipe (1993) ont montré que les pilotes expérimentés utilisaient davantage la redondance des informations pour vérifier leur cohérence et réduire l'incertitude liée à leur fiabilité.

Diagnostic

Après la vérification des informations sur la situation, l'étape suivante est l'interprétation des indices observés ou le diagnostic, conçu comme l'analyse et l'identification d'un problème.

Le diagnostic médical a longtemps été considéré comme une forme de raisonnement hypothético-déductif, servant à réduire précocement l'espace-problème associé à une pathologie. Pour que cette stratégie soit applicable, il est nécessaire de disposer d'un ensemble suffisamment large de données pour en déduire la valeur de vérité de toutes les hypothèses à tester. Dans le domaine de l'anesthésie, comme dans bon nombres de situations médicales, le diagnostic ne peut s'appuyer sur des données aussi étendues. De ce fait, l'expertise médicale ne peut pas s'expliquer dans le cadre strict de la logique hypothético-déductive (Boreham et al., 1996).

Plusieurs recherches mettent l'accent sur les schémas utilisés dans l'interprétation des indices. Groen et Patel (1988) ont montré que l'interprétation des indices s'appuie non seulement sur les données présentées mais aussi sur un modèle situationnel plus large évoqué par ces données. Les connaissances spécifiques au type de cas présenté jouent donc un rôle dans la réussite du diagnostic. Mais elles ne suffisent pas pour l'expliquer. Elstein et al. (1978) ont remarqué que les diagnostics erronés sont dus, le plus souvent, à des erreurs d'interprétation des indices et à des évaluations d'hypothèses mal conduites.

L'incertitude liée au domaine de l'anesthésie fait que la mise en relation entre les symptômes et les problèmes n'est pas univoque et lorsqu'un problème est détecté, les indices disponibles ne spécifient pas toujours la nature ou la cause du problème. Dans ces conditions, on peut concevoir que l'anesthésiste, comme tout autre décideur, utilise des stratégies (ou heuristiques) qui permettent de pallier le manque d'information.

En appliquant les travaux sur les biais cognitifs à la prise de décision anesthésique, on peut imaginer la mise en oeuvre de plusieurs heuristiques.

L'anesthésiste peut, par exemple, évaluer la probabilité d'un diagnostic sur la base des cas qu'il a rencontrés et mémorisés. C'est l'heuristique de *disponibilité*.

Il peut aussi estimer le dosage d'une drogue en partant d'une valeur "théorique" initiale (la Mac : concentration alvéolaire minimale, par ex.) qu'il ajuste dans une direction et une proportion déterminées par les réponses du patient, jusqu'à fournir la valeur finale. Selon Khaneman et al. (1982), ces ajustements sont généralement insuffisants car biaisés dans le sens de la valeur initiale. C'est l'heuristique de *ancrage-ajustement*.

Si les symptômes d'un patient lui font penser à un problème spécifique, il peut attribuer une haute probabilité à ce diagnostic même s'il est extrêmement rare dans la réalité. C'est négliger la *probabilité a priori*.

Une fois son opinion faite, il peut refuser de la réviser à la lumière des nouveaux symptômes ou des résultats tardifs aux tests et même trouver une explication aux

informations apparemment contradictoires. Ce sont les biais de *confirmation* et de *croyances*.

De telles stratégies heuristiques permettent à l'anesthésiste expérimenté de répondre rapidement à la plupart des situations problèmes routinières mais elles peuvent aussi conduire à des erreurs notamment dans des situations nouvelles.

Pronostic

Dans une situation dynamique, lorsqu'une perturbation est détectée, il peut être préférable de porter le diagnostic dans un premier temps sur l'évolution de la situation et sur des actions initiales, plutôt que sur un niveau de compréhension approfondi des causes du problème. Il est donc important que l'anesthésiste évalue la perturbation en terme d'évolution et de conséquences pour l'état du patient.

Actions initiales

Beaucoup de problèmes peropératoires exigent une réponse rapide de l'anesthésiste pour prévenir un développement défavorable pour le patient. Dans ces conditions, la recherche d'une solution par raisonnement déductif sur les prémisses est simplement trop lente pour satisfaire les contraintes temporelles. L'anesthésiste doit réagir sur base des premiers signes visibles. Son diagnostic n'est plus préalable à l'action mais s'effectue progressivement en même temps que sont prises des décisions d'action pour traiter le problème.

Sur simulateur, Gaba et De Anda (1989) ont montré que les actions initiales des anesthésistes dérivent souvent d'un raisonnement basé sur des règles, suffisant pour définir une classe de situations à laquelle est associée une action-réponse automatisée. D'autres recherches réalisées dans des secteurs différents ont révélé le caractère non optimal de ces actions, en ce sens qu'elles ne permettent pas d'atteindre immédiatement l'objectif et, par là, exigent des ajustements ultérieurs. Ceci a été observé même chez les experts (Michard, 1980). Dans une étude portant sur les pompiers, Py (1987) a remarqué que les actions initiales mises en oeuvre par les responsables des brigades lors d'interventions réelles sont routinières, automatisées, instantanées et polyvalentes. Ces propriétés laissent l'individu disponible pour la recherche d'informations. L'auteur remarque que le diagnostic apparaît, dans ce type de tâche dynamique, moins comme un préalable cognitif relativement statique que comme la mise en oeuvre rapide d'un certain type d'actions qui va permettre la recherche progressive d'informations nécessaires au diagnostic.

Cette stratégie, actions initiales avec construction progressive du diagnostic, permet à l'individu de répondre aux contraintes de la tâche (variabilité des systèmes à considérer, variabilité des buts, incertitude et recueil progressif des données). Mais elle nécessite inévitablement des ajustements de l'action à mesure de l'arrivée de l'information.

Coordination des activités via le "supervisory control"

La réalisation d'une anesthésie est caractérisée par une multitude d'actions à effectuer séquentiellement et/ou en parallèle, qui nécessitent une véritable coordination de la part de l'anesthésiste (Weinger et al., 1994).

Dans une recherche sur simulateur, Gaba et Lee (1990) ont utilisé le paradigme de la double tâche pour étudier les conséquences qui peuvent résulter de cette exigence de "multitasking" pour la détection de problème. Ils ont montré que le degré de mobilisation que certaines actions requièrent de l'anesthésiste l'empêche périodiquement de détecter le signal lumineux de la seconde tâche. Bien entendu, de nombreuses précautions sont à prendre dans l'interprétation de ce résultat, mais l'allure générale des résultats obtenus par ce paradigme expérimental dans d'autres domaines est bien celle-là.

Parmi les réserves à prendre, plusieurs auteurs ont fait remarquer que l'expert gère activement sa charge de travail en situation réelle : au lieu d'attendre d'être submergé, le sujet expert anticipe certaines actions et les prépare (Gaba, 1992b; Schneider & Detweiler,

1988). A partir d'observations sur le terrain, Xiao et al. (1992) ont décrit les stratégies utilisées par les anesthésistes expérimentés pour gérer leur ressources. Trois stratégies se dégagent. On peut les rapprocher des stratégies repérées par Valot (op.cit.) sur les pilotes de combat développées au chapitre 1. Ce sont :

- la distribution de la charge de travail dans le temps : l'anesthésiste expérimenté prépare certaines actions quand l'activité en cours le mobilise peu; il peut retarder voire abandonner des tâches jugées secondaires en cas de charge élevée.
- la distribution de la charge sur les ressources : certaines des ressources sont internes à l'individu : l'anesthésiste peut, par exemple, simultanément ventiler manuellement un patient, observer la fréquence cardiaque et discuter avec le chirurgien. En revanche, il ne peut pas en même temps placer une ligne artérielle et ventiler en manuel son patient. Pour être réalisées en parallèle, ces deux tâches doivent être déléguées à d'autres personnes. Il s'agit donc de gérer l'ensemble des ressources de l'environnement de travail.
De nombreuses études ont mis l'accent sur le rôle de la *gestion des ressources* dans l'efficacité de la récupération d'une crise (Ruciman, 1988; Gaba et al., 1994; Mackenszie et al., 1994). Gaba et son équipe ont étudié les stratégies de récupération sur simulateur. Ils ont montré que les obstacles à une gestion optimale les plus souvent rencontrés sont : une mauvaise communication entre les membres de l'équipe opératoire, un manque de leadership et une mauvaise délégation (De Anda & Gaba, 1990).
- le changement de la nature de la tâche : il existe, pour une même tâche, diverses procédures possibles d'exécution. Les changements qui interviennent dans la procédure peuvent être vus comme la négligence plus ou moins grande, voire l'abandon, de critères jugés secondaires : par exemple, pendant une période d'hémorragie intense, l'anesthésiste se focalisera sur le remplissage du patient et sur la surveillance du volume sanguin et de moins en moins sur des tâches secondaires comme l'écriture de la feuille d'anesthésie.

Cette gestion des ressources implique aussi une activité de planification. L'anesthésiste doit ordonner les actions à réaliser dans une séquence. Pour être efficace, il doit tenir compte de nombreux facteurs comme les préconditions nécessaires à l'action, les contraintes (ex. il est impossible à l'anesthésiste d'observer la pupille du patient quand la tête de ce dernier est sous les champs chirurgicaux), les effets secondaires des actions, la rapidité et la facilité d'exécution, le niveau de certitude de succès associé à l'action, la réversibilité et les risques d'erreur et le coût en terme d'attention et de ressources.

Réévaluation

A la différence des situations statiques où le diagnostic peut être élaboré une fois pour toutes, les situations dynamiques nécessitent que la représentation du système soit en perpétuelle évolution.

Le diagnostic initial peut être incomplet ou incorrect et doit être poursuivi ultérieurement dans une situation modifiée, à la fois par la décision prise et par l'évolution spontanée du processus. Les informations sur l'état du patient peuvent n'apparaître que progressivement. L'anesthésiste doit périodiquement réévaluer l'ensemble des informations sur la situation pour ajuster ses représentations et ses actions aux circonstances variables.

Ce processus de réévaluation renvoie à l'étape d'observation, mais avec certaines questions spécifiques auxquelles l'anesthésiste doit chercher à répondre :

- les actions entreprises sont-elles efficaces ?
- le problème s'améliore-t-il ou, au contraire, s'aggrave-t-il ?
- y a-t-il des effets secondaires ou imprévus aux actions de récupération ?
- d'autres problèmes sont-ils survenus ou certains d'entre eux ont-ils été ignorés ?
- le diagnostic initial est-il correct ?

On peut rapprocher cette activité de "conscience permanente" du concept de "situation awareness" très répandu dans le domaine d'aviation (Sarter & Woods, 1995) et utilisé pour expliquer certaines erreurs de fixation (De Keyser & Woods, op.cit.).

4. Les activités de planification

Nous terminerons ce tour d'horizon de la littérature par la présentation des travaux de Xiao (1994) sur les activités de planification. Cet auteur a observé que les anesthésistes expérimentés prétraitaient la plupart des problèmes. Il insiste sur le rôle crucial de la planification et de l'anticipation dans la récupération des incidents en anesthésie.

Xiao conçoit la planification comme une préparation des ressources pour l'action. Deux types de ressources peuvent être planifiées : les ressources cognitives et les ressources matérielles.

- Les ressources cognitives : l'anesthésiste, nous l'avons vu, aménage son activité en terme d'économie, de distribution et d'adaptation. Ces modes de gestion sont autant de degrés de liberté dont il dispose pour réduire sa charge de travail. Ce partage de l'activité est réalisé lors de la préparation de l'anesthésie, durant la visite préopératoire, - pour cela l'anesthésiste définit préalablement un univers des problèmes possibles et cherche à construire des stratégies d'action compatibles avec les ressources disponibles, compte tenu du contexte donné. L'anesthésiste peut préférer réaliser une anesthésie régionale à une anesthésie générale pour éviter des difficultés d'intubation prévues, choisir telle technique d'intubation au lieu de telle autre du fait de ses habitudes, compte tenu de l'examen clinique du patient. Dans les deux cas, la situation pour laquelle une réponse a été préparée devient la cible qui guide l'activité future.

Le partage de l'activité apparaît également durant son exécution. L'anesthésiste peut modifier une stratégie initialement prévue du fait de son état de fatigue ou à cause de son manque de familiarité avec la technique. Une telle démarche vise à limiter les risques de se trouver dans une situation difficile, c'est-à-dire une situation dont l'anesthésiste ne maîtrise qu'imparfaitement les modalités de traitement.

- Les ressources matérielles : l'environnement physique de l'anesthésiste joue un rôle important en tant que support des activités cognitives. Certaines informations, certains équipements nécessaires à une réponse peuvent ne pas être disponibles ou être difficiles d'accès au moment et sur le lieu de l'action.

L'anticipation des problèmes possibles permet à l'anesthésiste de préparer son environnement. Il peut organiser son espace de travail de manière à ce qu'une procédure d'urgence puisse facilement être mise en oeuvre; il peut également s'assurer de la présence d'un personnel expérimenté durant les moments critiques.

La planification des deux types de ressources, cognitives et matérielles, se fonde sur les connaissances dont dispose l'anesthésiste.

Nous avons examiné le rôle des métaconnaissances dans la gestion des ressources avec Amalberti (op. cit.). Nous avons vu que le contenu des métaconnaissances évolue avec l'apprentissage. Certaines caractéristiques du système amènent aussi à utiliser d'autres types de connaissances. Hoc (1996) l'a bien illustré pour les systèmes dynamiques.

Ainsi, le caractère indirect de l'information en anesthésie renforce l'importance du recours aux connaissances sur le fonctionnement du processus, qui permettent de mettre régulièrement à jour la représentation épisodique de l'anesthésiste sur l'état du patient et sur son évolution, lesquels ne sont pas, dans une situation dynamique, sous la seule dépendance des actions de l'opérateur.

Par ailleurs, le caractère continu des variables "monitorées" traduisant l'état du patient pose le problème des formes de représentations utilisées pour les évolutions.

A cet égard, les résultats de l'étude de Xiao et al. (1992) argumentent en faveur d'une représentation qualitative des variables numériques en terme de niveau, plutôt qu'en faveur d'une stratégie basée sur des calculs complexes de probabilité. Des verbalisations enregistrées en salle d'opération, de type : "la fréquence cardiaque est trop basse", "la tension est trop élevée" illustrent cette stratégie. L'analyse des données montre en outre que ces valeurs limites constituent souvent des conditions de mise en oeuvre d'action. L'anesthésiste interviendra, par exemple, quand la fréquence cardiaque dépassera le seuil critique de 45. De telles règles d'action préalablement élaborées jouent un rôle dans l'allocation des ressources. Elles constituent une économie du point de vue du traitement de l'information et guident l'action durant son exécution.

§ 4. CONCLUSIONS

Au vu de ces travaux sur l'anesthésie, il faut constater que le classement d'un accident anesthésique dans la rubrique "erreur humaine" ne traduit que l'implication d'un opérateur humain dans une configuration accidentelle. Si cette conception peut paraître satisfaisante pour certains, elle ne renseigne en rien sur les mécanismes de production de l'erreur.

L'approche cognitive conduit à accorder plus d'importance à ces mécanismes. Les travaux empiriques réalisés dans ce sens font apparaître que l'anesthésiste est confronté à la gestion de situations dynamiques. L'anesthésiste a à superviser (avec des techniques informatiques et automatiques de plus en plus sophistiquées), à contrôler et à réguler des processus physiologiques.

Le rapprochement avec le contrôle de processus industriel constitue plus qu'une simple analogie. Les interventions de l'anesthésiste interagissent, comme dans le contrôle de processus, avec l'état du patient et la chirurgie. Du fait de l'incertitude du domaine, la résolution de problèmes ou le diagnostic est au centre de l'activité. Déjà, à ce niveau, on situe la complexité des approches explicatives relatives à l'erreur humaine.

Mais l'erreur, comme l'accident avons-nous dit, est avant tout un produit du système dont l'homme n'est qu'une composante. Or, dans les systèmes complexes, les composantes isolées sont rarement seules en cause dans les accidents. Ce sont le plus souvent des interactions entre ces composantes qu'il faut incriminer.

Par conséquent, il faut aussi intégrer les résultats d'études plus contextuelles et organisationnelles et converger vers une approche en termes de système pour identifier les différents niveaux de réalisation des conditions d'erreurs.

Cet objectif nous conduit à l'hypothèse directrice qui oriente cette thèse et aux recherches que nous avons réalisées pour l'éprouver.

Mais avant d'entrer dans leur présentation au cours des chapitres suivants, il convient d'examiner l'étude préliminaire qui nous a porté vers ce travail.

Chapitre 4

ÉTUDE PRÉLIMINAIRE

Il s'agit d'une étude de terrain largement exploratoire qui visait à acquérir une connaissance suffisante du système : homme - tâche - environnement.

Dans cette perspective, nous avons observé le comportement des anesthésistes pendant approximativement 200 heures dans un hôpital universitaire de la région liégeoise. Huit salles d'opération du bloc opératoire sur dix-sept furent sélectionnées sur base des différences des conditions de travail (type d'intervention, acte anesthésique, durée, monitoring disponible, etc.). L'anesthésiste était invité à expliquer son comportement quand la tâche le permettait.

Le secteur de l'anesthésie constitue un "laboratoire naturel" propice à l'analyse de l'activité. Le nombre important d'actes similaires effectués quotidiennement par un même praticien ou par différents anesthésistes de niveaux d'expérience variés, donne un volume d'activité de référence tel que tout écart est identifiable par un observateur familier du terrain. De plus, l'activité continue du médecin tout au long de l'intervention et l'action ou la non action déployée en réponse à un changement d'état du patient constituent des traces visibles et concrètes qui supportent des inférences quant aux activités cognitives sous-jacentes pour un observateur expérimenté.

Ces observations nous ont permis de décrire le système, d'examiner sa complexité telle que nous l'avons définie dans le chapitre 1, d'identifier les principales interactions entre les différents composants, de comprendre son fonctionnement normal, et d'analyser l'activité de l'anesthésiste au cours du temps en termes de buts, de moyens et de contraintes.

Nous avons, par la suite, fait une première recherche sur les dysfonctionnements du système suivant la méthode des incidents critiques.

Douze anesthésistes expérimentés ont été interviewés pour recueillir 20 situations problèmes auxquelles ils avaient assisté et au cours desquelles il y avait eu, selon eux, une erreur humaine. L'analyse approfondie de chaque récit d'erreur s'est efforcée de comprendre ce qui s'était passé, de restituer la genèse de l'incident et les conditions de production de l'erreur humaine.

Une telle approche nous a permis de mettre en évidence l'importance de certains facteurs de risque et de dégager des configurations typiques de conditions associées à la production d'erreur. Ce sont ces configurations qui sont à l'origine de l'hypothèse de cette thèse.

§ 1. DESCRIPTION DU SYSTÈME

Cinq composantes essentielles forment le système dans lequel se déroule la réalisation d'une anesthésie générale au bloc opératoire : (1) l'anesthésiste, avec ses objectifs, ses

plans et ses actions; (2) le patient avec ses limites physiologiques, sa pathologie spécifique, ses réactions attendues et inattendues; (3) les autres personnes de l'équipe opératoire incluant le chirurgien, les stagiaires médecins, les infirmières et les techniciens, (4) l'équipement d'anesthésie et les monitoring de surveillance du patient; (5) l'hôpital, les services, les laboratoires.

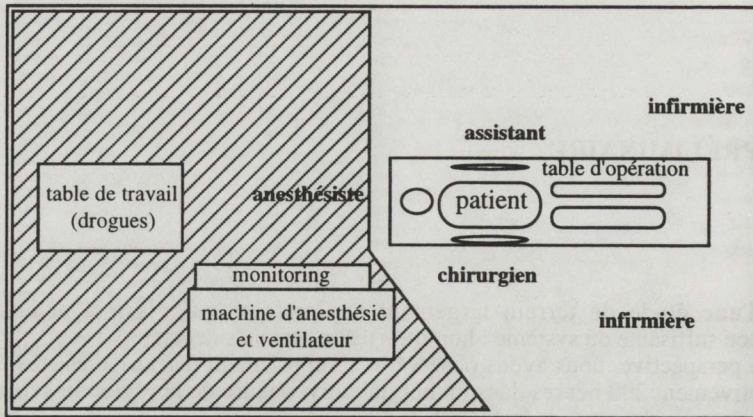


Figure 12. La salle d'opération

En fait, il y a principalement deux personnes (l'anesthésiste et le chirurgien) qui interviennent sur un même processus physiologique complexe : le patient, avec sa propre dynamique.

L'équipe opératoire joue un rôle secondaire mais très important, notamment dans la prise d'information et sa circulation entre les membres. Elle se compose d'infirmières, d'assistants, parfois de techniciens mais aussi des services et des laboratoires qui sont extérieurs à la conduite d'une anesthésie mais influencent directement l'activité de l'équipe. Celle-ci ne constitue pas un groupe stable. Il s'agit de personnes de formation différente avec des compétences et des responsabilités différentes qui partagent un objectif commun - le bien-être du patient - et qui se rencontrent en un même lieu et en un même temps (la salle d'opération) pour réaliser des tâches particulières.

Autour d'elle encore, l'hôpital, avec ses contraintes économiques, ses pressions temporelles, le poids et parfois les incohérences de son organisation administrative.

§ 2. APERÇU DE LA COMPLEXITÉ DU SYSTÈME

On peut décrire la complexité du système sous de multiples aspects, telle qu'elle a été décrite dans la partie 1 théorique :

- a/ à toute anesthésie et à tout acte anesthésique, est associé un risque potentiellement grave exclusivement pour le patient;
- b/ les connaissances médicales sont nécessairement incomplètes et des événements imprévisibles peuvent survenir à des moments indéterminés;
- c/ l'état du patient est influencé à la fois par les actions des anesthésistes et des chirurgiens et, spontanément, par des facteurs liés à sa propre nature physiologique;
- d/ les paramètres de surveillance du patient sont nombreux; ils peuvent éventuellement interagir. Certaines informations sur l'état du système doivent être obtenues indirectement ou inférées;
- e/ la physiologie humaine est souvent présentée comme un réseau de sous-systèmes reliés (cardio-vasculaire, respiratoire, nerveux, hépatique, etc.). Les défaillances d'un composant peuvent avoir des effets multiples en aval;

- f/ les couplages entre l'action, l'effet et le feedback sont variables. Ils peuvent être serrés ou larges comme dans le cas de convulsions apparues 72 heures après l'anesthésie. Des boucles de rétroaction peuvent être peu visibles, non familières ou inattendues,
- g/ les pressions temporelles ne recouvrent pas uniquement les contraintes liées aux délais inhérents au processus. Le plus souvent, elle sont associées aux contraintes de production imposées par l'organisation du travail ou par le chirurgien;
- h/ les différentes composantes du système sont en relation, comme le schématise la figure suivante.

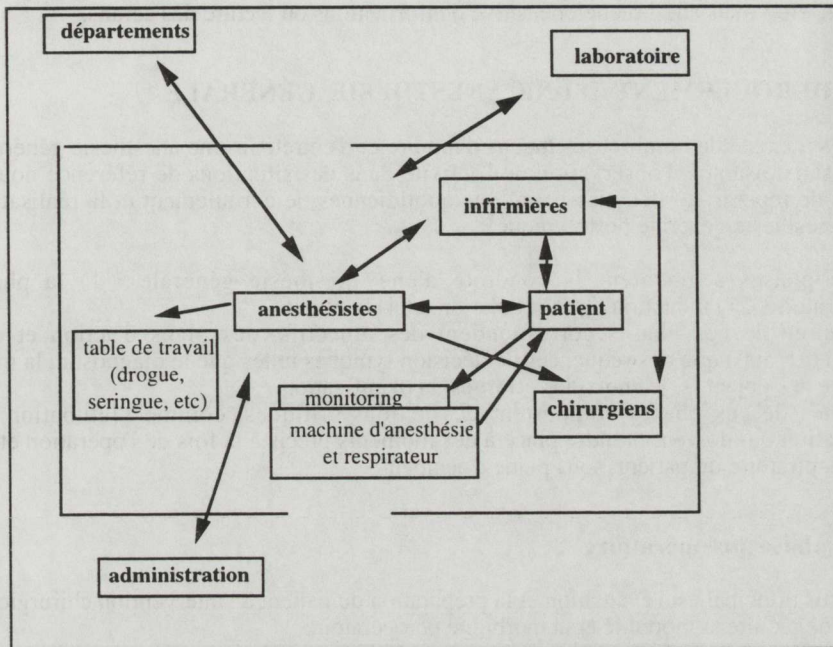


Figure 13. Interactions entre les composants du système

Du point de vue de l'anesthésiste, les principales interactions sont :

Anesthésiste <--> patient : les interactions consistent essentiellement en prises d'informations directes : demandes d'informations, observations du patient et palpations. Le chirurgien et les infirmières interagissent également avec le patient. L'activité du chirurgien modifie la balance physiologique du patient que doit équilibrer l'anesthésiste. De même, l'infirmière accueille et installe le patient sur la table d'opération.

Anesthésiste <--> chirurgien : les activités de l'anesthésiste et du chirurgien sont interdépendantes. L'observation du site chirurgical constitue une source d'information particulièrement importante. Elle permet à l'anesthésiste d'évaluer la progression de l'intervention, de rattacher des manifestations perçues au niveau du patient à l'acte chirurgical, parfois d'anticiper certaines réactions aux stimulations chirurgicales. Les communications verbales peuvent compléter les informations observées, supporter une demande de la part de l'anesthésiste ou du chirurgien ou être de nature conviviale.

Anesthésiste <--> autre personnes : le bloc opératoire est un environnement de travail collectif. Les communications verbales et non verbales avec les membres de l'équipe opératoire sont importantes pour une représentation commune de la situation. Entre l'anesthésiste et l'infirmière, une délégation des tâches est souvent organisée, des boucles de contrôle se forment implicitement. Même au bloc opératoire, l'activité de l'anesthésiste

s'exerce dans le cadre d'une organisation (administration, service, laboratoire) qui peut influencer directement ou indirectement l'activité.

Anesthésiste <--> équipement : trois types d'équipements sont à distinguer : le matériel d'anesthésie composant la table d'anesthésie (drogues, seringues, stéthoscope, etc.), l'appareil d'anesthésie et le respirateur qui fournit un circuit ventilatoire et respiratoire et les monitoring de surveillance du patient. L'anesthésiste est perpétuellement en interaction avec l'ensemble de ces équipements. Les modes d'interactions sont variés : actions sensori-motrices (préparation et injection de drogues, mise en place de cathéter, mesure manuelle de la pression, réglage des paramètres ventilatoires et respiratoires, réglage des alarmes, etc.) mais aussi recherche active d'informations ou lecture des écrans.

§ 3. DÉROULEMENT D'UNE ANESTHÉSIE GÉNÉRALE

Même s'il existe de nombreuses façons d'induire et d'entretenir une anesthésie générale, toutes satisfaisantes, l'observation de l'activité dans des situations de référence nous a permis de repérer, au-delà des variations quotidiennes, le déroulement et la réalisation d'une anesthésie générale prototypique¹.

Quatre phases segmentent la conduite d'une anesthésie générale : 1) la phase préopératoire, 2) l'induction, 3) la régulation, et 4) le réveil.

A chacune de ces phases correspondent des objectifs, des plans d'action et des contraintes, ainsi que des séquences de décision typiques telles que le diagnostic, la mise en place des objectifs, le choix des priorités, la planification.

Certaines de ces phases comportent des actions critiques, comme l'intubation ou l'extubation qui doivent prendre place à des moments précis à la fois de l'opération et de l'état respiratoire du patient, sous peine d'accident.

1. La phase préopératoire

L'objectif principal est l'évaluation et la préparation du patient à l'intervention chirurgicale en vue de réduire la mortalité et la morbidité peropératoire.

La consultation préopératoire, l'interrogatoire et l'examen physique préanesthésique sont les étapes essentielles de cette phase. Ils ont lieu d'ordinaire la veille de l'opération et permettent un échange d'informations important à la fois pour l'anesthésiste et pour le patient. Durant la consultation, l'anesthésiste prend connaissance du dossier médical du patient, de l'affection chirurgicale actuelle et des pathologies médicales associées. L'interrogatoire porte notamment sur les opérations et les anesthésies antérieures, sur les habitudes sociales (tabagisme, alcoolisme etc.), sur les antécédents d'allergies, d'asthme, d'hypertension, de maladie cardiovasculaire ou d'affection respiratoire. En fonction du cas, l'anesthésiste peut ordonner des examens de laboratoires complémentaires. L'examen clinique comporte une auscultation cardiopulmonaire avec pression artérielle et l'examen physique du patient (ouverture de bouche, dentition, faciès et cou) qui vise à rechercher les difficultés d'intubation.

Sur base de l'ensemble des données recueillies, l'anesthésiste choisit la stratégie de soins pré, per et postanesthésiques qui lui paraît la plus adaptée à l'état du patient, compte tenu de la pathologie associée et des conditions d'urgence.

¹ La notion de situation d'action prototype est empruntée à Rasmussen (1993b) : l'activité observée dans une situation de travail est toujours singulière : elle appartient "au ici et maintenant" et correspond à un état particulier de l'environnement de production et de l'opérateur concerné. Mais il est possible de repérer des structures invariantes de l'activité des opérateurs et les déterminants de cette organisation interne de l'activité. Une situation d'action prototypique - c'est-à-dire l'ensemble de ces déterminants de la structuration de l'activité - est définie par des buts poursuivis, des personnes impliquées dans la réalisation de ces buts et des contraintes (de temps, physiques) qui pèsent sur elles. Elle peut être identifiée à partir de l'observation de diverses situations de référence existantes.

La prémédication, c'est-à-dire la prescription de médicaments préparant à l'anesthésie (par ex. anxiolytiques, sédatifs et parfois analgésiques), a principalement pour but de calmer l'anxiété du patient et de faciliter une induction d'anesthésie en douceur.

2. L'induction

La finalité de l'induction est la réalisation de l'état d'anesthésie associant perte de conscience, coma pharmacologique, relâchement musculaire et protection neurovégétative.

L'induction se fait généralement par voie intraveineuse ou par inhalation. Le choix des agents anesthésiques doit prendre en considération :

- les impératifs liés au patient (état physiopathologique et terrain);
- les impératifs liés au type de chirurgie (chirurgie réglée ou urgente, chirurgie de courte durée, moyenne ou longue durée; actes mineurs ou plus lourds, chirurgie ambulatoire);
- les impératifs liés la pharmacocinétique des drogues utilisées (particularité, contre-indications, délai d'action, durée d'élimination, etc.).

Le plus souvent, pour l'adulte et parfois chez les enfants, on utilise un hypnotique d'action rapide (pentothal, propofol) par voie intraveineuse (IV) associé à un morphinique qui procure au malade une induction rapide (1-2 min.) et agréable. Lorsque le contrôle des voies respiratoires est nécessaire (intubation ou masque laryngé), l'agent d'induction est associé à un myorelaxant qui bloque la transmission neuro-musculaire, procure un relâchement et facilite l'accès aux voies respiratoires. Parfois d'autres agents d'induction peuvent être utilisés comme la kétamine, l'étomidate ou même les benzodiazépines. Chez les enfants, l'induction peut aussi être réalisée au masque avec un agent halogéné.

Avant de commencer l'induction, l'anesthésiste prépare le matériel en fonction de la stratégie anesthésique choisie et des risques appréciés, et en contrôle le bon fonctionnement : vérification du respirateur, des monitoring, réglage des alarmes, etc. Pendant ce temps, le patient arrive au bloc opératoire; il est installé sur la table d'opération, généralement allongé sur le dos. Les données préopératoires sont relues par l'anesthésiste. Les différents capteurs de monitoring sont installés (électrodes, manchette de prise de tension, oxymètre de pouls). L'anesthésiste assure l'abord veineux et place une perfusion.

L'induction d'anesthésie entraîne une perte de conscience du patient qui très souvent déprime les centres respiratoires et entraîne une apnée. En même temps, les réflexes des voies aériennes sont abolis. L'anesthésiste assure la ventilation et une oxygénation optimale en ventilant le patient au masque avec de l'oxygène. Si une difficulté d'intubation est détectée, l'anesthésiste changera sa stratégie en préférant laisser le patient conscient, sédaté mais en respiration spontanée pendant qu'il assure un contrôle des voies aériennes (intubation par fibroscope ou à l'aveugle).

Durant cette phase, le praticien apprécie la profondeur de l'anesthésie en observant la perte de conscience du patient, ses mouvements respiratoires, son faciès et les paramètres "monitorés". L'anesthésie est considérée comme suffisamment profonde quand les stimulations douloureuses ne provoquent plus de réflexes somatiques ni de réactions neurovégétatives indésirables (tachycardie, hypertension).

Pour faciliter le contrôle de la respiration en cours d'anesthésie (ventilation contrôlée), l'anesthésiste intube le patient ou place un masque laryngé. Cette intubation nécessite un niveau d'anesthésie suffisant, afin d'éviter des réactions des réflexes adverses (bronchospasme, laryngospasme).

La séquence d'intubation "endotrachéale" a été largement procéduralisée; la séquence de gestes comprend : 1) la pré-oxgénation, 2) la surélévation de la nuque, 3) l'extension du cou, 4) l'exposition visuelle des cordes vocales (laryngoscopie directe) à l'aide d'un laryngoscope, 5) l'introduction du tube au travers des cordes vocales, 6) le gonflement du ballonnet pour assurer l'étanchéité du tube au pharynx, 7) la vérification de la ventilation du patient par l'auscultation pulmonaire et via le monitoring (courbe CO₂, pression d'insufflation, ventilation minute, etc.) et 8) la fixation du tube.

Même entre des mains expertes, l'intubation constitue une phase critique. Elle est sujette à de nombreuses complications. Les plus courantes sont : 1) le laryngospasme (fermeture réflexe des cordes vocales responsable d'une obstruction glottique partielle ou complète), il est provoqué le plus souvent à un stade d'anesthésie légère par une irritation des voies aériennes supérieures, 2) le bronchospasme (bronchoconstriction réflexe), il peut être une réponse locale à une irritation des voies aériennes supérieures, 3) l'inhalation pulmonaire de liquide gastrique acide au niveau bronchique du fait d'un repas récent, d'un reflux gastrooesophagien, etc., 4) l'intubation sélective d'un seul poumon et 5) l'intubation oesophagienne.

Quand les manoeuvres de dégagements des voies aériennes échouent et que la ventilation est impossible, il faut pratiquer une trachéotomie ou une cricothyrotomie en urgence, c'est-à-dire un accès d'urgence aux voies respiratoires via le cou afin d'oxygéner et de ventiler le patient.

3. L'entretien et la régulation

L'intensité des stimulations chirurgicales varient à tout moment, si bien qu'une concentration sanguine constante d'anesthésique intraveineux (IV) ou volatil ne garantit pas une anesthésie de profondeur appropriée pour le patient.

La profondeur de l'anesthésie doit être continuellement réévaluée en fonction des réponses du patient à chaque stimulation chirurgicale et des effets des agents anesthésiques administrés en réponses à celles-ci. La bonne qualité de l'anesthésie générale est jugée sur un grand nombre de signes cliniques comme par exemple la stabilité des systèmes cardiovasculaires (bradycardie, tachycardie, arythmies) et/ou respiratoires lors des stimulations chirurgicales, la qualité du relâchement musculaire, la présence d'une pupille en myosis centrale et fixe, et l'aspect de la peau.

La difficulté provient du fait que tous ces signes peuvent être modifiés par d'autres facteurs que la profondeur de l'anesthésie. Les réactions neurovégétatives, par exemple, peuvent être perturbées par une hypoxie ou une hypovolémie; la couleur de la peau peut se modifier sous l'effet d'une allergie, etc. L'interprétation du niveau d'anesthésie fait appel à des processus mentaux de jugement et à l'expérience.

L'anesthésie générale, une fois induite, peut être entretenue de différentes façons suivant la technique choisie :

- 1) si la technique est purement inhalatoire, la régulation repose sur l'ajustement de la concentration des gaz anesthésiques inhalés (N₂O, O₂, halogénés). Une baisse de la fréquence cardiaque et de la pression artérielle peuvent être de bons indices de l'approfondissement de l'anesthésie;
- 2) dans une anesthésie balancée qui associe hypnotique et morphinique, des agents spécifiques sont utilisés pour obtenir un plan d'anesthésie suffisant (coma, analgésie). Suivant les besoins de la chirurgie, le patient peut être curarisé au cours de l'entretien.

4. Le réveil

L'objectif est la réversion du coma pharmacologique, c'est-à-dire la reprise de la conscience du patient et d'une respiration spontanée autonome. Pour ce faire, l'anesthésiste supprime les agents et les gaz anesthésiques et ventile le patient à l'oxygène pur.

Lorsque le patient émerge de l'anesthésie, retrouve son tonus musculaire normal et respire spontanément, l'anesthésiste attend la reprise de la conscience normale (réponse aux ordres simples) avant d'enlever le tube endotrachéal ou le masque laryngé. Le patient est conduit en salle de réveil pour une surveillance médicale soutenue.

Le réveil constitue une autre phase critique de l'anesthésie. Un réveil rapide est généralement souhaitable. Idéalement, les effets des drogues administrées couvrent exactement la durée de l'intervention. Mais cette exigence de synchronisation est parfois difficile à réaliser : elle exige la prise en compte du temps chirurgical dans l'administration des agents anesthésiques dont la durée d'action dépend au moins autant du moment auquel ils sont administrés, des doses totales reçues par le patient que de la métabolisation spécifique du patient.

Dans la synchronisation requise de l'anesthésiste, le planning de l'hôpital introduit, jusqu'à un certain point le temps, d'horloge comme une contrainte. Cette contrainte variera suivant la pression du chirurgien, le statut de l'anesthésiste et l'ampleur du retard accumulé. Elle peut amener l'anesthésiste à prendre certains risques comme l'illustre l'exemple ci-dessous tiré des récits d'erreurs que nous avons recueillis par entretien (Nyssen & Javaux, 1996) :

"L'anesthésiste en fonction est prévu de garde pour la nuit. C'est le début de l'après-midi. L'intervention se fait sur un enfant de deux ans. L'anesthésie s'est passée sans problème, l'acte chirurgical est terminé.

Pressé par le planning hospitalier, l'anesthésiste extube un peu trop vite, au premier signe de réveil (toux sur le tube). L'enfant fait un spasme laryngé (fermeture réflexe des cordes vocales responsable d'une obstruction glottique partielle ou complète). L'anesthésiste parvient à réintuber rapidement et récupère l'incident.

NB. L'extubation doit être pratiquée soit quand le patient est endormi relativement profondément, soit après réveil complet, sinon elle augmente le risque de laryngospasme. Les enfants en bas âge sont particulièrement exposés à ces complications; il arrive qu'ils se rendorment après les premiers signes de réveil, l'anesthésiste doit alors attendre que cette phase soit passée avant d'extuber l'enfant."

L'extubation, nous l'avons vu, se fait dès que l'acte chirurgical est terminé, au moment de la reprise de la ventilation spontanée. Pour assurer une meilleure synchronisation avec le planning hospitalier, l'anesthésiste expérimenté anticipe la fin de l'acte chirurgical, diminue puis arrête les agents intraveineux et/ou gaz anesthésiques, à partir du moment où il estime leur durée d'action identique au temps nécessaire à la fin de la suture (voir Figure 14).

L'erreur d'évaluation est ici favorisée par deux facteurs : 1) la compétition des contraintes temporelles provenant de la procédure d'extubation et de l'organisation de l'hôpital l'oriente vers une mauvaise estimation de l'état d'éveil du patient, et 2) le fait qu'il s'agisse d'une opération sur enfant, cas moins habituel et pour lequel la relation entre les paramètres observables et l'état réel d'éveil peut induire en erreur.

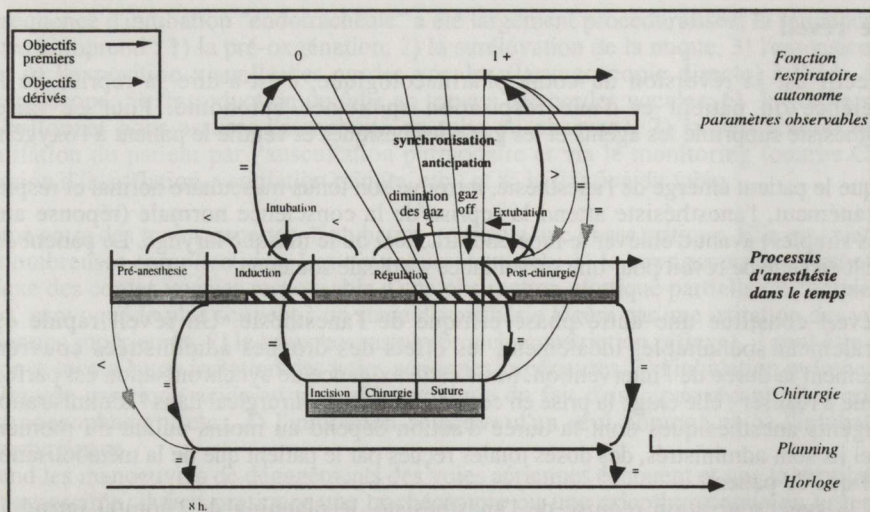


Figure 14. Le planning hospitalier introduit, jusqu'à un certain point, une contrainte de synchronisation. Pour diminuer le temps du réveil et la durée totale de l'intervention, l'anesthésiste anticipe la fin de l'acte chirurgical, diminue puis arrête les agents intraveineux et/ou gaz anesthésiques

§ 4. FACTEURS DE RISQUE

Lors de l'analyse de l'activité, il est difficile d'identifier les variables qui affectent la performance humaine. Le recueil de situations d'erreurs auprès des anesthésistes nous a permis de surmonter cette difficulté et d'explorer les différentes conditions associées à la production d'erreur.

Diverses méthodologies ont été appliquées pour analyser les récits d'erreurs recueillis par entretien. Parmi celles-ci, la construction (Nyssen, 1990), pour chaque cas, d'une structure causale hypothétique traduite graphiquement par un arbre des causes dans lequel deux types de données étaient intégrées : les variables associées décrivant les conditions dans lesquelles l'incident est apparu, les variables hypothétiques tirées d'une analyse psychologique de la situation et dont nous pensons qu'elles ont influencé son déroulement.

Une analyse factorielle (Varimax rotation dans De Keyser & Nyssen, 1991) a permis d'identifier six facteurs associés aux erreurs. Il s'agit de :

- *la gestion de l'information* (principalement saturée par une absence de communication, une visibilité et un accès au patient difficiles, un manque de monitoring adéquat);
- *la supervision* (disposition d'esprit et préjugés du novice à l'égard de l'anesthésiste senior, appel d'aide tardif, manque d'expérience et manque de contrôle permanent de l'activité);
- *la pression productive et temporelle* (qui ne recouvre pas les situations d'urgence, essentiellement saturée par des variables organisationnelles à l'origine d'un retard sur le planning et d'un empressement);
- *l'allocation d'attention* (interruption et présence d'un élément distracteur),
- *la coopération et la co-décision* (conflits d'autorité, problèmes de relations interpersonnelles face à une urgence ou lors d'une évolution de cas);
- *des contraintes liées à la tâche* (diversification du matériel, fin de semaine, fatigue).

Ces résultats sont assez conformes à ceux que l'on trouve dans la littérature présentée plus haut. Ils soulignent l'importance des distracteurs qui empêchent l'anesthésiste de se rendre compte d'un changement survenu dans l'évolution du patient ou encore l'impact de

la qualité des relations dans l'équipe. Ils montrent que la pression temporelle liée à des contraintes externes - par exemple le planning de l'hôpital - joue un rôle dans l'erreur alors que la pression temporelle découlant de la gravité de l'état du patient n'a pas le même effet. La construction des arbres de cause a mis en évidence le rôle des variations dans la généalogie des erreurs. A cet égard, nous avons distingué la variabilité inter- et intra-opération :

- *inter-opération*, la variabilité concerne toutes les modifications qui, dans l'industrie, s'apparenteraient à un changement de produit : variabilité due à la nature de l'opération, à sa durée, à l'instrumentation en salle d'opération, aux équipes de travail, à l'effet et la durée d'action des drogues employées, etc.;
- *intra-opération*, elle touche aux aléas survenant pendant l'acte chirurgical : défaillance de l'instrumentation, aggravation subite de l'état du patient, opération plus délicate ou plus longue que prévue, etc.

Ces sources distinctes de variabilité ouvrent la porte à différents types d'erreurs. La variabilité inter-opération exige un ajustement du schéma d'action habituel. Non détectée, la variation peut être à l'origine de ratés. Un exemple de ce type d'erreur est donné dans le récit suivant (De Keyser & Nyssen, op.cit.) :

"L'anesthésiste est en 2ème année de formation; c'est sa première intervention de la matinée, et il est en déplacement. Il n'a pas l'habitude du service et, pressé par le planning, il ne vérifie pas les monitoring. Ce faisant, il déroge à la procédure de sécurité prescrite et se fie à ses connaissances schématiques des installations.

Il lance l'anesthésie comme il le fait d'habitude : tourne de façon automatique la commande de droite du respirateur pour ouvrir l'oxygène. Très vite, il s'aperçoit que la couleur du patient passe du rose au gris. Il s'inquiète, passe le respirateur en revue et détecte qu'il est branché sur le protoxyde d'azote pur. L'anesthésiste rectifie l'erreur. Aucune conséquence."

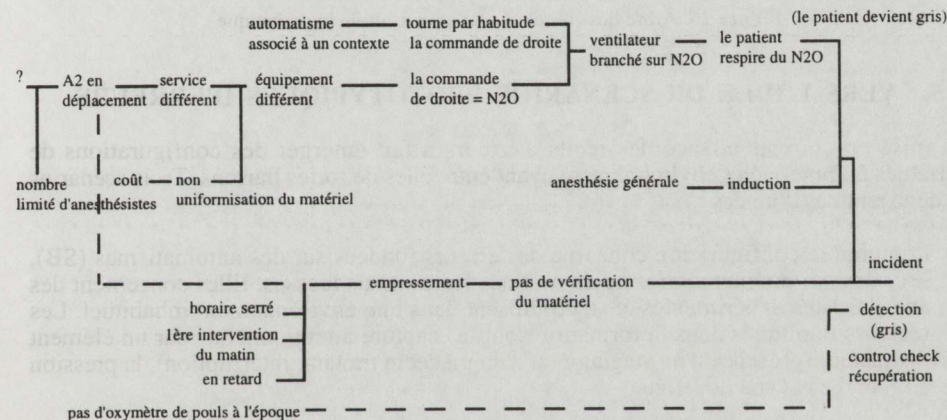


Figure 15. Arbre des causes ou structure causale hypothétique

En revanche, dans la variabilité intra-opération, c'est la dynamique de la situation qui exige une adaptation du schéma d'action planifié. Une des erreurs fréquemment associée à cette source de variabilité est l'erreur de fixation. Le récit d'erreur ci-dessous (De Keyser & Nyssen, op.cit.) l'illustre bien. La fixation comportementale est ici favorisée par l'absence de visibilité de l'aggravation de l'état du patient. L'acte chirurgical plus long et plus compliqué que prévu augmente le risque opératoire dont l'évaluation préopératoire se base sur une chirurgie prévue limitative ou de confort.

"L'anesthésiste est en 3ème année de formation; le senior est dans la salle d'opération voisine. Le patient, un homme âgé d'environ 70 ans, bronchiteux chronique, est dans un mauvais état général et est opéré pour une tumeur à la face. Il s'agit d'une chirurgie de confort, la tumeur étant trop développée pour être guérie. La durée estimée au planning est de trois heures, l'acte chirurgical est

prévu limitatif. Le cas se prolonge plus de huit heures sans que l'anesthésiste n'alerte les chirurgiens de l'évolution ou de l'accroissement du risque pour le patient. L'intervention demande que le patient, jusque là installé sur le dos, soit mis sur le côté. Au cours d'une mobilisation du patient, le tube endotrachéal s'enfonce et le patient n'est plus ventilé que d'un seul poumon. Le patient saigne abondamment à la face. Fin d'après-midi, l'alarme de l'électrocardiogramme se déclenche au moment où l'anesthésiste parle du cas avec son superviseur. Tous deux accourent et détectent des troubles d'oxygénation avec bradycardie. La procédure de réanimation est mise en place, on parvient à récupérer le coeur. Le patient gardera néanmoins des séquelles."

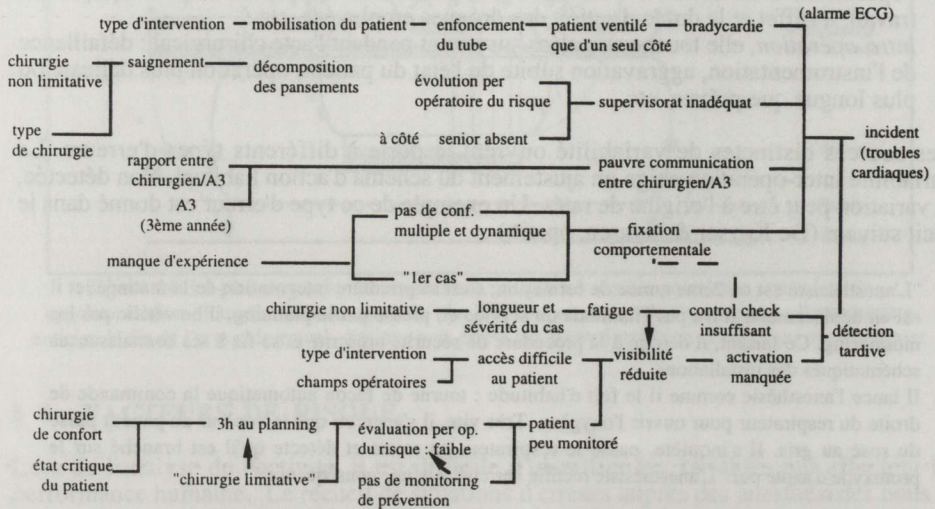


Figure 16. Arbre des causes ou structure causale hypothétique

§ 5. VERS L'IDÉE DE SCÉNARIOS PROTOTYPIQUES D'ERREURS

La mise en correspondance des récits d'erreurs a fait émerger des configurations de variables homme-tâche-environnement ayant entre elles de fortes liaisons. Trois scénarios se dégagent des données :

- 1) la première configuration concerne des erreurs fondées sur des automatismes (SB), les ratés qui prennent la forme de routines fortes, mais fausses. Elles concernent des anesthésistes expérimentés et se produisent dans une environnement inhabituel. Les facteurs impliqués dans la formation sont la "capture attentionnelle" par un élément distracteur (présence d'un stagiaire ou d'un médecin traitant, interruption), la pression temporelle et l'état de fatigue;
- 2) la deuxième configuration concerne des erreurs fondées sur des règles (RB). Ce sont des évaluations erronées de l'état du patient faites par des anesthésistes expérimentés. Elles proviennent d'une mise en correspondance inadéquate entre les signes traduisant l'état du patient et les composants situationnels de règles familières applicables à des cas inattendus. Les facteurs associés sont la pression temporelle, la gestion de l'information, et la pression productive et temporelle;
- 3) la troisième configuration illustre des erreurs fondées sur des connaissances conceptuelles (KB). Elles prennent la forme d'erreurs de planification, plus spécifiquement de non ajustement du schéma d'action à la situation changeante : erreurs de fixation. Elles concernent en majorité des anesthésistes stagiaires. Les facteurs associés sont la gestion de l'information, la supervision et la structure de l'équipe.

Ces configurations mettent en évidence trois types d'erreurs, en les associant chacun à l'un des niveaux d'activité de Rasmussen et aux exigences des circonstances présentes. Elles reconnaissent la relation critique entre des facteurs de cause d'origine intrinsèque et extrinsèque dans la production d'erreurs.

Ce résultat nous a conduit à la recherche de l'hypothèse directrice qui oriente cette thèse et aux études que nous avons réalisées pour l'éprouver.

Partie II : Contribution à l'étude des mécanismes de production d'erreurs dans les systèmes complexes

Interventions réalisées dans le secteur de l'anesthésie

Chapitre 5

HYPOTHÈSE DIRECTRICE ET APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

L'hypothèse directrice de ce travail est que la formation d'une erreur se caractérise, dans un système complexe, par l'apparition "d'associations sélectives" entre variables se référant au système en tant que tel, à ce que les unités homme-tâche-environnement font ensemble. Cela signifie que l'explication causale ne saurait s'appuyer sur l'analyse des composants du système considérés isolément, mais bien sur leur relations. Dès lors, il s'agit d'acquérir des informations sur ces relations et de les organiser pour tenter d'en dégager des configurations de base communes aux systèmes complexes.

Pour mettre à l'épreuve notre hypothèse, deux études ont été réalisées : l'une sur le terrain dans une situation réelle de travail et, l'autre, sur simulateur dans la situation simulée de façon pleine échelle.

Dans les deux situations, la tâche est complexe : elle consiste à réaliser une anesthésie dont les trois composantes essentielles sont la perte de conscience, l'analgésie et l'immobilité. Le stress, le niveau de risque élevé, la charge de travail, la dynamique temporelle, la dimension collective du travail, l'évolution technologique et, depuis peu, la pression sociale dont elle est l'objet, font de l'anesthésie un système complexe particulièrement confronté aux mécanismes de prise de décision sous incertitude et en urgence.

L'étude de terrain vise à acquérir des connaissances quant aux relations qui existent entre la performance de l'homme, la tâche et les caractéristiques du milieu. Ces relations seront appréhendées à travers une analyse de situations problèmes recueillies sur le terrain en collaboration avec le département d'Anesthésie-Réanimation du Centre Hospitalier Universitaire de la région liégeoise.

L'attention portée aux situations problèmes dans une étude sur l'erreur humaine amène à considérer celle-ci à la fois sous l'angle de son origine et sous l'angle de ses effets, ce qui nous permettra de cerner de plus près la dynamique de la causalité et l'intervention des facteurs à la fois extrinsèques et intrinsèques.

L'étude à partir de la simulation de la tâche permet d'étudier plus précisément certaines de ces relations, en particulier dans l'activité des individus, selon leur degré de formation, l'influence de la complexité de la tâche sur la performance humaine.

Ces relations seront appréhendées à partir d'une comparaison de l'activité de deux groupes de sujets anesthésistes en formation (2-3ème année et 4-5ème année), dans cinq conditions qui correspondent à cinq scénarios d'accident d'anesthésie de complexité différente.

Il va de soi que l'étude de l'erreur humaine dans le domaine médical soulève des difficultés méthodologiques importantes du point de vue du recueil des erreurs, de l'évaluation des comportements, des phénomènes de stress, et de la confidentialité des résultats. Dans ces conditions, ce type d'étude doit se développer par des approches longues.

Dans notre approche, plusieurs méthodologies ont été utilisées au cours d'étapes successives, chacune apportant les informations nécessaires à la préparation et à la justification de la suivante. La chronologie de la recherche se résume comme suit :

<i>Phases</i>	<i>Objectifs</i>	<i>Sources de données</i>	<i>Durée</i>
étude de terrain préliminaire	- exploratoire - analyse de l'activité : compréhension du système (complexité et interactions) - identification des facteurs de risque - hypothèse de configurations prototypiques	- observations naturelles < tendances < comportementales < verbalisations concurrentes - recueil des erreurs par entretien	1 an
relevé systématique des situations problèmes par un expert du domaine	- création d'une base de données	- passation du questionnaire	2 ans
réunions de "sécurité"	- extraction du vécu associé à l'incident et extraction de l'expertise	- présentation verbale - discussion collective	2 ans
étude sur simulateur pleine échelle	- étude des démarches des anesthésistes plus ou moins expérimentés et de leurs implicites en situation de crise - influence de la complexité de la tâche sur la performance humaine	- briefing - simulation avec enregistrement vidéo - debriefing	2 ans

Tableau 8. Chronologie de la recherche

Chapitre 6

ÉTUDE DE TERRAIN : ANALYSE DES SITUATIONS PROBLÈMES

Rappel de l'objectif de l'étude

L'étude de terrain a pour objectif premier de mettre à l'épreuve l'hypothèse selon laquelle l'erreur humaine se caractérise, dans les systèmes complexes, par des associations de variables se référant au système en tant que tel, à ce que les unités homme-tâche-environnement font ensemble.

L'étude préliminaire comprenait le recueil, par entretien, de récits d'erreur définie comme telle par son auteur. Cette technique présente plusieurs limites. Les récits ainsi recueillis comportent moins d'informations que celles qui sont potentiellement disponibles sur le terrain. Plusieurs auteurs (Ericsson & Simon, 1980; Brinkman, 1990) ont traité de la validité de l'usage des protocoles verbaux en psychologie. Ils ont souligné les sources de distorsions possibles liées par exemple aux limites de la mémoire, au biais de rétrospection, ou au caractère automatique ou conscient du comportement décrit. En outre, il est clair que les situations d'erreurs ainsi relevées ne couvrent pas la variété des incidents du monde réel. C'est pourquoi, pour progresser dans la connaissance des relations entre la performance humaine, la tâche et le milieu, nous avons préféré multiplier les sources de données et partir de la notion de situation-problème.

Une situation problème est une situation non souhaitée, non désirée qui a posé des difficultés à l'anesthésiste. Il existe des situations problèmes qui n'entraînent pas de conséquence pour le patient - c'est heureusement le plus grand nombre de cas. Et il existe des situations problèmes sans erreur humaine. Mais il faut remarquer qu'en anesthésie, il est toujours possible de retrouver, en remontant dans l'enchaînement des causes, un facteur humain. Le terme de situation problème a également l'avantage de ne pas avoir la connotation négative associée à celui d'erreur humaine.

§ 1. MÉTHODOLOGIE

1. Modalités de recueil des données

L'étude de terrain a été réalisée au Centre Hospitalier Universitaire de Liège (CHU), en collaboration avec le département d'Anesthésie-Réanimation. Plus de 16 250 anesthésies générales, locales ou loco-régionales y sont pratiquées chaque année, dans des conditions très diverses (anesthésies effectuées pour des interventions chirurgicales, des explorations radiologiques ou endoscopiques, des soins post-opératoires, etc.).

Malgré son intérêt évident, le recensement exhaustif de toutes les situations problèmes posait des problèmes difficiles, sinon impossibles à résoudre. Aussi a-t-il été décidé de retenir quatre critères pour la 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.

La sélection des cas a été effectuée par un anesthésiste senior lors des prestations quotidiennes au CHU. Elle porte aussi sur les cas rapportés par les anesthésistes en formation à l'extérieur. Les données de cette étude couvrent une période de 16 mois : de janvier 1995 à avril 1996.

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

Le questionnaire

Sur base des résultats de l'étude préliminaire, un questionnaire a été construit pour recueillir des renseignements individuels pour chaque situation problème retenue (voir annexe). Il devait être rempli, sans délai, par l'anesthésiste ayant vécu la situation. Il comprend :

- les caractéristiques socio-démographiques du patient (sexe, âge);
- les données morphologiques (poids, taille);
- les antécédents du patient;
- les prises de médicaments avant l'intervention;
- les examens préopératoires, cliniques;
- la nature de l'affection motivant l'acte;
- l'existence et la nature des affections associées;
- l'appréciation du risque;
- la nature de l'acte opératoire;
- les caractéristiques de l'anesthésie depuis la prémédication jusqu'au réveil (type d'anesthésie, agents anesthésiques utilisés, mode de contrôle des voies aériennes, type de ventilation, existence d'un monitoring, d'une médication peropératoire, caractéristiques des intervenants);
- le récit détaillé de la situation problème;
- les circonstances de détection, de diagnostic et de conduite de traitement;
- l'appréciation personnelle des facteurs de cause, répertoriés sur base des résultats de l'étude préliminaire;
- le vécu associé à la situation problème et ses conséquences sur la santé de l'anesthésiste.

L'originalité de ce questionnaire est qu'il couvre à la fois les défaillances actives et les défaillances latentes. Habituellement, l'emphase est mise sur les défaillances actives (ex. gestes posés par l'anesthésiste). Celles-ci sont faciles à identifier. Par contre, les défaillances latentes qui ont mené l'anesthésiste à agir de cette façon dans les circonstances sont plus difficiles à relever car c'est le système lui-même qu'il faut analyser.

Les réunions de "sécurité"

Des réunions de "sécurité" ont été organisées mensuellement au sein de l'organisation pour permettre à l'anesthésiste ayant vécu la situation de présenter la situation problème et d'en discuter en présence du département d'Anesthésie-Réanimation.

Ces réunions ont joué un rôle déterminant pour l'évaluation de la performance: elles nous ont permis d'apprécier, suivant l'approche de l'observateur neutre (cfr. chapitre 1, § 2),

le degré d'adaptation du comportement à la situation à travers le flux des communications entre les anesthésistes experts et ceux en formation.

Aux Etats-Unis, ces réunions, dites de "morbidity-mortality", sont obligatoires et durent environ une heure par mois. La discussion est essentiellement à visée normative. Elle met l'accent sur les événements négatifs et sur le rôle des personnes. Cette façon de faire est culpabilisante et ne stimule ni l'enthousiasme ni la participation.

La philosophie des réunions organisées au CHU de Liège est complètement différente. L'accent est mis sur le processus plutôt que sur les individus, en partant de l'idée que toute situation problème est le produit d'une multitude de facteurs contextuels, organisationnels et individuels qu'il faut chercher à identifier si l'on veut améliorer la qualité des soins. L'individu se sentant valorisé participe plus volontiers et cherche à exposer les faits de façon la plus complète possible.

Ce protocole d'enquête a nécessité, pour sa mise en place au sein de l'institution hospitalière, la collaboration étroite, qui s'est instaurée à tous les niveaux, avec le département d'Anesthésie-Réanimation. Il faut souligner en particulier le rôle actif du chef de service et du senior responsable de la collecte des données sur le terrain, pour motiver les anesthésistes à rapporter les situations problèmes vécues. Ceux-ci ont participé aussi de manière très active à l'enquête puisqu'ils devaient, eux-mêmes, remplir le questionnaire et présenter la situation lors des réunions de "sécurité".

2. Analyse des données

Différentes perspectives d'analyse des situations problèmes ont été nécessaires pour capturer les relations qui existent entre la performance humaine, la tâche et le contexte :

1. une analyse descriptive : l'ensemble des données des questionnaires a été encodé puis traité par informatique en vue de caractériser d'un point de vue descriptif les facteurs de risque et d'évaluer le rôle de chaque élément du système homme-tâche-environnement dans la production d'une situation problème;
2. une analyse psychologique : un certain nombre d'activités cognitives jugées critiques par l'anesthésiste ont été dégagées du déroulement de chaque situation problème, en référence au modèle de prise de décision développé par Rasmussen (1987) et exposé au chapitre 1 théorique;
3. une analyse systémique : en articulant les résultats précédents, on a tenté d'identifier des configurations prototypiques des éléments de base de production d'erreurs dans les systèmes complexes.

Ces trois étapes ne sont pas indépendantes. Elle se succèdent en donnant lieu à un enrichissement dans notre compréhension des éléments significatifs du système qui conditionnent la performance humaine.

§ 2. RESULTATS

De janvier 1995 à avril 1996, 35 situations problèmes ont été recueillies. Cinq d'entre elles ont dû être écartées du protocole car une des trois sources de données manquait. Les résultats sont présentés et discutés selon le niveau auquel se place l'analyse.

1. Analyse descriptive

Les premiers résultats exposés ici concernent les conditions de l'incident, incluant les caractéristiques liées aux sujets anesthésiés, aux actes effectués et à l'environnement de travail et les principaux facteurs de risque.

Il importe de souligner que ces résultats fournissent un ensemble de faits singuliers et de configurations singulières de faits : ils ne nous disent pas la fréquence avec laquelle se reproduisent ces faits et ces configurations dans le monde réel. La discussion se fera alors par rapport aux données issues de la littérature présentées au chapitre précédent.

1.1. Caractéristiques du patient

Les situations problèmes recensées concernent 18 hommes et 12 femmes. 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. Le tableau 9 reprend la répartition des patients selon l'âge, le sexe et la classe ASA.

La majorité des incidents recensés concerne des patients relativement en bonne santé : 33% des sujets n'ont pas d'autre affection que celle qui motive l'intervention et 43 % appartiennent à la classe 2. Seulement 17% des patients ont un indice de gravité égal à 3, qui correspond à une perturbation sévère d'une grande fonction vitale et 7% couraient un risque imminent au moment de l'intervention.

Ce résultat diffère de ceux obtenus par Vourc'h (1983) où 40 % des accidents et 73 % des décès observés surviennent chez des sujets ayant un indice de gravité ≥ 3 alors qu'ils ne représentent que 6 % des sujets anesthésiés, selon cette enquête.

Cette différence de résultat pourrait provenir du mode de recueil de données. Dans notre étude, il a été réalisé rétrospectivement par un anesthésiste senior dans le cadre d'une recherche sur l'erreur humaine. Il n'est pas surprenant, dans ces conditions, que les cas rapportés concernent davantage des patients ayant un indice de gravité faible, cas pour lesquels la contribution de l'anesthésie paraît d'autant plus forte.

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	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau 9. Répartition des situations problèmes selon l'âge, le sexe et la classe ASA

1.2. Caractéristiques des actes effectués

87 % des situations problèmes recensées concernent des anesthésies générales réalisées pour des interventions chirurgicales. Ce résultat est à l'image des données obtenues par Vourc'h sur la pratique anesthésique en France comme le montre le tableau 10.

	Situations problèmes (%)	Anesthésies en France Vourc'h (%)
Anesthésie générale	87	93.3
Anesthésie régionale	7	4.1
Sédation	3	2.3
Autres (locales, etc.)	3	0.3

Tableau 10. Répartition des situations problèmes (%) selon la technique anesthésique

En ce qui concerne le monitoring utilisé, toutes les anesthésies recensées sont pratiquées sous surveillance de l'ECG par cardioscope, d'une pression artérielle sanglante et d'un saturomètre. Un pourcentage très faible de patients (4 %) a bénéficié d'un monitoring hémodynamique supplémentaire : pression artérielle par voie sanglante, pression veineuse centrale, pression artérielle pulmonaire. Ceci peut s'expliquer par les caractéristiques majoritairement ASA 1 et 2 de la population recensée, nécessitant a priori un monitoring moins perfectionné.

1.3. Gravité des situations problèmes

Sept situations ont une issue fatale dont un coma chez un enfant de 2 mois. La figure 17 illustre la répartition des décès selon l'âge et selon la classe ASA du patient.

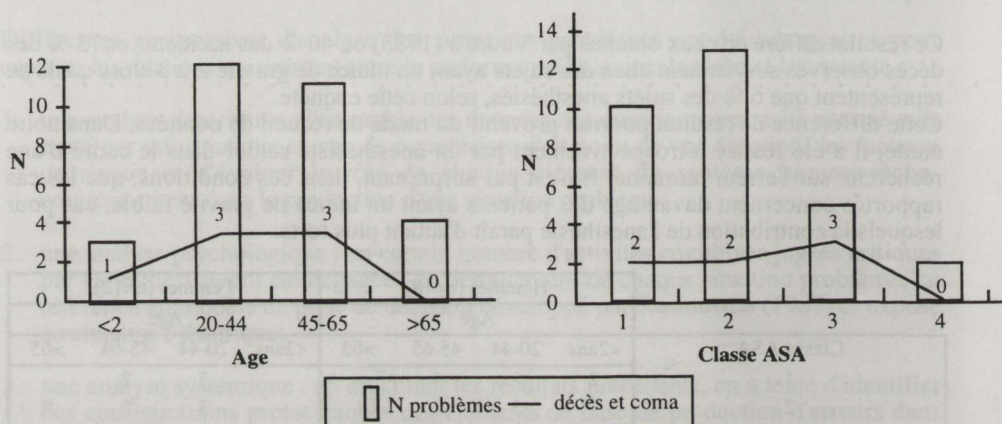


Figure 17. Fréquence des situations problèmes et des décès selon l'âge et selon la classe ASA

On peut se demander si la qualification des intervenants influence l'issue du problème observé. Le test du χ^2 utilisé pour comparer les risques de décès en fonction de la formation des anesthésistes ne montre pas de différence significative. Cette analyse doit être envisagée avec réserve, compte tenu du nombre limité de décès. Mais, Vourc'h, dans son enquête sur 268 accidents, n'avait pas non plus observé d'influence de la qualification sur le risque anesthésique.

Degré de formation	Fréquence des situations	Appel d'aide	Décès
Stagiaires			
2ème année	5	4	1
3ème année	7	5	3
4ème année	6	4	-
5ème année	2	-	1
Seniors	2	1	-
Plusieurs personnes	8	3	2

Tableau 11. Intervenants dans l'anesthésie, appel d'aide et décès ou coma.

1.4. Composition de l'équipe médicale

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 anesthésies sont effectuées par la même personne de l'induction jusqu'au réveil; toutefois, on compte 17 appels d'aide pendant les interventions.

Endroit de survenue	Nombre de situations problèmes	Nombre de décès ou coma
Salle d'opération	22	5
Salle de réveil	5	1
Service ou autre	3	1

Tableau 12. Répartition des situations problèmes et de leur issue selon l'endroit de survenue

1.5. Conditions d'urgence

Quelle que soit leur nature, la grande 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 et, contrairement à l'idée courante que la notion d'urgence est très liée à la gravité des accidents, parmi les 7 décès ou comas recensés, un seul est associé aux conditions d'urgence et concerne un patient ayant un indice de gravité égal à 1.

1.6. Moment de survenue

Sur 30 situations recensées, 24 problèmes sont survenus pendant la période opératoire tandis que les autres se produisaient pendant les 24 h suivantes. Contrairement aux données sur la sécurité en anesthésie, le réveil n'apparaît pas ici comme une phase critique. Le pronostic des situations problèmes est différent selon le moment de survenue, la période opératoire entraînant moins fréquemment le décès (% perop. : 0.20; % postop. : 0.33).

Moments de survenue	Nombre de problèmes	Décès et comas
Peropératoire		
induction	6	2
intubation	5	-
à l'occasion ou non d'un geste anesthésique	5	1
à l'occasion d'un geste chirurgical	6	2
réveil	2	-
Total	24	5
Postopératoire	6	2

Tableau 13. Fréquence des situations problèmes, des décès et des comas anesthésiques selon le moment de survenue

1.7. Heure de l'anesthésie

La majorité des situations recueillies concernent des anesthésies pratiquées le matin. La première anesthésie de la journée pour 53 % des cas, la 2ème ou 3ème anesthésie pour 37 %. Parmi les sept décès recensés, 4 sont survenus au cours de la 1ère intervention alors que les anesthésistes travaillaient depuis moins d'une heure. Bien que les interventions programmées fin d'après midi ne représentent que 10 % des situations recensées, 2 décès sont survenus pendant cette période.

Ces résultats divergent de ceux obtenus par Vourc'h où le taux de complications est le même que les actes soient effectués le matin ou l'après midi. Par contre, on peut les rapprocher des observations réalisées sur le travail de pause, soulignant le risque associé au changement d'équipe (Faverge, 1970; Cooper et al., 1984).

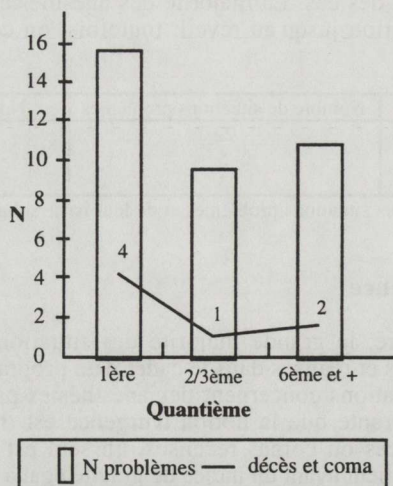


Figure 18. Répartition des situations problèmes et des issues selon le début de l'intervention

Vourc'h avait également montré l'augmentation considérable de la fréquence d'accident avec la durée de l'intervention, ce qui paraissait logique dans la mesure où la durée reflète principalement la sévérité de l'acte. Sur ce point, nos résultats sont aussi différents. La moitié des interventions recensées (n=15) est prévue de courte durée : entre 1h et 2h. Cette différence met en avant, une fois de plus, le risque associé aux opérations considérées comme simples et entourées de conditions standards de sécurité.

1.8. Symptomatologie prédominante

Les problèmes recensés recouvrent les accidents habituels liés à l'anesthésie et ne sont pas différents dans leur mode de survenue de ceux publiés dans la littérature.

Les deux types de problèmes les plus fréquents sont de nature respiratoire (n=15) et cardio-vasculaire (n=9). Ces deux causes ont la gravité la plus importante puisque l'on note 3 décès pour la première cause et 2 décès et 1 encéphalopathie postanoxique pour la seconde cause.

Trois chocs anaphylactiques (n=3) ont été observés au cours de notre enquête, dont un ayant une issue fatale. Le trasytol et l'augmentin ont été clairement signalés comme cause. Un doute persiste entre le céfacidal et le curare pour une des situations.

Un cas d'hyperthermie maligne a été signalé chez un garçon noir de 3 mois. Deux autres situations ont été observées : un cas de polyurie chez un patient diabétique et une hémorragie importante en cours d'intervention abdominale.

Il est intéressant de comparer ces résultats par rapport à ceux de Vourc'h. Sur les 256 accidents recensés, les accidents d'origine cardiovasculaire sont, dans cette enquête, les plus nombreux : 157 contre 92 accidents d'origine respiratoire. En revanche, Vourc'h a également noté la fréquence importante des chocs anaphylactiques observés chez 31 patients.

	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	-

Tableau 14. Typologie des problèmes observés

1.9. Facteurs associés

Le tableau 15 présente la fréquence des facteurs associés aux situations problèmes. Pour répertorier ces facteurs, nous nous sommes basés sur l'analyse des récits d'erreurs réalisée lors de l'étude préliminaire (De Keyser & Nyssen, 1993). Ils sont assez proches de ceux déjà trouvés dans la littérature, notamment par Gaba (1991).

Facteurs associés	n (réponses)
manque d'expérience	28
manque de communication	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

Tableau 15. Fréquence des facteurs associés

L'analyse du tableau fait apparaître l'importance de trois facteurs : le manque d'expérience, le manque de communication au sein de l'équipe et la fatigue. Le manque de communication entre chirurgien et anesthésiste intervient 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. Dans d'autre cas, le chirurgien n'informe pas ou de façon insuffisante, l'anesthésiste sur les difficultés pratiques peropératoires qu'il rencontre. La supervision inadéquate est citée dans 16 situations. Une des situations problèmes concerne un choc hypovolémique avec infarctus aigu du myocarde. Il apparaît que l'anesthésiste stagiaire n'a pas transmis la notion d'urgence ni au superviseur informé de la situation par téléphone, ni au service de transfusion (délai d'obtention du sang 1h30) et a appelé à l'aide quand la situation était devenue irrécupérable. Les facteurs liés à l'équipement (insuffisance, non uniformité, encombrement, etc), sont peu cités par rapport à l'étude préliminaire et aux données issues de la littérature. Ce résultat s'explique par la mise à niveau entamée par les hôpitaux de l'équipement

d'anesthésie et des appareils de monitoring destinés à la surveillance des patients, à la suite des standards de sécurité recommandés d'abord par le département d'anesthésiologie de la Harvard Medical School (Eichhorn et al., 1986) et ensuite par le comité belge pour la sécurité en anesthésie (Belgian Anesthesia Patient Safety Steering-Committee, 1989) . On ne retrouve pas non plus les facteurs habituellement associés aux *ratés* tels que la présence d'un distracteur et les interruptions dans le travail; ce qui laisse présager d'autres types d'erreurs d'un point de vue psychologique.

1.10. Attribution de la causalité

Bien que l'attribution de la causalité d'un accident soit sous l'influence inconsciente de biais que nous avons mis en évidence dans la partie 1 théorique, la question posée à l'individu ayant vécu l'accident n'en reste pas moins intéressante, en ce qu'elle témoigne de la façon dont il a vu s'enchaîner les événements.

Comme on pouvait le prévoir compte tenu de l'influence du biais de l'erreur d'attribution fondamentale sur le jugement, c'est un facteur extérieur qui échappe à son contrôle (le terrain, autrement dit l'état préopératoire du patient), que l'anesthésiste mentionne le plus souvent comme responsable de la situation problème qu'il a vécue (test du χ^2 , $p<0.05$). Or, 76 % des situations problèmes recensées concernent des patients relativement en bonne santé de classe ASA 1 et 2. A l'inverse, la complexité du cas obtient le moins de réponses (test du χ^2 , $p<0.05$). L'anesthésiste est signalé 14 fois, ce qui reflète l'intensité du sentiment de responsabilité que l'on peut percevoir chez eux.

L'analyse du tableau fait également apparaître que le chirurgien est cité 8 fois. Ce résultat insiste sur l'influence de l'acte chirurgical sur l'activité de l'anesthésiste et témoigne de la volonté des anesthésistes à rechercher une responsabilité partagée.

Les fréquences élevées de la circulation de l'information et de l'organisation du travail concordent avec les résultats de l'analyse précédente des facteurs associés.

	<i>n (réponses)</i>
Terrain du patient	21
Anesthésiste	14
Information management	13
Organisation du travail	12
Chirurgien	8
Complexité du cas	5
Surcharge de travail	3

Tableau 16. Attribution de la causalité par l'anesthésiste ayant vécu la situation problème

1.11. Discussion

Comme nous l'avons souligné précédemment, les résultats présentés ci-dessus doivent être interprétés avec prudence. En effet, il faut garder à l'esprit d'une part, le nombre relativement restreint des cas sur lesquels portent nos analyses et, d'autre part, le fait que les critères utilisés pour la sélection des situations problèmes sur le terrain ont pu favoriser le recueil des problèmes graves comme le suggère la fréquence élevée des situations sélectionnées dont l'issue a été défavorable (1/3 095) par rapport aux chiffres issus de la littérature (1/250 000). Mais il faut rappeler que les données de cette étude couvrent également les cas rapportés par les anesthésistes en formation à l'extérieur. Le dénominateur devrait dès lors tenir compte du total des anesthésies pratiquées par les hôpitaux concernés.

Malgré cette limite, ce matériel constitue un point de départ essentiel pour comprendre les conditions de l'activité et pour analyser les erreurs issues éventuellement de cette activité.

Le résultat net qui ressort des données est le risque associé aux interventions relativement mineures, considérées à risque faible. 76 % des situations problèmes recensées concernent des patients de classe ASA 1 et 2 et la moitié des interventions est prévue de courte durée (entre 1h et 2h). 86% des anesthésies se font dans la cadre d'un programme prévu, dans la salle habituelle (80 %) et avec l'équipe habituelle (70 %).

On observe là une discordance avec les données issues de la littérature. Dans l'enquête de Vourc'h, le taux d'accident est fonction de l'état de santé du patient : il passe de 0.5 % pour les sujets ASA 1, à 3 % en ASA 2, 7.2 % en ASA 3, pour atteindre 18.7 % chez les patients ASA 4 et 5. La fréquence des accidents est aussi multipliée par 3 en cas d'urgence et s'accroît considérablement avec la durée de l'intervention.

Dans une étude récente, Sanborn et al. (1996) ont obtenu les mêmes tendances en recourant à un système d'enregistrement automatique des variables monitorées du patient (FC, T, SatO₂). Etait considérée comme un incident, dans cette étude, toute variation dépassant certaines limites physiologiques : FC >130 ou < 45Bpm pendant au moins 5 min., SatO₂ < 90% pendant au moins 5 min., et T >195 ou < 70 mmHg pendant au moins 10 min. Sur 5 454 anesthésies enregistrées, 434 incidents ont été identifiés. Comme dans l'enquête de Vourc'h, la fréquence des incidents augmente significativement à la fois avec le statut du patient et en cas d'urgence.

Comment expliquer cette différence de résultats ? Le mode de récolte des données et la taille de l'échantillon en sont peut-être la cause. Mais, du point de vue de la prévention, ce biais perd de son importance. Au contraire, il attire l'attention sur un sous-groupe de situations problèmes très sensibles aux yeux des anesthésistes et dont il importe d'autant plus de connaître les mécanismes de production d'erreur que le patient est relativement en bonne santé et les conditions de travail habituelles.

La question qui s'impose est celle des facteurs qui contribuent à rendre problématique une situation considérée a priori peu risquée et simple ?

Outre les anesthésistes, le public dans son ensemble est sensible à cette question, en particulier les compagnies d'assurance dont les montants d'indemnité sont fonction de l'activité professionnelle et de l'état de santé du patient. La fondation américaine pour la sécurité du patient a récemment attiré l'attention des chercheurs sur cet aspect de la prévention (APSF, 1997; Eichorn, 1993).

L'analyse des facteurs associés montre le rôle de l'organisation du travail dans les situations problèmes recensées. Le manque d'expérience, le manque de communication et la fatigue sont fréquemment cités comme facteurs associés. Plusieurs auteurs ont obtenu les même résultats, notamment Cooper et al. (1982); Gannon (1991) et Helmreich & Davies (1996). Il s'agit de facteurs latents que l'on peut raisonnablement supposer présents bien avant l'incident.

Le premier facteur - le manque d'expérience - doit être mis en relation avec la mission éducative que remplissent certains hôpitaux. La formation de l'anesthésiste repose sur un enseignement théorique, mais surtout sur un apprentissage "sur le tas" où le stagiaire acquiert lentement les connaissances et le savoir-faire 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. Certains hôpitaux aujourd'hui misent sur la récupération des incidents d'anesthésie par une meilleure organisation, en réseau lié par "bip sonore" entre anesthésistes seniors et stagiaires. La possibilité d'appel à un anesthésiste chevronné, pouvant être sur le lieu de l'incident en moins d'une minute, renforce considérablement la sécurité de l'intervention. Dans le cas de la prévention, l'accent est mis sur la formation à la gestion des crises (Gaba et al., 1994) basée sur les stratégies de récupération, individuelles ou collectives (appel d'aide). En effet, l'apprentissage de la reconnaissance et de la régulation de l'incident est aussi important que la prévention. Les simulateurs apportent la possibilité de cette formation pratique : en recréant

l'environnement d'une salle d'opération (patient, matériel, équipements d'anesthésie, etc.), ils confrontent l'anesthésiste à des incidents à réguler en temps réel.

Le deuxième facteur - le manque de communication - provient du monde extérieur. Il est lié au caractère collectif de l'activité de l'anesthésiste. L'analyse des situations recensées met en évidence un manque de communication fonctionnelle entre les membres de l'équipe opératoire, et surtout entre chirurgien et anesthésiste, associé à un manque d'activation face à une situation problème.

Au sein du corps médical, l'indépendance et la liberté thérapeutiques sont perçues comme des principes indiscutés. Se pose dès lors le problème de la coopération et de la régulation interindividuelle au sein de l'équipe. Ce n'est que depuis 1975 (Hennau-Hublert, 1987) que l'anesthésiste a cessé légalement d'être l'aide du chirurgien, soumis au même titre que les autres auxiliaires du bloc opératoire à l'autorité et à la surveillance de ce dernier, pour devenir le *coéquipier* du chirurgien. Malgré cette reconnaissance, nos résultats font apparaître que des rapports d'autorité (n=14) subsistent de façon latente, principalement entre anesthésiste et chirurgien de degrés de formation différents.

Lorsqu'il s'agit de toucher aux habitudes de travail et aux rôles de chacun, il est utopique d'attendre une amélioration en créant simplement des canaux de circulation de l'information. Faire circuler l'information n'est possible que si tous les acteurs en présence sont sensibilisés aux problèmes que soulève un manque de communication. Les programmes efficaces devraient donc incorporer toute l'équipe, incluant le personnel chirurgical, infirmier et technique, et non seulement les anesthésistes. Ce type de programme a été envisagé au Centre Hospitalier Universitaire de Liège dans le cadre des réunions de sécurité ouvertes à l'ensemble de l'équipe opératoire, mais la participation des différents membres rencontre des difficultés importantes à la fois organisationnelles, économiques et culturelles.

Le troisième facteur - la fatigue - est évidemment lié à la présence de l'être humain dans les systèmes complexes. Il est fréquent que des anesthésistes travaillent douze heures d'affilée, sans compter les gardes du soir et du week-end. La possible baisse de vigilance associée à des conditions de travail que l'industrie hésiterait à adopter dans des postes à risques, préoccupe aujourd'hui les chercheurs (Zelcer, 1981; Weinger & Englund, 1990). Il faut rappeler cependant que la moitié des interventions recensées sont prévues de courte durée, entre 1h et 2h. Krueger (1989), avons-nous vu, a montré qu'on pouvait s'attendre à une baisse de vigilance après 25-35 min. d'attention soutenue. Mais il ne faut pas oublier que la fatigue n'entraîne pas forcément une diminution d'efficacité. Divers mécanismes peuvent intervenir : le sujet fatigué peut exécuter la tâche de manière différente et moins coûteuse (par exemple, en privilégiant la précision aux dépens de la vitesse); il peut utiliser des stratégies cognitives plus automatiques mais moins efficaces, qui permettent d'éviter une chute brutale de la performance. Lorsque le sujet fatigué parvient à maintenir son niveau de performance à un coût cognitif plus élevé, on observe un accroissement du sentiment de fatigue (Wilkinson, 1962).

Cohen (1993b) a proposé récemment un modèle de la fatigue basé sur une baisse de la régularité des performances et non pas sur une baisse des performances elles-mêmes. La fatigue est un état transitoire qui peut être éliminé.

Ce problème, qui renvoie à des contraintes de rentabilité, à une certaine pénurie d'anesthésistes chevronnés, comme en témoigne aussi la fréquence élevée du facteur "pression productive", rencontre encore peu d'échos auprès des responsables hospitaliers et des législateurs. A noter cependant, l'initiative du Massachusetts General Hospital, qui accorde une interruption de 20 minutes toutes les 2 ou 3 heures.

L'ensemble des données présentées jusqu'ici permet de traiter de la question importante des conditions d'apparition d'une situation problème. La plupart des enquêtes d'accidents de type épidémiologique ne dépasse pas ce niveau contextuel d'analyse et de classification. Les mesures de prévention qui en découlent sont nécessairement générales ou très locales.

Pour progresser dans la connaissance de la genèse des problèmes et répondre efficacement aux difficultés rencontrées par les opérateurs dans les systèmes complexes, il faut s'enfoncer dans le domaine des processus cognitifs à travers une analyse psychologique de l'activité.

2. Analyse psychologique

Le modèle de prise de décision proposé par Rasmussen (1987) et exposé au chapitre 1 fournit un cadre utile pour l'analyse psychologique des situations problèmes recensées. Comme l'ont fait remarquer Pew et al. (1982), ce modèle est assez souple pour rendre compte d'une grande variété de processus, même si les distinctions introduites entre les différentes étapes sont parfois difficiles à repérer.

On notera qu'en référence à ce modèle, des erreurs peuvent se produire aux différentes étapes de la prise de décision; c'est pourquoi cette partie du questionnaire a été construite sous la forme d'un choix multiple. L'anesthésiste est invité à donner son avis quant à l'origine cognitive du problème en utilisant une échelle ordinale : 0 pour absolument pas, 1 pour partiellement, 2 pour principalement, et ce afin de juger l'importance de chaque étape du processus de décision (détection, observation, identification, etc.). La somme des différentes cotes attribuées par l'ensemble des répondants donne le score de la proposition.

Mais un score donné peut correspondre à un nombre très divers de réponses. Dès lors, plus que le score, c'est le nombre de répondants (fréquence) qui peut nous renseigner. C'est pourquoi la présentation des résultats conjugue le nombre de répondants et le score des propositions.

2.1. Types de difficultés cognitives

	n réponses	scores
Détection et observation	13	20
Diagnostic	8	10
Évaluation préopératoire	11	18
Évaluation peropératoire	9	13
Évaluation postopératoire	5	9
Définition de la tâche	5	7
Procédure	10	17
Exécution	6	11

Tableau 17. Répartition du nombre de réponses (n) et des scores (s)

Sur les 30 situations, 13 fois la phase de *détection et d'observation* a été signalée à l'origine de l'incident. Soit l'anesthésiste n'a pas perçu certains indices utiles, soit il les a perçus avec retard.

La répartition des données, selon le moment de survenue, est intéressante en ce qu'elle nous révèle, en partie, l'état attentionnel de l'anesthésiste au cours de l'intervention (cfr. Tableau 18).

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, obtient un score égal à 18 tandis qu'elle 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 (cfr. Tableau 18).

Cette relation n'est pas surprenante. Elle 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.

	1	2	3	4	5	6
	n	n	n	n	n	n
Détection et observation	2	2	4	1	1	3
Diagnostic		1	2	2	1	2
Évaluation préopératoire - Prise de décision	2	3	3	2		1
Évaluation peropératoire - Prise de décision	1		6	1	1	
Évaluation postopératoire - Prise de décision			1		1	3
Procédure		2	3	1	1	3
Exécution		1	3	2		

Légende : 1 : induction; 2 : intubation; 3 : à l'occasion d'un gestion chirurgical; 4 : à l'occasion ou non d'un geste anesthésique; 5 : réveil; 6 : postopératoire.

Tableau 18. Répartition du nombre de réponses (n) selon le moment de survenue.

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 avec un score total de 17.

Sur ce point, la mise en correspondance avec le degré d'apprentissage de l'anesthésiste est intéressante. Elle est présentée dans le tableau 19.

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 suppose que l'activité de la conduite d'une anesthésie est encore contrôlée en partie par des connaissances conceptuelles (KB), stratégie coûteuse du point de vue mental. Dans une situation complexe, la mémoire de travail peut très vite être saturée et conduire à des erreurs d'omission.

Par ailleurs, il est important de constater que ces anesthésistes ventilent leurs réponses sur les différentes phases du processus de décision. Ainsi, contrairement à notre attente, ce ne sont pas les étapes d'interprétation et d'évaluation, du niveau des connaissances conceptuelles, au sommet de l'échelle de Rasmussen, qui posent le plus de problèmes aux stagiaires, mais l'ensemble du processus de prise de décision, de la détection à l'exécution. Cela suggère que, à ces degrés intermédiaires d'apprentissage, l'anesthésiste travaillera, dans une situation problème, à toutes les étapes de prise de décision, en s'appuyant sur des traitements conscients, lents, séquentiels, fastidieux et dont les ressources sont limitées.

Le *diagnostic* est cité 8 fois mais n'obtient qu'un score de 10. Ce faible poids attribué par les anesthésistes 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 ne se développe pas pour elle-même. Elle 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 19 fait apparaître que ce sont principalement les anesthésistes de 3ème année de formation qui éprouvent des difficultés.

Contrairement à la littérature sur l'expertise et à nos attentes, les défaillances d'*exécution*, du niveau des automatismes (SB), sont loin d'être plus fréquentes chez les anesthésistes plus expérimentés. Pour expliquer ce résultat, on peut rappeler les recherches sur la détection des erreurs (cfr. chapitre 1). Ces recherches ont montré que les ratés étaient

détectés et corrigés plus fréquemment et plus facilement que les fautes. On peut imaginer alors que ce type d'erreur récupérée apparaît moins comme une situation problème aux yeux de son auteur, ce qui a pu influencer son rapport dans notre étude.

Il faut également souligner que les enquêtes d'accidents se sont concentrées pendant des années sur ce type d'erreur, facilement identifiable. Dès lors, les firmes de fabrication des nouveaux équipements anesthésiques ont entrepris des efforts considérables pour les réduire et les neutraliser. Elles ont standardisé certaines parties de l'équipement prêtant à confusion et elles ont introduit des barrières de sécurité empêchant certaines manipulations. Ces améliorations de l'interface homme-machine ont certainement réduit la fréquence des ratés d'action en salle d'opération.

	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
Détection et observation	3	4	3			3
Diagnostic	2	4	1		1	
Évaluation préopératoire	2	3	1	2	1	2
Évaluation peropératoire	3	3	1			2
Évaluation postopératoire		2	1	1		1
Procédure	4	4	1	1		
Exécution	2	3	1			
Σ n (réponses)	16	23	9	4	2	8

Tableau 19. Répartition du nombre des réponses (n) selon le degré d'apprentissage

2.2. Relations entre les types de difficultés et le pronostic

Il est intéressant de mettre en correspondance les types de difficultés rencontrées par les anesthésistes et le pronostic des situations problèmes (voir tableau 20). Le test de χ^2 réalisé pour comparer le risque de décès en fonction des modalités cognitives ne montre aucune différence significative.

Il faut cependant remarquer que ce sont les phases de *détection* et d'*observation* qui ont été le plus souvent mentionnées à l'origine des situations problèmes ayant eu une issue fatale.

Ce résultat n'est pas étonnant quand on sait que 3 minutes d'hypoxie suffisent pour endommager le cerveau et que le temps de traitement en situation d'urgence est très restreint, en comparaison des délais de visibilité d'un problème anesthésique, parfois très larges : trois des situations sur les quatre associées à ce type de défaillances présentent d'ailleurs une évolution exponentielle, dont nous avons souligné la grande difficulté de récupération dans le chapitre 1.

	n (réponses)
Détection et observation	4
diagnostic	3
Évaluation préopératoire	2
Évaluation peropératoire	2
Évaluation postopératoire	2
Procédure	3
Exécution	2

Tableau 20. Répartition des réponses pour les situations problèmes ayant eu une issue fatale

2.3. Discussion

Même si le modèle de Rasmussen n'aborde que d'une façon très grossière le fonctionnement cognitif de l'individu, le classement dérivé et les questions suggérées ont été utiles pour déterminer les phases critiques de l'activité cognitive.

Les résultats font apparaître deux phases critiques principales : l'observation et la planification (évaluation préopératoire). On peut mettre en rapport ces résultats avec l'analyse de l'activité développée au chapitre 3 de la partie 1.

Comme nous l'avons décrit, une partie croissante du travail de l'anesthésiste implique une activité de surveillance, la gestion des ressources cognitives et matérielles susceptibles d'être utilisées, et la mise en oeuvre de réactions efficaces et optimales à des variations de l'état du patient. Les difficultés observées renvoient à ces caractéristiques du système. Fondamentalement, elles renvoient au partage de l'attention et à la gestion des ressources limitées.

Dans la partie théorique, nous avons souligné le caractère limité des ressources attentionnelles. Le système mental humain est muni de limitations dans sa capacité. Cette limitation amène notre système cognitif de traitement de l'information à sélectionner une petite quantité d'informations, parmi toutes celles qui nous environnent au même instant.

Les résultats de notre étude montrent que, parmi les informations que l'anesthésiste doit considérer simultanément, ce sont principalement des variations dues à l'activité du chirurgien qui ne sont pas détectées ou qui sont traitées avec retard. Cette observation a une importance pratique certaine. Si l'on considère que de nombreuses informations rentrent en compétition pour accéder au système de traitement central dont la capacité est limitée, on peut en déduire que l'information issue du site chirurgical n'est pas prioritaire. La sensibilisation à l'importance de cette information, qui est relative à l'aspect collectif et multidynamique de la situation de travail, pourrait améliorer la performance en orientant l'attention et en modifiant le réglage cognitif des priorités.

Le second type de difficultés observées montre l'importance de la gestion des ressources, en particulier la préparation de l'activité durant la visite préopératoire, qui peut faciliter la révision du plan et les réactions d'adaptation dans une situation dynamique. On peut rapprocher ce résultat des recherches sur la planification développées au chapitre 3.

De plus en plus d'études décrivent la visite préanesthésique comme un élément déterminant pour la récupération des problèmes anesthésiques (Xiao et al., 1992; Cousin, 1994).

Du point de vue cognitif, on peut considérer que l'orientation de l'attention avant l'apparition d'un problème contribue à réduire partiellement l'incertitude du sujet quant à l'endroit, au moment et au type d'information et à la nature de la réponse. Posner (1980) a montré que cette préparation contribuait à rendre compte de la diminution de la latence des réponses correspondant aux traitements de l'information attendue. Il est facile d'imaginer l'intérêt de ce bénéfice dans une situation dynamique comme l'anesthésie où les délais de récupération sont parfois très courts.

Cette constatation a amené plusieurs pays à émettre des recommandations prônant la visite préanesthésique comme un standard de sécurité obligatoire (Eichhorn, 1986; BAPSA, 1989). Mais croire que rendre cette visite obligatoire est un gage de sécurité est un leurre. Notre étude montre que l'examen clinique est entaché par l'erreur humaine. L'effort assigné à cet examen, c'est-à-dire la quantité de ressources assignées, n'est peut-être pas optimal. Il est courant qu'il se fasse au pied levé par l'équipe de garde, sous la pression temporelle, ce qui explique le caractère superficiel des traitements de l'information.

L'analyse psychologique développée ci-dessus enrichit la description des situations problèmes recensées. Mais il devient difficile, à ce stade de l'analyse, de faire la part des choses entre des facteurs extrinsèques qui concernent les caractéristiques de l'environnement et des facteurs intrinsèques qui concernent l'activité cognitive déployée dans la genèse de la situation problème. La réaction de l'anesthésiste qui émerge est le

produit des différents facteurs. Cette multidimensionnalité de la détermination pousse à une représentation en termes de système.

3. Analyse systémique

3.1. Identification de situations à risque prototypiques

En articulant l'ensemble des résultats décrits précédemment, nous pouvons évaluer notre hypothèse de recherche et tenter d'identifier des configurations de variables de production d'erreurs, se référant au système en tant que tel, à ce que les unités "homme-tâche-environnement" font ensemble.

Le tableau 21 présente les éléments pris en compte, à savoir le type d'erreur, les facteurs associés, la séquence de la tâche, le niveau d'expérience et les conséquences de la situation problème.

	Fonctions de décision						
	dét	dia	épré	éper	épost	proc	exe
1. Facteurs associés							
manque d'expérience	6	3	5	3	3	4	4
manque de communication	6	4	3	4	2	4	3
fatigue	4	4	5	2	3	4	2
supervision inadéquate	4	3	1	1	1	4	2
environnement inhabituel	3	1	1	1	1	2	3
pression productive	3	1	4	2	2	3	1
rapport chirurgien/anesthésiste	1	1	2	2	3	3	2
présence d'un distracteur	1	3	1	1	1	1	2
monitoring insuffisant	1	1	2	3		1	1
champ visuel réduit	2	2	1	1	1	1	1
interruption dans le travail	2	1	1	1	1	2	
urgence						1	
2. Moment de survenue							
induction	2		2	1			
intubation	2	1	3			2	1
à l'occasion d'un geste chirurgical	4	2	3	6	1	3	3
à l'occasion ou non d'un geste anesthésique	1	2	2	1		1	2
réveil	1	1		1	1	1	
postopératoire	3	2	1		3	3	
3. Expérience professionnelle							
2ème année	3	2	2	3		4	2
3ème année	4	4	3	3	2	4	3
4ème année	3	1	1	1	1	1	1
5ème année			2		1	1	
senior		1	1				
mixte	3		2	2	1		
4. Issue fatale	4	3	2	2	2	3	2

Légende : dét : détection; dia : diagnostic; épré : évaluation préopératoire; éper : évaluation peropératoire; épost : évaluation postopératoire; proc : procédure; exe : exécution

Tableau 21. Distribution des variables homme-tâche-environnement dans la production des situations problèmes

Il ressort de l'analyse du tableau quatre configurations qui mettent en évidence quatre types d'erreurs, en les associant chacun à l'un des niveaux de fonctionnement d'activité de Rasmussen et aux exigences des circonstances présentes.

La première configuration concerne des erreurs de détection et des erreurs de procédure. Elles concernent les stagiaires, prioritairement les anesthésistes de 2ème, 3ème et 4ème année de formation.

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 (cfr. Tableau 18). Elles sont le plus souvent mentionnées à l'origine des accidents conduisant au décès.

Les erreurs de procédure et d'exécution surviennent dans un environnement inhabituel. 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 fondées sur des règles (RB). Elles prennent la forme d'erreurs de diagnostic et de procédure. Elle concernent principalement les anesthésistes en 3ème année de formation et les phases per et postopératoires.

L'analyse détaillée des situations problèmes montre que l'erreur de diagnostic a tendance à perdurer. 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 traduit un manque d'expertise. Elle concerne des erreurs de planification : évaluations pré et peropératoires. Elle implique principalement des anesthésistes en 2ème et 3ème année de formation. C'est la prise en compte de la variabilité et de l'ajustement à la dynamique de la situation qui est au centre des difficultés. Les facteurs associés sont la fatigue, le manque de communication mais surtout le manque d'expérience. Ce résultat est compatible avec la configuration dégagée lors de l'étude préliminaire.

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. On retrouve ici la configuration concernant les erreurs fondées sur des règles faites par les anesthésistes expérimentés de l'étude préliminaire.

Par rapport à l'étude préliminaire, on ne retrouve donc pas exactement les mêmes configurations. Les ratés chez les experts ne sont pas représentés dans notre échantillon, et une configuration concerne plus spécifiquement les anesthésistes de 3ème année de formation.

Nous avons tenté de valider ces configurations au moyen du programme LISREL (Estimation of Linear Structural Equation Systems by Maximum Likelihood Methods) mis au point par Jöreskog et Sörbrom (Defays, 1979). Mais le nombre limité des situations recueillies et la forme principalement binaire des variables étudiées ne nous a pas permis de construire mathématiquement les structures relationnelles.

En revanche, l'analyse des correspondances a permis de décrire les proximités existant entre les types d'erreurs et les degrés d'apprentissage, en tenant compte des différences d'effectifs (cfr. Figure 19). Etant donné la dimension modeste des données, elle a surtout une valeur descriptive.

La proximité des trois points 2ème, 3ème et 4ème année signifie une similitude des profils types d'erreurs. Si l'on regarde, les distances entre les points, on observe aussi que les types d'erreurs les plus concernés par cette sous catégorie d'anesthésistes sont les erreurs de détection, d'évaluation peropératoire, d'exécution, de procédure et de diagnostic

(particulièrement proches des sujets de 3^{ème} année, cfr. configuration 3) tandis que les anesthésistes de 5^{ème} année et les seniors sont davantage concernés par des erreurs d'évaluations pré et postopératoires.

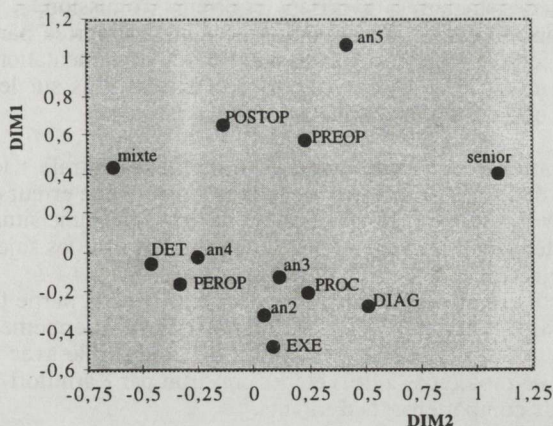


Figure 19. Analyse des correspondances - Proximité entre types d'erreurs et degrés d'apprentissage

3.2. Discussion

La question importante que pose l'identification de ces configurations concerne les possibilités d'appliquer ces résultats à d'autres situations de travail complexes. De ce point de vue, il est important de remarquer que les éléments de base des configurations identifiées sont des composantes normales et communes à tout système complexe.

Dans la discussion qui va suivre, nous allons reprendre les résultats à un certain niveau d'abstraction et voir comment ils peuvent s'appliquer à des situations de travail complexes différentes.

La première configuration touche des étapes périphériques de traitement de l'information (détection et exécution). Il est intéressant de remarquer que les problèmes observés à ces étapes résultent d'erreurs d'omission : l'opérateur ne détecte pas ou avec retard un changement inopiné sur lequel il n'a qu'un contrôle limité et n'adapte pas son plan d'action dans les délais acceptables.

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.

Woods et Roth (1995) ont observé le même phénomène dans le domaine de l'aviation où le degré d'automatisation est tel que certaines étapes dans la conduite d'un avion peuvent se faire sous le contrôle informatique, sans ordre préalable du pilote. Ce type de partage de rôle entraîne une mise à l'écart du pilote de la boucle de contrôle. Les pilotes éprouvent des difficultés à se construire une représentation occurrente de la situation (situation awareness) en ce qui concerne notamment le statut des systèmes de bord automatisés (Sarter & Woods, op.cit.). Norman (1990) fait remarquer que les informations prodiguées par ces systèmes sont souvent insuffisantes et pourraient être améliorées sur le plan ergonomique.

De même, le manque de communication observé entre anesthésiste et chirurgien favorise, chez l'anesthésiste, une représentation incomplète de l'histoire et de l'état actuel de la situation.

Dans la littérature, les erreurs d'omission sont généralement décrites comme relevant d'une activité automatisée qui se forme avec l'expérience (Rasmussen, 1986; Norman, 1981). Dans notre étude, elles concernent prioritairement des stagiaires dont on pourrait penser que l'activité est encore contrôlée aux niveaux RB et KB. Ce résultat, associé aux autres variables, suggère que les erreurs observées dans cette configuration sont davantage liées aux limitations de la mémoire de travail dans un environnement changeant, plutôt qu'à la rigidification de l'activité automatisée. L'accroissement des contraintes et de la complexité de l'environnement serait de nature à surcharger les capacités attentionnelles des stagiaires, favorisant les erreurs d'omission.

Une observation de contrôleurs de la navigation aérienne rapportée par Bellorini et Decortis (1994) appuie cette interprétation. Dans une période d'augmentation de la charge de travail, les auteurs notent que les contrôleurs se centrent plus sur leurs objectifs propres, en négligeant l'observation du partenaire.

La deuxième configuration touche une étape de traitement centrale : le diagnostic. 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. Cette tendance est très prédictible puisque ce sont les sujets à un degré de formation intermédiaire qui sont prioritairement concernés.

Les mécanismes heuristiques ont été abondamment décrits dans la partie théorique. On peut interpréter ce résultat dans le cadre des recherches développementales sur la résolution de problèmes. De manière surprenante, il est compatible avec le modèle de processus de résolution de problèmes à trois étapes construit par Karmiloff-Smith (1984) à partir d'observations de comportements d'enfants.

L'existence d'une phase intermédiaire, donnant lieu à des formes d'erreurs très prédictives, est un aspect central de cette théorie. Karmiloff-Smith a observé que des enfants plus âgés ont tendance, du moins pendant une certaine période, à commettre plus d'erreurs grammaticales, basées sur des règles, que des enfants plus jeunes. Pendant cette période intermédiaire, qu'elle a appelée 'métaprocédurale', le comportement des enfants plus âgés est guidé de façon "descendante" par des structures de connaissances plutôt rigides, en considérant fort peu les indices locaux qui signalent les exceptions possibles.

Lesgold (1984) a retrouvé ce résultat chez les adultes en observant le diagnostic donné par des radiologues de degrés d'expertise variés. Il a trouvé que les débutants et les experts font moins d'erreurs de diagnostic que les intermédiaires. Lesgold explique ce résultat dans le cadre de la théorie d'Anderson (op. cit.). Il suggère que les connaissances des intermédiaires ne sont pas suffisamment procéduralisées, ce qui constitue une condition favorable au développement des erreurs de fixation (De Keyser & Woods, op. cit.).

Cette configuration met en avant l'importance de repérer à quel niveau d'apprentissage se situe le sujet si l'on cherche à prédire certaines formes d'erreurs et établir des aides adaptées à la décision.

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. Ces difficultés ont été abordées dans le chapitre 1, notamment à travers les recherches de Woods (1988) et de Dörner (1990). Dans les expériences sur simulation de Dörner, le degré de formation du sujet n'est pas explicitement pris en compte. L'objectif principal de l'auteur était de décrire les "pathologies" dont faisaient preuve initialement tous les sujets, dans la gestion d'un processus dynamique.

Dans notre étude, cette forme d'erreurs concerne principalement des débutants. Elle fait référence aux connaissances sur la façon dont le monde change qui font manifestement défaut chez eux. Ce qui laisse à penser que ce type de connaissances est principalement acquis avec l'expérience.

On peut dès lors se poser des questions sur les modes d'acquisition et les possibilités d'apprentissage de ces connaissances et sur la nature des couplages qui existent entre la performance humaine, les caractéristiques temporelles des situations problèmes et le degré de formation.

Dans un article récent, Nyssen & Javaux (1996) envisagent certains mécanismes d'acquisition en analysant les erreurs liées aux contraintes de synchronisation des systèmes complexes. L'originalité de leur approche réside dans le présupposé que les opérateurs peuvent utiliser un certain nombre de "systèmes de référence temporels" différents (conventionnel, spécifique aux tâches ou émergeant de la régularité de l'action) qui peuvent être modélisés par des systèmes de représentation abstraits. L'expertise dans la régulation temporelle apparaît liée à un enrichissement des connaissances sur la structure temporelle d'interaction entre l'individu et la situation de travail, qui permettent d'élaborer des scénarios typiques utilisables comme des cadres de référence. Une analyse extensive de la structure temporelle d'interaction et des systèmes de référence qui semblent guider l'activité de l'anesthésiste a été réalisée.

La quatrième configuration concerne une défaillance d'expertise. En ce qui concerne les erreurs observées chez les experts, la littérature s'est surtout focalisée sur les ratés (de l'action) qui résultent d'un jeu combiné de deux mécanismes qui mettent respectivement en jeu l'attention et les schèmes acquis avec l'expérience. Dans notre étude, ce n'est pas une étape de traitement périphérique (d'exécution) qui est mise en défaut mais une étape centrale du traitement : l'évaluation du système et la planification de l'activité qui en résulte.

L'ensemble des variables de la configuration 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 dérouls temporel de la tâche. En effet, ce sont les périodes périphériques de la tâche pré et en postopératoires, hors salle d'opération, qui sont concernées. Ce type d'erreur peut être relié à ce que Reason (1993) 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.

S'agissant alors d'aider cette activité experte, le problème essentiel est celui du passage à un niveau de régulation plus élevé, quand la situation est non familière et que la procédure de routine devient inadaptée. Or, dans une étude de terrain, on est souvent tenté de se concentrer sur ce que l'on considère comme le mode de traitement majeur, au détriment de l'articulation entre les niveaux de contrôle. Pourtant, l'un des enjeux de la construction de l'expertise est la gestion de la capacité limitée de l'attention qui est requise pour la régulation par les règles ou les connaissances procédurales (Hoc, 1996).

Pour résumer, le tableau ci-dessous reprend les caractéristiques des quatre configurations de production d'erreurs dans les systèmes complexes.

Type d'erreur	Complexité du système	Facteurs contextuels	Mécanismes psychologiques	Degré de formation
erreur d'omission : détection, procédure	multidynamique	variation intra/ inter- environnement	limitation de la mémoire de travail	stagiaires
erreur de diagnostic	incertitude	situation nouvelle lère exception	- heuristiques - fixation du comportement	degré de formation intermédiaire
erreur d'anticipation et de planification	- évolution du processus dans le temps - 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' - information indirecte	- pression de production	gestion des ressources cognitives	experts

Tableau 22. Caractéristiques des quatre configurations de production d'erreurs dans les systèmes complexes

Au terme de cette discussion, il convient de réexaminer l'hypothèse directrice énoncée au chapitre 1. Elle revient à supposer que l'erreur humaine se caractérise, dans les systèmes complexes, par l'association sélective de variables se référant au système en tant que tel, à ce que les unités homme-tâche-environnement font ensemble. L'évaluation de cette hypothèse a soulevé deux problèmes principaux.

Le premier problème concerne les difficultés de récolter et d'analyser des informations sur les éléments de base du système et sur leurs relations dans la situation de travail. L'approche adoptée a consisté à multiplier les sources de données (relevé des situations problèmes, questionnaire, réunion de sécurité) et à mettre ensemble les résultats de plusieurs perspectives d'analyse - contextuelle, psychologique et systémique - pour aboutir progressivement à la formalisation des configurations variées de situations à risque prototypiques.

Le deuxième problème touche celui des possibilités d'appliquer les résultats de cette étude à d'autres situations de travail complexes. Il pose la question de la validité externe de l'étude, que nous avons abordée dans la partie théorique.

Sur ce point, la discussion a montré que les éléments des configurations sont des composantes normales et communes à tout système complexe. La généralisation des résultats paraît donc applicable. Mais ceux-ci ont engendré de nouvelles questions et hypothèses, auxquelles les données récoltées jusqu'ici ne permettent pas de répondre, en particulier les relations entre le degré d'apprentissage, la complexité de la tâche et la performance. Certaines situations problèmes recensées apparaissent plus difficiles à résoudre que d'autres. Le degré d'apprentissage de l'anesthésiste semble influencer le type de difficulté observée. Deux questions intéressantes sont alors posées :

- comment une situation problème contraint-elle l'activité, notamment au niveau cognitif ?
- comment l'anesthésiste parvient-il à y répondre ?

Si notre objectif est de construire des aides à la décision et des programmes de formation efficaces, c'est-à-dire qui répondent aux besoins réels de l'opérateur, nous avons besoin de savoir quand et comment l'anesthésiste a besoin d'aide (Roth et al., 1987).

La comparaison, et plus encore l'analyse des réponses des anesthésistes confrontés à une même situation problème, en fonction de leur degré d'apprentissage, nous aidera à mieux comprendre l'activité de résolution de problèmes, la nature de cette compétence et les transformations dans l'acquisition de cette compétence.

Une telle recherche est difficile sinon impossible à réaliser sur le terrain. C'est pourquoi le simulateur nous paraît un lieu privilégié. Il permet la mise en place d'un plan expérimental pour étudier les performances de sujets de degrés de formation variés confrontés à des scénarios de situations problèmes de complexités différentes.

Chapitre 7

ÉTUDE À PARTIR D'UNE SIMULATION PLEINE ÉCHELLE DE LA TÂCHE

Rappel des objectifs

La simulation a pour objectif d'étudier, avec plus de précision, certaines des relations entre la performance humaine, la tâche et le milieu, en particulier les processus de résolution de problèmes, selon le degré de formation, en relation avec la complexité de la tâche.

La construction de la simulation s'est appuyée sur les résultats de l'étude précédente. Les analyses des situations problèmes ont montré le rôle important des activités cognitives de haut niveau dans les défaillances anesthésiques. La méthodologie de la simulation paraissait donc pertinente pour examiner plus précisément ces activités et accéder à la dynamique qui articule les processus représentatifs que développe l'anesthésiste, selon son degré de formation et en rapport avec l'action et son contexte.

§ 1. LA SIMULATION DE LA TÂCHE

1. Le dispositif

Bien que l'invention du premier simulateur d'anesthésie remonte à 1969, ce n'est qu'en 1988 que les simulateurs de 'haute fidélité' sont apparus. Des simulateurs ont été fabriqués aux Universités de Floride, Stanford, Leyden, Copenhague et Bâle.

Le simulateur utilisé dans cette étude peut être classé dans la catégorie des simulations très réalistes, 'pleine échelle' et dynamiques. Il fait partie de la série CASE : Comprehensive Anesthesia Simulation Environment, fabriqué par CAE LINK Corporation (Binghamton, NY, USA), sous une licence de l'Université de Stanford. Il est utilisé depuis trois ans par les départements d'Anesthésie-Réanimation des Universités de Liège, Louvain et Bruxelles dans le cadre d'un programme de formation à la gestion de crises (Gaba et al., 1994) avec la collaboration du service de Psychologie du Travail de l'Université de Liège, à l'Hôpital Militaire de Bruxelles.

Il se présente sous la forme d'une salle d'opération conventionnelle équipée de tout le matériel nécessaire au bon déroulement d'une intervention chirurgicale, mais où le patient a été remplacé par un mannequin reproduisant au mieux la réalité clinique.

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 mannequin 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) sont réels; le CO₂ et les halogénés sont simulés mais ces derniers sont dosés au moyen de vaporisateurs utilisés dans la réalité. Un ensemble de monitoring permet 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 (Figure 20).

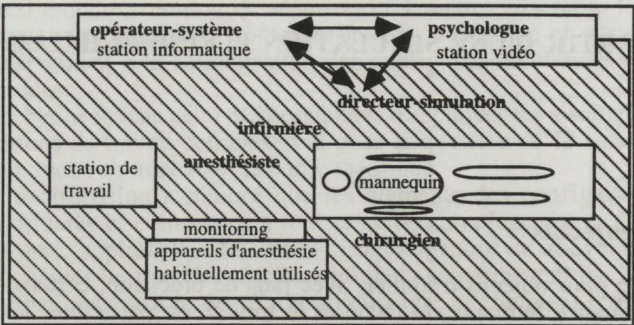


Figure 20. Bloc diagramme du simulateur d'anesthésie (Bruxelles)

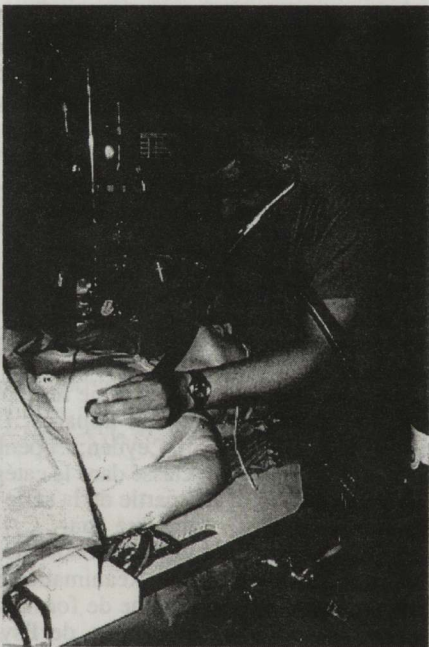


Figure 21. Photo du simulateur d'anesthésie (Bruxelles)

2. Déroulement d'une séance de simulation

La séance de simulation est dirigée par un directeur de simulation (anesthésiste senior). Il peut ajuster les différents paramètres physiologiques et pharmacologiques du mannequin 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 :

- 1) 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 soins et fait connaître les nécessités particulières de traitement, de monitoring et de transfusion (durée approximative 15 minutes);
- 2) une séance de simulation dont la durée varie, selon le type de scénario, de 30 à 60 minutes. En plus de l'anesthésiste-sujet confronté à la situation d'incident, deux autres personnes (un anesthésiste stagiaire et un anesthésiste senior) participent à la mise en scène pour rendre compte de la dimension collective du travail de l'anesthésiste en situation naturelle. Ils jouent les rôles de l'infirmière, du chirurgien ou de l'anesthésiste appelable en cas de besoin. La séance est enregistrée sur vidéo;
- 3) un debriefing au cours duquel le film est projeté aux participants (anesthésistes aspirants et senior, psychologue) qui discutent de la séance (durée approximative 40 minutes).

§ 2. Protocole d'étude

1. Les sujets

54 anesthésistes en formation ont participé à l'étude sur simulateur : 12 sujets (6 débutants/6 plus expérimentés) par situation problème, à l'exception d'un scénario auquel n'ont été soumis que six sujets (3/3), au vu des réactions des anesthésistes débutants confrontés à ce scénario complexe.

Les sujets débutants et plus expérimentés ont été distingués sur la base de leur degré de formation. Les anesthésistes de 2ème et de 3ème année formaient le premier groupe des débutants tandis que ceux de 4ème et 5ème année formaient le groupe des plus expérimentés.

Les sujets étaient testés individuellement. Tous leurs comportements et leurs verbalisations étaient enregistrés sur vidéo.

2. Les scénarios

La simulation consiste à mettre en scène des situations problèmes d'anesthésie. Cinq situations ont été choisies, avec l'appréciation de deux anesthésistes seniors, pour leur représentativité en terme du domaine et leur degré de complexité variable. Les scénarios de simulation ont été construits par ces anesthésistes.

Scénario 1 Problèmes à l'intubation

Le scénario 1 est caractérisé par la survenue d'une désaturation en oxygène progressive suite à une intubation sélective d'un poumon ou d'une inhalation suivant le comportement du sujet. La désaturation amène des troubles du rythme cardiaque pouvant aller jusqu'à l'arrêt cardiaque.

L'arrêt cardiaque est une interruption brutale et imprévisible de la fonction cardiaque et circulatoire sanguine. Bien qu'il soit nécessaire de traiter l'arrêt le plus vite possible pour améliorer le pronostic, il faut être absolument certain qu'aucun problème technique, en particulier le débranchement d'une électrode du monitoring de l'ECG, n'a conduit à une erreur de diagnostic. Seule l'absence de pouls au niveau de la grosse artère affirme le diagnostic de l'arrêt cardiaque. Certaines circonstances sont fortement évocatrices : pas de pression artérielle, plus d'onde de pouls, et à l'ECG : tracé de tachycardie ventriculaire ou de fibrillation ventriculaire.

L'asystolie est l'absence totale d'activité électrique; le tracé ECG montre une ligne plate. Dans un tel cas, le massage cardiaque externe et l'administration IV de médicament (adrénaline) sont d'importance vitale.

La tachycardie ventriculaire est une fréquence ventriculaire élevée de 150-250 Bpm; elle doit être traitée par médicaments (brétylium).

La fibrillation ventriculaire se présente avec un tracé ECG qui montre une activité ondulée, irrégulière et chaotique. Une défibrillation électrique est nécessaire pour rétablir l'activité électrique spontanée et efficace, avec injection d'adrénaline. Le coup de poing donné en région précordiale est efficace sur les stades initiaux de la fibrillation.

Scénario 2 Ischémie myocardique, segment ST

L'ischémie myocardique avec hyperexcitabilité de la zone ischémisée est particulièrement difficile à détecter. Les modifications ECG, qui prennent généralement la forme d'un sous-décalage du segment ST, apparaissent 30 à 60 secondes après le développement du processus ischémique pouvant aller jusqu'à une fibrillation ventriculaire (FV) et même l'arrêt cardiaque.

Dans l'élaboration du diagnostic différentiel, la mise en place d'un cathéter veineux central et du segment ST peuvent faciliter la conduite thérapeutique. L'analyse du segment ST est particulièrement utile chez les patients à risque.

Le traitement vise à améliorer l'apport d'oxygène au niveau myocardique, à diminuer les demandes en oxygène, à augmenter le plan d'anesthésie si nécessaire et à traiter la tachycardie et l'hypertension par des moyens principalement médicamenteux.

Scénario 3 Le choc anaphylactique

Certains agents médicamenteux, comme les antibiotiques, les curares, les hypnotiques, de même que les expanseurs plasmatiques (gélatine, amidon, macrodex), parfois les produits sanguins ou même le latex utilisé dans la fabrication des gants chirurgicaux, peuvent être responsables de réactions allergiques sévères ou de réactions d'hypersensibilisation chez les sujets anesthésiés. Approximativement, 500 décès lui sont attribués chaque année aux États-Unis.

Dès qu'une réaction anaphylactique est suspectée, l'administration de l'agent pathogène doit immédiatement être arrêtée. Afin d'établir une circulation sanguine, l'adrénaline doit être administrée à fortes doses. Il faut mettre le patient en position de Trendelenburg pour favoriser la circulation du cerveau, alléger l'anesthésie, administrer de l'oxygène pur et procéder à un remplissage massif pour maintenir une hémodynamique acceptable.

Scénario 4 L'hyperthermie maligne

C'est une crise hypermétabolique fulminante déclenchée par l'administration de drogues anesthésiques, en particulier les agents anesthésiques volatils, surtout s'ils sont associés à la succinylcholine (curare dépolarisant à courte durée d'action).

L'hyperthermie maligne est une complication rare mais grave car elle peut entraîner la mort. Le décès intervient dans 60 % des cas. La mortalité augmente proportionnellement à l'élévation de la température et à la durée de récupération. Aussi, un diagnostic rapide et un traitement immédiat sont une des conditions de la survie des patients atteints. La fréquence de cette complication est estimée à 1/15000 chez l'enfant et à 1/50000 chez l'adulte.

Les signes cliniques comprennent souvent tachycardie, hypercapnie, troubles de rythme, désaturation en oxygène, fièvre souvent accompagnée d'une acidose métabolique et d'une rigidité musculaire. La tachycardie et l'hypercapnie sont les signes les plus précoces. Ils traduisent l'élévation du métabolisme et l'acidose respiratoire. Cette acidose respiratoire est due à une augmentation de la production de CO₂ (hypercapnie) qui est un élément de diagnostic précoce de grande valeur. Les troubles du rythme cardiaque sont dus à l'hyperkaliémie associée. La rigidité musculaire après administration de succinylcholine

peut apparaître à tout moment ou ne jamais survenir. La fièvre, signe tardif, est de mauvais pronostic si une thérapeutique n'a pas été installée auparavant.

Pour confirmer le diagnostic, l'anesthésiste doit effectuer des prélèvements sanguins pour mesurer les gaz du sang (pH) et faire un ionogramme.

Le traitement : l'accent est placé sur l'importance d'un diagnostic précoce, d'un arrêt immédiat de l'anesthésie et de la chirurgie aussitôt que possible, et de la mise en oeuvre d'un traitement précoce qui doit comporter principalement : 1) l'administration de dantrolène; 2) l'hyperventilation avec 100% d'O₂; 3) l'administration de bicarbonate de sodium pour corriger l'acidose; 4) en cas d'hyperkaliémie sévère et de troubles cardiaques, injection d'insuline-glucose; 5) le refroidissement du patient, 6) l'injection de diurétiques tels que le furosémide (lasix) et le mannitol pour maintenir une diurèse élevée.

Scénario 5 La tamponnade cardiaque

La présence de liquide (souvent du sang) dans le péricarde compromet le remplissage et la vidange du coeur. Il s'agit d'un événement rare qui peut résulter soit d'une maladie soit d'un traumatisme. Elle doit être suspectée notamment après un traumatisme thoracique ou une chirurgie cardiaque mais elle peut aussi résulter d'une maladie.

La diminution du débit cardiaque, qu'elle soit brutale ou progressive, entraîne souvent une tachycardie et une hypotension, avec l'apparition d'un pouls paradoxal, des bruits du coeur sourds et parfois une cyanose. Une pression veineuse centrale (PVC) élevée est évocatrice d'une tamponnade cardiaque. Un monitoring plus détaillé montre des valeurs quasi identiques de PVC et de pression artérielle pulmonaire. Du fait de la baisse de débit cardiaque et de la pression artérielle, l'arrêt cardiaque est possible.

En urgence, et en cas de suspicion d'une tamponnade, une ponction péricardique (insertion d'une aiguille dans le péricarde) doit être réalisée à des fins diagnostique et curative; le traitement consiste à extraire le sang, la fonction cardiaque sera immédiatement améliorée.

Du point de vue de la gestion des cas, les cinq scénarios sont de complexité variable sur le terrain cognitif.

Les scénarios 1 et 2 sont familiers aux anesthésistes car ils sont fréquents en salle d'opération et leur apprentissage relève de la première année de formation.

- Dans le scénario 1, les problèmes de désaturation et de troubles du rythme cardiaque sont simultanément actifs. Les troubles du rythme cardiaque 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 procédures chez des sujets plus ou moins expérimentés.
- Dans le scénario 2, le processus d'ischémie myocardique conduit à des troubles du rythme pouvant aller jusqu'à la fibrillation ventriculaire qu'il faut identifier et traiter adéquatement. 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.

Les scénarios 3, 4 et 5 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.

- Le choc anaphylactique est un scénario de courte durée dont l'évolution fulgurante exige un traitement rapide. Le diagnostic est difficile car les manifestations mineures (prurit, rougeurs, urticaires) peuvent passer inaperçues jusqu'à ce que les signes

tardifs apparaissent. Le diagnostic permet l'injection rapide de fortes doses d'adrénaline pour traiter les conséquences du choc anaphylactique, à savoir vasodilatation et fuite de liquide.

- L'hyperthermie maligne a une symptomatologie perverse : l'augmentation accrue de CO_2 précède l'augmentation de la température qui caractérise le problème. L'apparition de l'ensemble des symptômes nécessaires à la compréhension de la cause du problème est progressive. Le diagnostic doit être confirmé en cours de l'anesthésie par des prélèvements sanguins.
- La tamponnade cardiaque se manifeste surtout par une tachycardie concomitante à une hypotension sévère qui sont rarement rattachées dans un premier temps à cette étiologie, dont la fréquence est très rare.
La tachycardie peut évoquer un plan d'anesthésie insuffisant, ce que l'hypotension infirme comme diagnostic.
La tachycardie et l'hypotension peuvent faire penser à un problème de volémie qu'un remplissage massif doit normalement améliorer. L'absence d'amélioration doit faire penser à autre problème (d'origine cardiaque) que des monitorages spécifiques (PVC, Shwan Gan) peuvent confirmer.
L'évolution est progressive mais les effets augmentent en amplitude au fur et à mesure de l'incident; l'arrêt cardiaque, lorsqu'il se produit, est rarement récupéré.

Le tableau ci-dessous reprend les différentes dimensions qui ont servi à caractériser la complexité des scénarios, avec l'appréciation des anesthésistes seniors.

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

Tableau 23. Récapitulatif de la complexité des scénarios

3. Collecte des données

Les données ont été récoltées au cours des étapes suivantes :

- 1) observation systématique des séances de simulation en reportant les actions 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 stagiaires 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.

4. Analyse des données

L'analyse des données a porté sur 54 simulations couvrant 5 scénarios différents d'incidents. La répartition des sujets, leur niveau d'expertise et la spécificité des incidents sont repris dans le tableau suivant :

Scénario	nbre de sujets de 2, 3 année	nbre de sujets de 4, 5 année
1	6	6
2	6	6
3	6	6
4	6	6
5	3	3

Tableau 24. Répartition des sujets dans le protocole expérimental

Les enregistrements vidéo ont été revisionnés. Leur durée varie de 30 à 90 minutes. 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 Sanderson (1993). Celui-ci permet une présentation séquentielle des comportements ainsi que certains traitements statistiques sur les données (tri, comptage, comparaison, etc.). Cette analyse permet de faire ressortir les aspects dynamiques et évolutifs du processus de résolution des problèmes.

Les comportements ont été classés en trois catégories : les actions, les demandes d'information et les évaluations. La nature et l'orientation des comportements ont été spécifiés notamment grâce à l'analyse des commentaires des anesthésistes sur leur propre performance en situation d'autoconfrontation (debriefing);

- 1) les actions : deux orientations sont distinguées : les actions de régulation ou de traitement symptomatique et les actions à test diagnostique. La nature des actions est variée; les actions peuvent porter sur les liquides, l'airway, la ventilation, les drogues, les moniteurs, le patient ou encore l'organisation du travail;
- 2) les demandes d'information : elles servent principalement deux motifs : l'identification du problème et la planification de l'activité, et portent sur des aspects de la chirurgie , des caractéristiques du patient ou de l'organisation du travail.
- 3) les évaluations : elles sont souvent associées aux observations des indicateurs et aux verbalisations des sujets. Les verbalisations peuvent attester que le sujet reconnaît un problème, formule des hypothèses soit sur la base de paramètres isolés, soit au niveau d'un ensemble de paramètres, et choisit une stratégie d'action ou observe l'effet d'une action entreprise.

Étant donné l'objectif poursuivi de comparer et d'analyser les performances d'anesthésistes débutants et plus expérimentés en situation problème, deux niveaux d'analyse ont été envisagés :

- sur un plan quantitatif, comparer la précision et le temps de diagnostic, mais aussi l'ensemble du processus de résolution de problèmes caractérisé par le nombre, le type, la redondance dans les actions, les prises d'information et les évaluations chez les débutants et les plus expérimentés;
- sur un plan qualitatif, examiner la dynamique d'interaction entre le sujet et le scénario, afin de dégager des différences pouvant être mises en relation avec le développement des représentations et de la signification accordée aux informations en liaison avec l'action et les caractéristiques spécifiques du scénario.

Il faut faire remarquer que l'expertise anesthésique ne se limite pas au seul fait de poser ou non le diagnostic. C'est pourquoi les performances des anesthésistes ont été appréciées à travers plusieurs indices qui révèlent la nature de l'expertise et qui dépassent largement le fait de poser ou non le diagnostic : détection des symptômes pertinents, spécificité du traitement entrepris, séquence du processus de résolution de problèmes et durées associées.

§ 3. RÉSULTATS

La présentation des résultats a été scindée en deux parties. La première partie compare, selon le degré de formation, les réponses des sujets aux cinq scénarios en relation avec la complexité de la tâche. La seconde partie compare et analyse les stratégies de résolution de problèmes des sujets, dans chaque scénario simulé, à partir de l'analyse détaillée des protocoles d'action et tente de dégager un modèle de l'activité de résolution de problèmes dynamiques.

1. Analyse quantitative et comparaison inter-scénarios

1.1. Délais de diagnostic

Le tableau 25 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. Pour le scénario 1, c'est le délai de diagnostic des troubles du rythme qui a été mesuré. 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	---	---	---

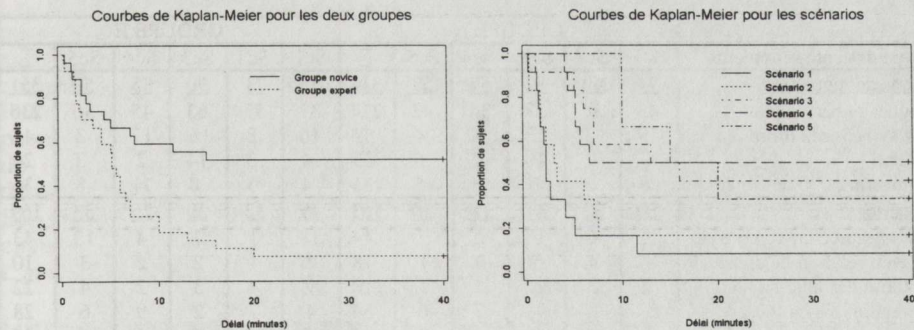
Tableau 25. Délais de diagnostic avec mise en place du traitement de choix

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 22 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 23 montre que les délais de détection, tous groupes confondus, suivent le degré de complexité des situations problèmes simulées.



Figures 22 et 23. Courbes de Kaplan-Meier pour les deux groupes et pour les scénarios

Le modèle de Cox construit (Figure 24) 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

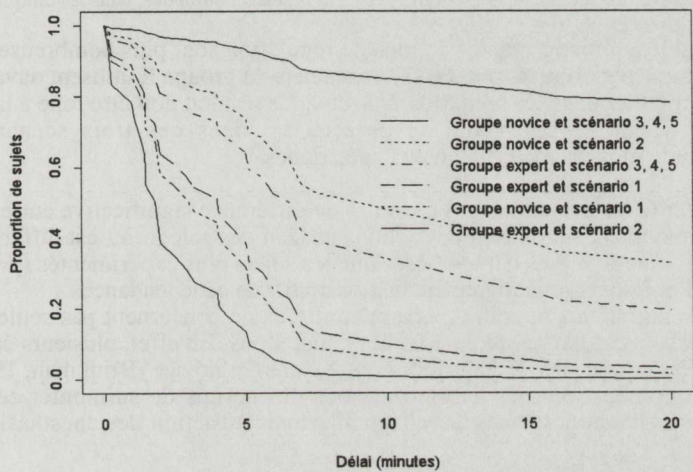


Figure 24. Modèle de Cox pour les groupes et les scénarios

1.2. Ventilation des activités

Le tableau 26 présente la fréquence des activités observées dans les groupes nocices et plus expérimentés (N/E), tous sujets confondus, dans les cinq 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	19	8	13	8	4	52	10	8	6	17	3	44
patient	3	2	10	2	6	23	4	3	14	2	3	26
monitoring	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>7</u>	<u>5</u>	<u>13</u>	<u>8</u>	<u>45</u>	<u>12</u>	<u>6</u>	<u>9</u>	<u>17</u>	<u>6</u>	<u>50</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>11</u>	<u>6</u>	<u>8</u>	<u>17</u>	<u>2</u>	<u>44</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

Tableau 26. 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.

2. Analyse qualitative des protocoles d'action par scénario

2.1. Scénario 1 Problèmes à l'intubation

Les deux groupes détectent immédiatement les troubles du rythme cardiaque, mais l'analyse détaillée des protocoles révèle des différences dans la façon dont ils réagissent à la survenue du problème et organisent leurs priorités d'action. Les figures 25 et 26 illustrent deux exemples de protocoles des sujets des groupes N et E.

Les sujets expérimentés interrompent la séquence d'intubation immédiatement après la mise en place de la sonde endotrachéale pour traiter le problème de façon symptomatique, alors que tous les sujets novices réalisent l'ensemble de la séquence d'intubation, y compris l'auscultation.

Pour les sujets plus expérimentés, il s'agit manifestement d'assurer la ventilation du patient et de traiter le plus tôt possible les troubles de rythme cardiaque sévères sur base de l'anticipation d'une évolution défavorable. Certaines étapes de la procédure d'intubation, en particulier des étapes de vérification croisées, sont reportées à plus tard. Les sujets, par exemple, ne vérifient pas la bonne position du tube par l'auscultation des champs pulmonaires. Ils se contentent d'une observation rapide de la capnométrie. L'auscultation se fait quand la situation est normalisée.

Légende : FC : fréquence cardiaque/minutes; MAP : pression artérielle moyenne/mmHg; SpO₂ : Saturation en oxygène/%; EtCo₂ : mesure du Co₂ télé-expiratoire/mmHg ; Temp : température; TR : troubles du rythme; FV : fibrillation ventriculaire; TV : tachycardie ventriculaire; PVC : pression veineuse centrale

Statut du patient FC;MAP;SpO ₂ ;EtCo ₂ ; Temp)	Événements	Codage	Analyse
(59;102;98)	00.00 06.25 séquence d'intubation		
(57;90;95)	05.47 TR lancés		
	06.30 "il désature"	EVA(s1)	
	06.52 ausculte	ACTds(v)	
	07.10 "C'est quoi ce bruit ? Pourquoi est-ce qu'il désature ? mon ballon ?""	EVA(hyp)	cherche à expliquer la désaturation : entend le bruit de l'inhalation, détecte la désaturation mais mauvaise explication
	07.25 gonfle le ballonnet : "mon ballon n'était pas assez gonflé"	ACTts(v)	
(47al)	07.48 08.20 "c'est peut-être sur la succinicholine"	Eva(hyp)	cherche à expliquer la bradycardie
(48;75;95)	08.20 atropine	ACTts(d)	traite la bradycardie
	09.32 aspire dans le tube	ACTds(v)	revient sur le problème de la désaturation
	09.54 "ma tension est bonne"	EVA(s2)	
(43;90)	10.11 atropine	ACTts(d)	traite la bradycardie
(38;90)			
	11.00 "ma tension monte"	EVA(s2)	
	11.12 "les chirurgiens se dépêchent"	EVA(plan)	
	11.22 met une voie centrale	ACTts(m)	anticipe le besoin de remplir
(43;102;95) PVC3	11.37 "qu'est-ce qu'il a?"	EVA(hyp)	cherche à expliquer le problème
	12.44 "il va falloir du mannitol et du lasix"	EVA(plan)	
	13.00 "Où en sont les chirurgiens ?"	DI(ch)	

	13.5 "il faut se dépêcher"	EVA(plan)	
(43a1;103;94)			
	13.18 mannitol	ACTts(d)	traite la tension
	14.23 "peut-être le tube s'est-il déplacé ?"	EVA(hyp)	revient sur le problème de la saturation

Figure 25. Exemple de protocole de novice N3 sur scénario 1

Statut du patient FC;MAP;SpO2;EtCo2; Temp)	Événements	Codage	Analyse
(58;95;98)	00.00 05 séquence d'intubation sonde gastrique placée		
(58;97;95)	05.53 TR lancé		
(53)	06.49 "les chirurgiens doivent se dépêcher"	EVA(plan)	anticipation de l'évolution défavorable
	07.27 atropine	ACTts(d)	
	07.27 diprivan sur pompe	ACTts(d)	
	07.27 sufenta	ACTts(v)	
	08.20 "les chirurgiens se dépêchent pour inciser"	EVA(plan)	
(48;120;96)	08.29 "il est hypertendu, bradycarde "	EVA(synth)	
	08.52 mannitol	ACTts(d)	traite la tension à la demande des chirurgiens
'48;110;95)	09.37 incision	EVA(s2)	
	10.18 "Où en sont les chirurgiens ?"	DI(ch)	
	10.18 11.16 "je laisse la tension comme cela"	EVA (effet)	
	10.20 position Foler	ACTts(p)	
(48;100;93)	11.39 lasix	ACTts(d)	
	12.30 "demande de se dépêcher"	EVA(plan)	

Figure 26. Exemple de protocole d'expérimenté E1 sur scénario 1

2.2. Scénario 2 Ischémie myocardique, segment ST

Les délais de détection du segment ST à l'ECG sont repris dans le tableau ci-dessous.

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Détection du ST	7.37	---	2.9	0.3	7	---	1.49	6	3.17	1.47	0.30	2

Tableau 27. Délais de détection du sous-décalage du segment ST (minutes)

Tous les sujets plus expérimentés, à l'exception de E2 de même que N3 et N4, détectent rapidement le sous-décalage du segment ST (délai de détection moyen : 1.7 minutes).

L'analyse détaillée des protocoles d'action montre que ces sujets concentrent leur attention sur les modifications de l'ECG dès le début de l'intervention. On pourrait relier cette observation au fait qu'ils ont anticipé le risque d'ischémie myocardique durant le briefing, au vu de l'anamnèse du patient. Cependant, N1, N5 et E2 l'ont également détecté. Dès lors, c'est dans l'utilisation de cette information que les deux groupes diffèrent. Celle-ci n'est apparemment pas exploitée par N1, N5 et E2 pour activer l'attention et orienter le diagnostic dans l'activité effective.

Légende : FC : fréquence cardiaque/minutes; MAP : pression artérielle moyenne/mmHg; SpO₂ : Saturation en oxygène/%; EtCo₂ : mesure du Co₂ télé-expiratoire/mmHg ; Temp : température; TR : troubles du rythme; FV : fibrillation ventriculaire; TV : tachycardie ventriculaire; PVC : pression veineuse centrale

Statut du patient FC;MAP;SpO ₂ ;EtCo ₂ ; Temp)	Événements	Codage	Analyse
(56;89;98)	00.00 08.04 séquence d'intubation		séquence d'intubation
	08.10 ST lancé		
(95,80,98)	08.10 09.42 règle le respirateur		
St 1 mm	08.36		
ST 2 mm	09.48		
	09.53 antibiotiques		
St al. silencieuse	10.56 ajuste la ventilation	ACTts(v)	détection de la désaturation
(40)	10.25 vérifie les connexions du tube	ACTts(v)	
	11.46 atropine 1 mgr	ACTts(d)	traite la bradycardie
(50.91)	13.06 xylocaïne	ACTts(d)	traite les troubles du rythme
	13.10 les chirurgiens se plaignent de la tension élevée		
(56;117)	14.10 isflurane à 1.5%	ACTts(d)	approfondissement du plan d'anesthésie
	15.07 les chirurgiens se plaignent de la tension		
	15.45 trandate	ACTts(d)	réponse à la demande des chirurgiens
(salve de TV)	16.06		
	17.14 xylocaïne	ACTts(d)	traite les TR

Figure 27. Exemple de protocole de novice N2 sur le scénario 2

Statut du patient FC;MAP;SpO ₂ ;EtCo ₂ ; Temp)	Événements	Codage	Analyse
(64;90;98)	00.00 05.54 séquence d'intubation		
	05.00 ST lancé		
ST + 1 mm)	06.15		

	06.20 06.41 fixation du tube règle la ventilation		séquence d'intubation
	08.52 "quelque chose m'embête, il sous décale"	EVA(s1)	
	09.00 cédocar	ACTts(d)	

Figure 28. Exemple de protocole d'expérimenté E4 sur le scénario 2

2.3. Scénario 3

Choc anaphylactique

Tous les sujets expérimentés, à l'exception de E2, posent le diagnostic durant la simulation, un seul novice (N6) y parvient (voir tableau 25). Celui-ci évoque le diagnostic après une minute de scénario, ce qui permet de penser qu'il ne le fait pas sur base d'une évaluation de la situation, mais plutôt de manière spéculative. La façon dont il met en place la réponse (injection immédiate de fortes doses d'adrénaline) et l'explication sollicitée lors du debriefing confirment cette supposition.

Le tableau 28 reprend les différentes hypothèses inférées par l'ensemble des sujets. Il montre des différences significatives entre les deux groupes ($p=0.0073$).

La première hypothèse émise dans les deux groupes face aux signes de tachycardie et d'hypotension est un problème d'hypovolémie, avec pour réponse associée l'injection d'éphédrine et l'augmentation des perfusions. Seulement 2 sujets pensent à mettre le patient en position Trendelenburg et à diminuer le plan d'anesthésie.

Ensuite, tous les sujets plus expérimentés de même que N1 et N2 auscultent le patient, cherchant manifestement à expliquer la désaturation perçue par la présence d'un bronchospasme. A ce stade, on peut supposer que la désaturation, couplée avec les autres signes, mais surtout associée au fait que le traitement de l'hypovolémie n'améliore pas la situation, active dans le groupe E le diagnostic du choc anaphylactique, même si celui-ci n'est pas verbalisé. En effet, lorsqu'on compare dans les deux groupes l'administration d'adrénaline à fortes doses, qui constitue le traitement de choix pour le choc anaphylactique, on constate que tous les sujets plus expérimentés injectent la dose pertinente (0.5 mg) après en moyenne 8.3 minutes du lancement de l'incident, alors que la majorité des sujets novices n'augmente que faiblement le dosage d'adrénaline (0.2 mg) et ce jusqu'à la fin de la simulation, à l'exception de N5 qui traite symptomatiquement la fibrillation ventriculaire en augmentant fortement le dosage de l'adrénaline mais ne pose pas le diagnostic et de N6 qui, comme nous l'avons dit plus haut, ne titre pas les injections.

L'ensemble de ces résultats nous permet de caractériser les raisonnements et les objectifs poursuivis dans les deux groupes.

Il apparaît clairement que le comportement des novices est guidé par un objectif général de compréhension. Les sujets ont tendance à raisonner de façon diagnostique en générant des hypothèses tout au long de la situation.

En revanche, les sujets plus expérimentés posent plus rapidement le diagnostic correct, ce qui favorise un raisonnement prédictif et facilite une régulation efficace du problème, en particulier quand les caractéristiques temporelles de celui-ci sont exponentielles. Ce raisonnement prédictif est extériorisé dans les comportements de planification relevés chez les sujets du groupe E (ex. préparation du défibrillateur, préparation d'adrénaline et appel d'aide, etc.) (cfr. Tableau 26).

Sujets		Hypothèses différentes
Novices	N1	1. hypovolémie
	N2	1. hypovolémie 2. hyperthermie maligne
	N3	1. hypovolémie 2. choc septique
	N4	1. plan d'anesthésie trop profond 2. hyperthermie maligne 3. hypovolémie
	N5	1. hypovolémie 2. choc anaphylactique
	N6	1. ne dort pas assez 2. hypovolémie 3. choc anaphylactique
Expérimentés	E1	1. hypovolémie 2. choc anaphylactique
	E2	1. hypovolémie 2. déséquilibre de potassium
	E3	1. hypovolémie 2. choc anaphylactique
	E4	1. hypovolémie 2. choc anaphylactique
	E5	1. hypovolémie 2. hyperthermie maligne 3. choc anaphylactique
	E6	1. hypovolémie 2. choc anaphylactique

Tableau 28. Hypothèses inférées dans les deux groupes

2.4. Scénario 4 Hyperthermie maligne

Tous les individus du groupe E posent le diagnostic en cours de la simulation alors que seulement deux du groupe N l'énoncent. Le temps de diagnostic est en moyenne de 5 minutes sauf pour un individu du groupe E qui le pose beaucoup plus tard.

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Suspicion du diagnostic	4.3	----	----	----	----	----	4.05	5.59	5.15	5.15	6.57	----
Mise en place du traitement	4.54	5.05	----	----	----	----	11.1	7.08	5.3	6.3	7.24	23.1

Tableau 29. Délais de suspicion du diagnostic et mise en place du traitement de choix

L'analyse détaillée du processus de résolution de problèmes permet de comparer la stratégie des 2 groupes quant à l'identification des symptômes et la génération d'hypothèses. Les figures 29 et 30 présentent des exemples de protocoles de débutant et de plus expérimenté.

La tachycardie est le premier signe observé dans les deux groupes. Il active l'hypothèse, la plus fréquente au cours d'une anesthésie, d'un patient mal endormi. La désaturation est ensuite perçue. Elle est rattachée dans les deux groupes, également sur base de la fréquence, à un problème de ventilation.

C'est au niveau de la perception du troisième signe que les deux groupes diffèrent. Alors que l'attention de la majorité du groupe N reste fixée sur la désaturation, celle du groupe E, ainsi que celle des deux novices qui ont posé le diagnostic, se porte sur l'augmentation du CO₂.

Dans le groupe N, les sujets s'attachent à expliquer la désaturation jusqu'à la fin de la simulation, en générant successivement des hypothèses variées (bronchospasme,

inhalation, embolie pulmonaire (1 cas)) qu'ils utilisent comme base pour mettre en place des actions de récupération qui s'avèrent toutes inefficaces.

Dans le groupe E, l'augmentation sévère du CO₂, couplée aux autres signes, semble activer de façon instantanée l'hypothèse d'hyperthermie maligne puisque les sujets s'informent de la température du patient moins d'une minute après la mise en place de la réponse à la désaturation. Celle-ci s'avérant inefficace, les sujets cherchent rapidement à confirmer l'hypothèse inférée par la mise en place d'un thermomètre.

Il est à noter que l'anesthésiste du groupe E ayant posé tardivement le diagnostic perçoit l'augmentation du CO₂ mais s'attache longuement à traiter la tachycardie avant de chercher à expliquer l'acidose.

En ce qui concerne la compréhension du cas, on note une différence importante dans l'explication du diagnostic, lors du debriefing, entre les sujets expérimentés et les sujets novices qui ont diagnostiqué l'incident. Alors que les anesthésistes du groupe E fournissent une explication correcte des phénomènes observés et surtout des relations qui existent entre les signes sur la base de connaissances pathophysiologiques, les deux novices sont incapables d'expliquer l'ensemble de la symptomatologie et les explications partielles fournies sur des symptômes isolés sont incorrectes.

Légende : FC : fréquence cardiaque/minutes; MAP : pression artérielle moyenne/mmHg; SpO₂ : Saturation en oxygène%; EtCO₂ : mesure du CO₂ télé-expiratoire/mmHg ; Temp : température; TR : troubles du rythme; FV : fibrillation ventriculaire; TV : tachycardie ventriculaire; PVC : pression veineuse centrale

Statut du patient FC;MAP;SpO ₂ ;EtCO ₂ ; Temp)	Événements	Codage	Analyse
	02.18 08.35 séquence d'intubation antibiotiques		
(75;83;98)	07.59 HM lancée		
(95;80;98)	09.41 "il est tachycarde"	EVA(s1)	Hypothèse : patient mal endormi
	09.47 sufenta	ACTts(d)	-----> réponse
(122;75;94,45)	10.21 "la saturation est à 94"	EVA(s2) :	Hypothèse: patient mal ventilé
	10.25 vérifie les connections du tube	ACTts(v)	
(133;60;92;50al)	10.45 ausculte	ACTds(v)	Hypothèse : bronchospasme
	11.10 reprend la ventilation à la main	ACTds(v)	--> réponse : teste les résistances et assiste la ventilation
(140;55;87;60al)	11.20 "il respire symétriquement, peut-être y a-t-il une fuite au ballon ?"	EVA(hyp)	cherche une explication
	11.39 vérification du ballon	ACTds(v)	
(153;48;90;75)	13.16 le chirurgien demande s'il peut commencer	DI(o)	
	13.23 "je n'ai pas de capno"	EVA(s3)	détection
	13.34 ouvre la capnométrie	ACTts(m)	
	14.44 remet au respirateur	ACTts(v)	
	15.05 Abandon de la situation		

	15.27 arrivée du senior : "Que se passe-t-il ?" N: "la saturation est mauvaise; il a peut-être un bronchospasme."		fixation sur la désaturation
--	---	--	------------------------------

Figure 29. Exemple de protocole de N6 sur le scénario 4.

Statut du patient FC;MAP;SpO2;EtCo2; Temp)	Événements	Codage	Analyse
	00.04 12.49 séquence d'intubation antibiotiques		
(79;83;98)	12.49 HM lancée		
(92;80;98)	16.04 sufenta	ACTTs(d)	détection de la tachycardie Hypothèse : patient mal endormi -- -> réponse
	16.55 auscultation	ACTDs(v)	détection de désaturation Hypothèse : problème de ventilation
(100;67,96,26)	17.40 augmente la ventilation	ACTTs(v) :	---> réponse
	18.13 chirurgie on		
(105;60;97;50al)	18.33		
	18.59 "Est-ce qu'il est chaud ?"	DI(p)	aucune amélioration observée diagnostic différentiel Hypothèse : hyperthermie
	19.00 met un thermomètre	ACTDs(m)	vérification de l'hypothèse inférée
(110,50;95;60al, 38.1)	19.41 auscultation	ACTDs(v)	diagnostic différentiel (bronchospasme ?)
	19.41 "c'est une hyperthermie"	EVA(hyp)	confirmation du diagnostic
(122;48;90;75)	20.08 22.34 coupe vapeur o2 pur commande dantrium		mise en place du traitement

Figure 30. Exemple de protocole d'expert E2 sur le scénario 4

2.5. Scénario 5

Tamponnade cardiaque

Tous les sujets du groupe E et un sujet du groupe N diagnostiquent le problème en cours de simulation. Le délai de diagnostic est long (en moyenne 15.25 minutes).

	N1	N2	N3	E1	E2	E3
Délais de diagnostic	---	---	14	10	17	20

Tableau 30. Délais de diagnostic de la tamponnade cardiaque (minutes)

La tachycardie et l'hypotension observées dès le début de la simulation sont associées par tous les sujets à une hypovolémie avec pour réponse une augmentation des perfusions et une diminution du plan d'anesthésie. L'augmentation de la PVC est ensuite perçue par tous les sujets à l'exception de N2. Il est à noter que cette manifestation n'évoque pas le diagnostic chez N1 et E3. Le premier continue à remplir le patient, s'attachant à l'hypothèse d'hypovolémie et ce malgré qu'il n'y ait aucune amélioration. E3, par contre, utilise un raisonnement diagnostique différentiel : les troubles du rythme ainsi que l'augmentation de la PVC sont d'abord

attribués à la dopamine administrée en cours de route puis à une l'embolie graisseuse. L'observation d'une saturation normale lui fait infirmer cette hypothèse et c'est la mise en place d'une sonde Swan-Ganz qui active le diagnostic correct.

Légende : FC : fréquence cardiaque/minutes; MAP : pression artérielle moyenne/mmHg; SpO₂ : Saturation en oxygène%; EtCo₂ : mesure du Co₂ télé-expiratoire/mmHg ; Temp : température; TR : troubles du rythme; FV : fibrillation ventriculaire; TV : tachycardie ventriculaire; PVC : pression veineuse centrale

Statut du patient FC;MAP;SpO ₂ ;EtCo ₂ ; Temp)	Événements	Codage	Analyse
	00.00 09.47 séquence d'intubation		
(110;91;97)	09.47 incident lancé		
(122;77;95) PVC5	10.17 "le sang n'est pas là "	EVA(plan)	
	10.30 augmente les perfusions	ACTts(f)	
(121;53)	11.24 éphédrine 10 mgr	ACTts(d)	
	11.30 coupe vapeur	ACTts(d)	
(154;50) PVC10	12.13 adrénaline	ACTts(v)	
ST+2 mm (84;80)	12.20 "ça saigne ?"	DI(ch)	hypothèse : hypovolémie, hémorragie
	13.05 dopamine	ACTts(d)	
PVC13	13.10 il a 11 de PVC, on remplit toujours"	EVA (Si)	hypothèse confirmée ---> même traitement
FV	13.30		
FV	14.00 17.02 massage adrénaline o2 pur adrénaline augmente les perfusions demande le pouls adrénaline aspire met sur embout sang bicarbonate	ACTts(p) ACTts(d) ACTts(v) ACTts(d) ACTts(f) DI(p) ACTts(d) ACTds(v) ACTds(v) ACTts(f) ACTts(d)	traitement symptomatique des troubles du rythme
	19.27 arrivée du senior: "quid ?" N: "il est en asystolie; il a 17 de PVC, il est vide" S: es-tu certain que ce soit une asystolie ? N: c'est une FV	ACTts(d)	
	26.59 choc	ACTts(m)	
(148;84)	27.00		

Figure 31. Exemple de protocole de novice N1 sur le scénario 5

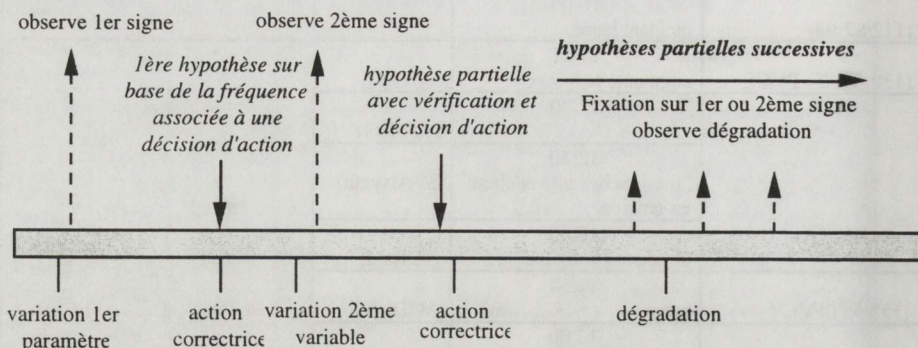
Statut du patient FC;MAP;SpO ₂ ;EtCo ₂ ; Temp)	Événements	Codage	Analyse
	00.00 10.00 séquence d'intubation		
(112;82;98)	10.00 incident lancé		
(130;60;95) PVC5	11.11 augmente le forène	ACTts(d)	
	12.20 ausculte	ACTds(v)	
	12.30 "il est tachycarde et chute en tension"	EVA(synth)	
	12.40 augmente le forène	ACTts(d)	
(152;45) PVC7	12.54 ausculte	ACTds(v)	
	13.00 "la PVC est à 7"	EVA(si)	
	13.12 sufenta	ACTts(d)	
	13.12 "ceci c'est la PA, non la tension"	EVA (Si)	
	13.40 diminue forène		
FV	13.49 28.13 O2 pur massage adrénaline adrénaline adrénaline appel d'aide xylocaïne choc 200 choc 360 appel du chirurgien cardiaque choc 360 dopamine dobu	ACTts(v) ACTts(p) ACTts(d) ACTts(d) ACTts(d) DI(o) ACTts(d) ACTds(m) ACTds(m) DI(o) ACTTS(m) ACTts(d) ACTts(d)	suspiçon de la tamponnade
	28.13 arrivée du chirurgien cardiaque qui ouvre.		
	28.20 tamponnade	EVA(diag)	

Figure 32. Exemple de protocole d'expérimenté E1 sur le scénario 5

3. Modèle de l'activité de résolution de problèmes

Des analyses détaillées des protocoles d'action, on peut dégager un modèle de l'activité de résolution de problèmes conduisant à l'abandon ou au diagnostic des problèmes.

Vers un abandon:



Vers un diagnostic correct:

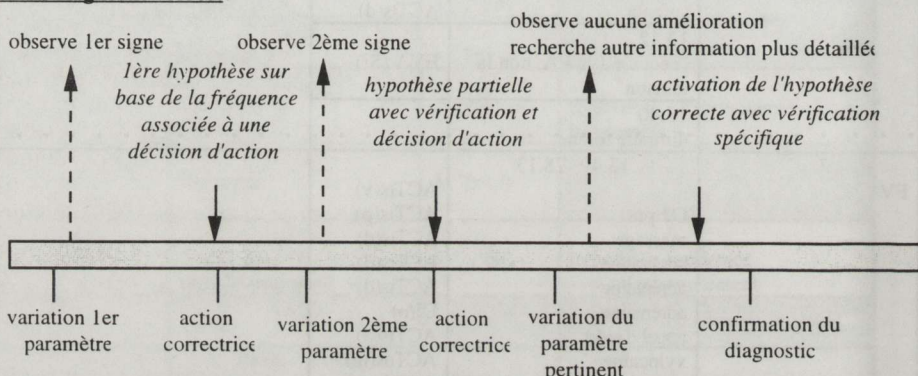


Figure 33. Modèle de l'activité de résolution de problèmes en situation dynamique

Ce modèle illustre de façon schématique les liens entre le diagnostic, la prise de décision et l'action, dans une situation problème dynamique.

Dans une première phase, l'anesthésiste, quel que soit son niveau d'apprentissage, reconnaît automatiquement la variation d'un paramètre-cible (fréquence cardiaque, tension, saturation) et déclenche immédiatement l'action correctrice; on observe souvent la même stratégie automatique de diagnostic pour l'évocation des deux premières hypothèses et décisions d'action mises en oeuvre. Mais l'activité de diagnostic n'est pas terminée pour autant; le recueil des informations complémentaires prend souvent du temps.

Dans une deuxième phase, l'évocation du diagnostic correct dépend, de façon critique, de l'attention du sujet dirigée sur l'information discriminative du diagnostic lorsqu'aucune amélioration n'est observée, mais aussi du travail d'inférence réalisé permettant d'intégrer cette nouvelle information aux anciennes et guidant le processus de recherche vers une hypothèse explicative cohérente.

4. Résumé des résultats et discussion

Les cinq scénarios comparent, selon le degré d'expérience, les démarches des anesthésistes et leurs implicites dans la gestion d'une même situation problème, de

complexité variée. L'intérêt de cette comparaison est de faire apparaître certaines caractéristiques propres au fonctionnement de l'anesthésiste, à différents niveaux de formation et selon la complexité de la tâche.

Ces observations ont des implications importantes en matière de formation et de prévention. Elles nous renseignent à la fois sur la nature des habiletés requises pour répondre aux exigences de la tâche et sur les capacités de résolution de problèmes et les difficultés associées, à un moment de formation donné. Autrement dit, elles traitent à la fois du contenu de la formation (extraction de l'expertise) et des méthodes de formation.

Plusieurs variables quantitatives, mais aussi qualitatives, ont été utilisées pour comparer les performances des sujets : précision et délai du diagnostic, identification et sélectivité des indices, hypothèses générées, type de raisonnement, cohérence de l'explication et type de comportement. À partir de ces variables, on peut résumer et discuter les résultats obtenus.

4.1. Précision du diagnostic

Le tableau 25 montre que la majorité des novices diagnostiquent les situations problèmes 1 et 2, mais ne parviennent pas à identifier les problèmes 3, 4 et 5 alors que les anesthésistes plus expérimentés bien.

Ces résultats soulèvent 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 expérimentés 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, comme les plus expérimentés, ont au moins une connaissance initiale formelle des problèmes 3, 4 et 5, déclarative pour reprendre la distinction introduite par Anderson (1982). La présence de ce type de connaissances chez les novices ne s'est pas révélée un prédicteur de réussite. Le même résultat a été obtenu par Schraagen et Schaafstel (1996) dans le cadre d'une étude sur le dépannage électronique.

Les analyses réalisées font apparaître à la fois un effet de la complexité de la tâche et un effet de l'expertise sur la performance.

Ainsi, il semble plus pertinent de faire reposer la difficulté à la fois sur les caractéristiques inhérentes de la situation problème et sur le fonctionnement cognitif du sujet, à un moment de formation donné.

On retrouve cette idée dans le concept de 'complexité cognitive' développé, notamment, dans les travaux de Feltovich et al. (1989) sur la compréhension des concepts biomédicaux. Pour Feltovich, un concept est complexe parce qu'il crée des demandes inhabituelles sur le fonctionnement cognitif. Celles-ci 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, les scénarios 1 et 2 impliquent l'observation d'une seule source de variation : l'ECG. La mémoire de travail est peu sollicitée et la fréquence d'occurrence du problème dans la pratique quotidienne est élevée. La surveillance de l'ECG fait partie des protocoles comportementaux standards qu'utilisent les sujets novices de façon routinière. Appliqués de façon systématique, ces protocoles permettent de détecter et d'identifier certains problèmes qu'ils couvrent. C'est ainsi que N1, N5 et E2 détectent incidemment l'ischémie myocardique après plusieurs minutes de surveillance de l'ECG.

Dans les scénarios 3, 4 et 5, le diagnostic exige l'observation, la sélection et la mise en relation de plusieurs sources d'information. Ceci implique des connaissances sur la structure causale et temporelle du processus qui font manifestement défaut chez les novices.

Ce résultat est compatible avec les travaux récents qui montrent l'influence déterminante du répertoire d'actions disponibles sur l'organisation des connaissances et sur la représentation de la causalité du domaine (Cuny, 1979; Bainbridge, 1988; Hoc, 1989). Dans le domaine nucléaire, Masson et al. (1993) sont parvenus, par des techniques de

verbalisation, à décrire la représentation de la structure causale du processus chez des ingénieurs de degrés d'expertise variés. Ces auteurs montrent que l'expertise se traduit par la construction d'un système de représentations causales différent, fortement dépendant des objectifs et des répertoires d'actions, comme l'ont montré également Patel et al. (op. cit.) dans le domaine médical (voir partie 1).

De ces résultats, on retire une implication essentielle : la possibilité qu'a un opérateur, par son expérience, de manipuler des représentations schématisques du processus. Ces représentations d'ensemble permettent de traiter des situations d'une plus grande complexité.

4.2. Délais de diagnostic

Les sujets plus expérimentés prennent moins de temps que les novices pour diagnostiquer et traiter une même situation problème, cela quel que soit son degré de complexité (cfr. Figure 22).

Ce résultat doit être mis en relation avec les recherches sur l'expertise, développées dans la partie 1, qui montrent que chez des opérateurs expérimentés, les connaissances acquises leur permettent d'agir par anticipation (Hoc, 1991; Iosif & Vochita, 1992; Van Daele, 1993).

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).

Il faut remarquer néanmoins que les résultats relatifs au scénario 2 montrent que, comme les plus experts, les novices sont capables d'anticiper le problème d'ischémie myocardique à partir de l'anamnèse du patient, lors du briefing. En revanche, cette mobilisation anticipée n'oriente pas chez eux l'attention vers l'information-cible en cours de réalisation, mais bien chez les sujets plus expérimentés. Par conséquent, la différence de performance entre les deux groupes ne s'analyse pas ici en termes de capacité d'anticipation mais plutôt dans le cadre du modèle des ressources attentionnelles de Khaneman (1973) et du traitement cognitif de l'information.

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 comme en témoigne aussi l'analyse du scénario 1. 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.

Comme l'a développé Bainbridge (1984, 1989), l'activité d'un novice est double : en même temps qu'il exécute une tâche, il doit aussi acquérir des connaissances nécessaires à cette exécution. N'ayant que peu de connaissances sur les effets des actions, il éprouve un grand besoin de vérifier ce qui se passe. Le feedback lui est indispensable pour acquérir des connaissances sur le fonctionnement du processus. Or, comme nous l'avons souligné dans la partie théorique, attendre un feedback dans une situation dynamique peut compromettre la récupération de la situation.

En revanche, l'automatisation du plan principal acquise avec la pratique permet aux plus expérimentés que des économies attentionnelles soient réalisées. C'est alors que le processus attentionnel se libère pour résoudre des problèmes plus stratégiques de planification et d'anticipation (Anderson, 1982).

Dans le domaine de l'aviation civile, Amalberti (sous presse) a montré que les pilotes d'avion expérimentés parviennent à mieux gérer les interruptions, nécessitées par le temps partagé, que les débutants. En particulier, ils n'interrompent les tâches que lorsqu'ils les maîtrisent. Le superviseur attentionnel, comme nous l'avons décrit dans la partie 1 théorique, est concerné par la possibilité d'interrompre volontairement le plan en cours. Nos résultats suggèrent que l'apprentissage influence la mise en oeuvre de ce système. Ceci serait compatible avec l'hypothèse, avancée par Damasio (1995), des marqueurs somatiques qui stimuleraient la mise en oeuvre des mécanismes de l'attention et de la

mémoire du travail et qui seraient élaborés pour la plupart au cours des processus d'éducation et de socialisation.

4.3. Identification des informations

L'analyse détaillée des protocoles montre que les novices et les plus experts sont attentifs aux même informations dans un premier temps. L'attention semble s'orienter de manière automatique sur trois variables-cibles : FC, T, Sat.

Durant la simulation, alors que l'attention des novices reste focalisée sur ces variables, celle des plus expérimentés est dirigée vers d'autres sources d'information (monitoring spécifique, patient et champ chirurgical). Cette attention est manifestement contrôlée (orientation volontaire). Elle est au service de l'activité cognitive de diagnostic et cherche à confirmer ou infirmer les hypothèses explicatives retenues.

Un phénomène du même type a été observé par Samurcay & Rogalsky (1988) dans la gestion de crise en Sécurité Civile. Ces auteurs ont montré que les opérateurs experts s'appuient sur un plus large spectre de descripteurs de la situation.

Plusieurs auteurs font appel à la notion de modèle mental (Johnson-Laird, 1983) ou de modèle de la situation (Kintch, 1986) pour conceptualiser la représentation du monde que les individus se sont construite à travers leurs expériences et leurs apprentissages et qui est activée lors de la situation de résolution de problèmes. Patel et Groen (1988) suggèrent que la performance des experts est fortement dépendante de ce modèle construit. Mais la notion de modèle n'a d'intérêt que si elle est définie et si les descriptions du monde et de la représentation que s'en fait l'individu sont précisées. L'idée que les sujets ont une représentation en termes de système a conduit certains chercheurs à construire des programmes d'apprentissage orientés vers l'acquisition de connaissances sur ce système (Tapeiro et al., 1988; Kluwe, 1997). C'est une des optiques du programme de formation à la gestion crise développé par Gaba et al. (1994) pour les anesthésistes. Il met l'accent sur l'enseignement d'un modèle conceptuel du fonctionnement du système, évidemment opérationnel pour la prise de décision dans des phases particulières de résolution de problèmes.

4.4. Génération d'hypothèses et testing

Les novices génèrent plus d'hypothèses que les experts au cours de la simulation. Leur prises d'information, les contrôles et les questions sur la situation problème sont clairement stéréotypés. En l'absence de connaissance spécifique sur le problème, ils se rattachent manifestement à des stratégies opératoires de routine qu'ils maîtrisent bien. Leur comportement est guidé par un objectif général de compréhension, mais ils ont tendance à passer d'une hypothèse à une autre, sans chercher à la vérifier, ce qui rappelle la pathologie du vagabondage thématique mise en évidence par Dörner (1987) dans ses études sur microworlds.

Par rapport aux novices, les prises d'information, les contrôles et les questions des plus expérimentés apparaissent organisées et hiérarchisées. Elles manifestent un processus de diagnostic orienté par des hypothèses précises que le sujet cherche à vérifier par des stratégies qui s'appuient davantage sur les connaissances des problèmes : implantation d'un monitoring détaillé, mise en place d'un traitement spécifique et prédiction de l'évolution des paramètres; trois stratégies qui ont valeur de test d'hypothèses dans le raisonnement diagnostique.

Ce résultat argumente en faveur d'une hiérarchisation des connaissances expertes (Chi et al., 1982 qui peut participer à la réduction de la complexité (Brehmer, 1988). A cet égard, nous avons parlé de structure de contrôle hiérarchique (Rasmussen, 1986; Leplat, 1988b). Une telle hiérarchisation faciliterait un raisonnement prédictif et favoriserait une résolution efficace dans une situation dynamique, comme le suggèrent aussi les études de Patel et al. (1989b) sur le diagnostic médical réalisées à partir de récits d'interviews cliniques.

4.5. Types de raisonnement

L'enregistrement vidéo des simulations nous a permis de décrire et d'analyser en détail l'évolution des représentations des sujets en relation avec les caractéristiques des scénarios.

Le développement successif, en général, des premiers signes critiques favorise, au début, un traitement séquentiel de l'information dans les deux groupes. Les sujets utilisent les indices généraux dans l'ordre de leur présentation pour générer successivement des hypothèses explicatives partielles, largement déterminées par le jeu de la fréquence. Les indices environnementaux appellent un schéma bien connu stocké en mémoire, auquel est associé un diagnostic et une décision d'action. Cette stratégie permet la récupération rapide des situations problèmes simples, fréquentes dans la pratique quotidienne telles que les situations 1 et 2.

Cette stratégie de 'pattern matching' a été abondamment décrite dans la littérature sur l'erreur humaine (Reason, 1990). Plusieurs recherches récentes ont mis l'accent sur les schémas utilisés par les experts dans l'interprétation des indices (Lesgold, 1989; Amalberti & Deblon, 1992; Groen & Patel, 1988). Ce résultat désavoue l'idée selon laquelle l'expertise médicale ne s'explique que dans le cadre strict de la logique hypothético-déductive.

Les données relatives aux scénarios 3, 4 et 5 suggèrent que la solution chez les experts est évoquée aussi de façon largement automatique dans les situations problèmes complexes qu'ils n'ont jamais rencontrées. Les hypothèses explicatives correctes sont activées chez eux de façon instantanée dès que les hypothèses les plus fréquemment rencontrées sont évaluées inadéquates. Cette évaluation, en revanche, semble être dirigée par une activité contrôlée d'inférence qui permet d'anticiper le déroulement des événements. Non seulement cela guide de manière proactive la prise d'information mais cela permet aussi d'intégrer les nouvelles informations et les anciennes pour réévaluer la cohérence de l'hypothèse.

Ce résultat est compatible avec les analyses de Feltovitch et al. (1989) et celle de Lesgold (1989). Selon ces auteurs, le diagnostic chez les experts se décompose en deux processus: le premier, largement automatique, correspond à la reconnaissance d'un schéma stocké en mémoire; le second, plus lent, vise à préciser, contextualiser et/ou vérifier l'hypothèse retenue.

4.6. Cohérence de l'explication

L'analyse des verbalisations lors des debriefing montre que les anesthésistes plus expérimentés fournissent une explication correcte des phénomènes observés et des relations entre les variables. Leur explication est davantage centrée autour de l'activité de diagnostic et met en scène les informations pertinentes.

Par contre, les novices sont incapables d'expliquer l'ensemble de la symptomatologie, même pour les scénarios simples 1 et 2. Les explications partielles fournies sont centrées autour d'une ou deux informations et les corrélations entre variables sont parfois fondées sur des croyances erronées. Cette observation attire l'attention sur le fait que la performance peut être efficace sans des connaissances profondes de la structure causale du processus, dans certaines situations problèmes simples. Patel et al. (1989a) ont observé le même phénomène à partir de cas cliniques écrits.

Les protocoles comportementaux standards utilisés par les novices pour surveiller le processus couvrent donc certaines situations problèmes de routine. Mais cette condition s'avère particulièrement restrictive en anesthésie, où les marges de variation dans les conditions et l'exécution de l'activité sont grandes.

4.7. Types d'actions

Par rapport à la littérature, un résultat est surprenant : les actions de régulation sont plus nombreuses chez les plus experts. Ceci est contraire aux résultats obtenus dans d'autres études de terrain réalisées notamment par Neboit (1983) et par Van Daele (1993).

Van Daele s'est intéressée au contrôle de processus par anticipation en tant que stratégie réductrice de la complexité des situations. Elle a montré à partir d'une simulation de haut fourneau que les sujet experts se distinguent des novices par une plus grande économie et une plus grande sélectivité des actions et des prises d'information, qu'elle relie aux connaissances que les experts possèdent sur l'évolution du processus.

Dans notre étude, ce qui caractérise la conduite des experts, c'est une plus grande ventilation et une plus grande variabilité des comportements. Cette variabilité est clairement volontaire. On rejoint ici les travaux de Sloboba (1985) qui montrent, chez des pianistes d'expériences différentes, l'existence de variabilités dans la force de frappe. Celles-ci sont plus amples chez le pianiste confirmé. L'auteur suggère que ces microvariations dépendent chez le pianiste moyen d'un manque de contrôle dans une exécution qui lui échappe parfois, alors que chez le pianiste confirmé, ces variations dépendraient d'une capacité croissante lui permettant de pouvoir délibérément les y introduire notamment pour répondre aux contraintes extérieures.

Ce résultat a des implications importantes en matière de formation. Face au problème de l'erreur humaine dans les systèmes complexes, la tendance est aujourd'hui à limiter la variété des comportements humains par le biais de procédures strictes, à la fois pour faciliter les processus de reconnaissance et de contrôle des opérateurs, mais aussi pour augmenter la prédictibilité de leur actions.

Limiter la variété des comportements n'est cependant qu'un moyen pour réduire la complexité du système. Il n'est pas sûr qu'un tel moyen soit toujours le plus adapté. Dans notre étude, l'activité experte est riche en comparaison à celle des novices. Dès lors, peut-être, convient-il plutôt de mettre l'accent sur cette richesse tant sur le plan individuel que collectif, plutôt que sur l'entraînement à des procédures restrictives. Une telle démarche peut être facilitée par l'introduction d'une hiérarchisation. Des travaux réalisés en science cognitive et en intelligence artificielle ont proposé, dans une perspective pratique, d'utiliser une structure hiérarchique de plans pour guider l'activité de l'opérateur, principalement lorsqu'il s'agit de prendre une décision dans un système incertain et dynamique (Hoc, 1987; Hollnagel, 1991b).

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Au début de cette thèse, nous avons suggéré que l'erreur humaine ne peut pas s'expliquer dans le cadre strict d'une causalité unique dans les systèmes complexes et qu'elle se caractérise par des associations entre variables se référant au système en tant que tel, à ce que les composantes homme-tâche-environnement font ensemble.

Les travaux que nous avons présentés vont, de façon générale, dans le sens de cette hypothèse. La première partie théorique a essentiellement cherché à fournir une justification de cette supposition. L'étude de terrain a dégagé certains éléments d'une vérification. Quant à l'étude sur simulateur, elle a exploré certaines relations plus spécifiques entre la performance humaine, la complexité de la tâche et le degré d'apprentissage. Il reste donc à coordonner l'ensemble des résultats.

Une remarque préalable est cependant utile avant d'aborder cette discussion finale.

Il existe dans la littérature sur l'erreur humaine de nombreux modèles qui examinent de manière théorique les conditions externes et internes de la fiabilité humaine et leurs relations. Rares sont les recherches empiriques consacrées à cette étude. On comprend aisément pourquoi, au terme de cette thèse; lorsqu'on parle d'erreur, on y associe l'idée de responsabilité et de culpabilité, d'où la difficulté de récolter des données sur ce thème. En fait, c'est tout le contraire de notre point de vue qui n'a aucune raison d'inquiéter ceux qui pensent que l'attention portée à l'erreur peut conduire à davantage de responsabilisation. Ce qui, personnellement, nous soucie est que l'on accepte de parler d'erreur sans faire d'effort pour comprendre l'homme dans son environnement. C'est précisément ce manque de compréhension du contexte d'interaction qui est un sujet d'alarme.

La façon dont est présentée l'erreur humaine dans cette thèse, l'hypothèse et les études que nous avons réalisées pour l'éprouver visent à mieux comprendre les relations qui existent entre l'homme, la tâche et son contexte, afin d'apporter des aides efficaces à la performance. Trois questions principales sont posées : quelles sont les situations problèmes auxquelles sont confrontés les anesthésistes ? Comment les gèrent-ils et quelles aides peut-on fournir pour les assister davantage dans leur travail ?

L'étude de terrain a principalement cherché à répondre à la première question. Remarquons d'abord que la majorité des situations problèmes que nous avons recueillies concernent des interventions considérées à risque faible, qui n'ont pas été envisagées comme problématiques par l'anesthésiste. Quelquefois, la réponse au problème s'est révélée être familière mais, souvent il s'agit de situations de résolution de problèmes, puisque c'est précisément dans des conditions considérées à risque faible que le patient est laissé sous la surveillance d'un personnel moins expérimenté. En effet, le traitement des problèmes posés par la chirurgie lourde procure automatiquement à ces patients-là une sécurité renforcée.

La question est surtout de comprendre pourquoi les anesthésistes ne parviennent pas toujours à traiter convenablement ces situations.

La mise en perspective des analyses contextuelle, psychologique et systémique a permis d'identifier le caractère déficient du mécanisme de traitement qui a conduit au problème et

les conditions dans lesquelles ce mécanisme a été mis en oeuvre. Ainsi, quatre configurations de production d'erreurs ont été identifiées.

Dans la première configuration, c'est la non détection d'un changement de la situation sur lequel l'anesthésiste n'a aucun contrôle qui apparaît critique. En outre, la récupération est rarement possible. C'est principalement un changement lié à l'acte chirurgical qui n'est pas détecté, sinon avec retard par des anesthésistes stagiaires. L'accroissement des contraintes organisationnelles (environnement inhabituel, pression productive, interruption) serait de nature à surcharger les capacités attentionnelles des stagiaires, favorisant ce type d'erreur d'omission. Le manque de communication observé entre chirurgien/anesthésiste favorise aussi la mise en oeuvre de ce mécanisme.

La deuxième configuration touche une étape de traitement centrale : le diagnostic. L'analyse détaillée des problèmes fait apparaître que l'erreur est due à l'utilisation d'heuristiques dans une situation où ils ne sont pas valides. Ce sont les mécanismes célèbres de 'sélection par la similarité' et de 'sélection par la fréquence' (Reason, 1993). Cette forme d'erreur est très prédictible puisque ce sont les sujets à un stade d'apprentissage intermédiaire qui sont prioritairement concernés.

La troisième configuration témoigne des difficultés que les anesthésistes débutants éprouvent à traiter un aspect important des systèmes complexes : l'évolution du processus dans le temps. La question relève donc pleinement de la capacité du débutant à anticiper une évolution particulière du processus. L'anticipation dont il s'agit ici relève des connaissances sur la façon dont le monde change, qui font manifestement défaut chez les débutants.

Dans la quatrième configuration, les erreurs proviennent de l'utilisation par les experts de stratégies d'évaluation du processus plus automatiques mais moins efficaces, à deux moments périphériques de l'activité : en pré et postopératoires. Cela n'a rien à voir avec la capacité à détecter et à anticiper le problème. L'évaluation de l'état du patient et la planification de l'activité qui en résulte se font dans un mauvais contexte : pression productive et fatigue. Les fautes proviennent ici du refus de s'engager dans les processus impliqués dans le raisonnement analytique fastidieux et aussi d'une gestion des ressources pour diminuer l'astreinte cognitive dans le décours temporel de la tâche. Ce mécanisme se produit quand on demande à l'expert d'atteindre des buts conflictuels de productivité, de gestion des coûts et de qualité, de sécurité.

Ces configurations font apparaître les relations qui peuvent exister entre la performance humaine, les caractéristiques du traitement de l'information et certaines propriétés des systèmes complexes telles que la dynamicité, l'incertitude et le collectif du travail. 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.

L'étude sur simulateur a cherché à répondre aux questions : comment un anesthésiste parvient-il à gérer une situation problème et quelles aides peut-on fournir pour l'assister davantage dans son travail ?

Le protocole expérimental a comparé et analysé les performances de stagiaires plus ou moins expérimentés, sur cinq scénarios de situations problèmes d'anesthésie de complexité différente. La méthodologie adoptée procure des mesures quantitatives et qualitatives de la performance humaine.

Les résultats montrent des améliorations avec l'expérience en ce qui concerne chacun des critères d'évaluation, telles qu'une meilleure précision et une réduction du temps de diagnostic, un champ de supervision plus large, une meilleure gestion des interruptions, un raisonnement prédictif permettant un ajustement avec l'évolution particulière de la situation et une plus grande flexibilité dans les actions de régulation.

En matière de diagnostic, nous avons observé la mise en oeuvre de deux processus : le premier correspond à la reconnaissance immédiate d'une configuration familière de

symptômes, qui procure en même temps un diagnostic et une décision d'action. Les novices et les plus expérimentés utilisent ce processus qui s'avère efficace dans les situations problèmes familières. Le second concerne l'évaluation et la vérification de l'hypothèse retenue. Ce mécanisme apparaît déterminant pour la gestion des situations problèmes complexes : en cas d'infirmité, il active la poursuite du raisonnement diagnostique comme nous l'avons observé chez les anesthésistes plus expérimentés.

Des deux études et de la coordination des résultats, il découle un certain nombre d'implications méthodologiques, théoriques et pratiques.

Du point de vue méthodologique, pour étudier l'erreur humaine dans les systèmes complexes, on ne peut pas faire l'économie d'une démarche inférentielle qui conduit des données recueillies à la caractérisation des situations problèmes et finalement aux mécanismes de production les plus probables (Hoc, 1996). En matière de processus cognitifs, la démarche inférentielle s'impose à l'évidence. Mais elle doit être bien entendue validée par des données, en s'appuyant sur des concepts théoriques bien définis et sur une méthodologie appropriée. La méthodologie que nous avons mise en place est riche sous deux aspects. D'une part, la multiplication des techniques de recueil (observation, questionnaire, autoconfrontation) nous a permis de confronter les données les unes aux autres pour aboutir au codage des activités qui sont les traces de la mise en oeuvre des activités cognitives. D'autre part, le passage de situations réelles à des situations simulées nous a permis d'avancer vers des critères de conception de situations expérimentales pour aborder des problèmes de résolution de problèmes et d'apprentissage.

La comparaison débutants/plus expérimentés sur une même tâche et sur des tâches de complexité différente constitue une méthodologie à part entière pour préciser l'expertise des opérateurs et pour tester certaines hypothèses issues de l'étude de terrain, pour autant que la validité écologique de la simulation, c'est-à-dire la possibilité de reproduire des résultats similaires à ceux qui auraient été obtenus sur le terrain, soit vérifiée. Dans cette perspective, nous avons remis un questionnaire aux anesthésistes qui avaient participé à l'étude sur simulateur. 80 % d'entre eux estiment la simulation d'une fidélité excellente. Les critiques mentionnées proviennent essentiellement des limites de la technologie utilisée pour construire le mannequin du simulateur.

Du point de vue théorique, notre objectif est non seulement d'identifier certaines situations prototypiques de production d'erreurs dans les systèmes complexes, mais aussi de rendre compte des phénomènes observés.

Si l'influence du modèle de prise de décision de Rasmussen dans les recherches sur l'erreur humaine est indiscutable, rares sont pourtant les études empiriques qui l'ont exploité. Son utilisation dans notre étude de terrain s'est avérée particulièrement utile pour localiser les phases critiques dans le processus de résolution de problèmes.

En outre, l'adoption d'une définition 'systémique' de l'erreur nous a amené à accorder plus d'importance aux relations entre le traitement déficient qui a conduit au problème et les conditions dans lesquelles il a été mis en oeuvre.

Deux facteurs influencent significativement la performance de l'anesthésiste : le degré d'apprentissage et la complexité de la tâche. Le concept de 'complexité cognitive' emprunté à Feltovitch et al. (1989) permet de relier les difficultés de résolution de problèmes, que nous avons mises en évidence, aux possibilités d'apprentissage et de formation professionnelle. De ce point de vue, notre recherche s'inscrit dans le courant des travaux récents en psychologie cognitive qui s'intéressent au développement de l'expertise médicale (Elstein et al., 1978; Evans & Patel, 1989, 1991; Boreham, 1995; Boreham et al., 1996). Pour l'essentiel, ces travaux sont menés en laboratoire et concentrés sur le diagnostic "académique". Les données recueillies sur le terrain se révèlent assez limitées, en particulier par rapport à la pratique des médecins en situation dynamique.

Nos résultats permettent de mieux décrire l'expertise médicale et peuvent être utilisés pour préciser les transformations qui caractérisent la progression du novice à l'expert en situation complexe. En effet, pendant longtemps, on a considéré le raisonnement médical strictement comme une activité de diagnostic vu comme une forme de raisonnement

hypothético-déductif, servant à réduire précocement l'espace-problème associé à une pathologie. Nos résultats montrent que l'objectif principal de l'anesthésiste n'est pas le diagnostic pour lui-même mais pour l'action. Le diagnostic n'est ni indépendant, ni séparable des autres activités de résolution de problèmes dynamiques qui caractérisent le travail de l'anesthésiste.

Du point de vue pratique, les implications de cette recherche sont importantes pour l'amélioration de la sécurité du patient. On peut les envisager sous différents aspects :

- 1) Premièrement, les résultats peuvent aider à déterminer quel type de problèmes est facile ou difficile à gérer par l'anesthésiste, suivant son expérience professionnelle, et suggérer où et quand des améliorations doivent être apportées.

Dans l'étude sur simulateur, chaque situation problème a un délai de détection et de diagnostic propre, qui suit le degré de complexité du problème. L'ischémie myocardique a été identifiée relativement rapidement à l'ECG par l'ensemble de sujets.

La nouvelle génération des équipements techniques apporte donc des informations plus précises sur le patient qui favorisent la détection et le diagnostic de ce type de problème routinier. Mais la présence de monitoring, permettant de reconnaître des modifications indésirables avant l'apparition de manifestations cliniques anormales, n'assure en rien la détection et la correction des problèmes plus complexes. Dans les scénarios 4 et 5, les sujets débutants ne parviennent pas au diagnostic en partie à cause du fait qu'ils ne font pas appel à l'ensemble des sources d'informations disponibles et qu'ils ne détectent pas l'information discriminative. Pour être efficace, le monitoring doit donc être associé à des stratégies de surveillance appropriées. Il ne suffit pas d'augmenter le nombre d'informations présentées pour étendre le champ de supervision des débutants, il faut aussi que les débutants puissent leur donner une signification pertinente, grâce à une formation appropriée. Les simulateurs apportent la possibilité de cette formation pratique : en recréant l'environnement d'une salle d'opération (patient, matériel, équipements d'anesthésie, etc.), ils confrontent l'anesthésiste à des incidents à réguler en temps réel. Les stagiaires peuvent faire l'expérience de nouvelles stratégies comportementales non seulement dans des circonstances exceptionnelles, comme les incidents 4 et 5, mais aussi dans le contexte du travail quotidien (scénarios 1 et 2).

- 2) Deuxièmement, nos résultats peuvent aider à préciser comment "l'expérience" est utilisée pour répondre aux situations problèmes et permettre d'ajuster les programmes et les méthodes de formation. Dans cette étude, l'expérience influence significativement la détection et le diagnostic des situations problèmes.

Les analyses ont montré que les anesthésistes novices et plus expérimentés utilisent, en premier, une stratégie de "pattern matching". C'est la sélection par la fréquence qui détermine la recherche en mémoire des premières explications retenues. On peut donc imaginer faciliter l'acquisition d'un tel processus de reconnaissance par des mises en situation variées sur simulateur. On peut aussi chercher à améliorer le retour d'expérience (Hoc, 1996). Dans cette perspective, les réunions de sécurité organisées dans le cadre de cette thèse permettent aux anesthésistes d'échanger des informations sur des situations problèmes qu'ils ont rencontrées. Un tel échange peut faciliter la détection, voire l'évitement de ces situations chez les collègues.

Dans les situations complexes 3, 4 et 5, l'évocation ultérieure du diagnostic correct dépend de façon critique de la poursuite de l'acte de recherche, lorsqu'aucune amélioration n'est observée après la mise en place des premières actions correctrices. Ce processus renvoie aux connaissances que les experts ont du fonctionnement du système qui leur permettent d'évaluer l'hypothèse retenue. Il faut signaler que les sujets novices se révèlent avoir une appréciation sur l'efficacité du traitement, comme en témoignent des verbalisations de type : "il ne répond pas aux perfusions", "la situation ne s'améliore pas", etc., mais que cette appréciation n'apparaît pas avoir valeur de test d'hypothèses. Ceci constitue une condition favorable aux erreurs de fixation.

La prévention devrait alors avoir pour fonction de mettre en évidence la dégradation du système dans le temps tout en forçant la remise en cause et l'évaluation de l'hypothèse. Un effort particulier contre les erreurs de fixation doit être entrepris auprès des anesthésistes de 3ème année conformément à la configuration 3.

En matière d'aide dans ce domaine, on propose actuellement des algorithmes de décision sous forme de diagramme (decision-tree format, Bready & Smith, 1987), relevant simplement d'une logique binaire (oui/non). Mais ce genre d'algorithme ne tient pas compte du fait que le résultat d'un test peut être faussement positif ou faussement négatif. En effet, les situations médicales analysables en terme binaire sont idéales pour la construction des systèmes experts. Cependant, le raisonnement médical est plus souvent un raisonnement sous incertitude : un signe donné peut être rare ou fréquent dans une maladie donnée, un même signe peut être présent dans plusieurs maladies.

Ces présentations schématiques de la prise de décision peuvent certainement aider le débutant, mais elles ne suffisent pas. Comme Hatano et Inagaki (1986) l'ont souligné, l'élément clé de l'expertise adaptative réside dans la compréhension conceptuelle profonde de l'espace de la tâche; une tâche variable qui peut être explorée librement sans pression temporelle et avec un feedback approprié faciliterait l'acquisition d'une telle compréhension.

Le debriefing des séances de simulation, durant lequel l'anesthésiste est confronté à sa propre performance, en présence d'un anesthésiste senior et junior et d'un psychologue, apparaît comme un outil de formation qui se prête assez bien à l'enrichissement des représentations fonctionnelles sur le système. 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.

- 3) Finalement, nos résultats modèrent l'idée selon laquelle le manque de vigilance (attention soutenue) est le principal facteur de cause associé à l'erreur humaine en anesthésie (Paget et al., 1981; Parker, 1987). Cette idée a conduit à la multiplication des alarmes dans la salle d'opération pour activer l'attention des anesthésistes sur les informations critiques avec comme corollaire, des problèmes de confusion et de mauvaise identification mis en évidence dans plusieurs études (Gaba, 1989; Kestin et al., 1988; Montahan et al., 1993). Au cours de ces dernières années, certaines firmes d'appareillage ont fait un effort pour concevoir des systèmes d'alarmes intelligents qui organisent et facilitent la discrimination des alarmes (Westenskow et al., 1992). Malheureusement ces efforts s'appuient plus sur des scénarios stéréotypes d'incidents, disponibles dans des manuels, que sur une analyse approfondie de l'activité.

Dans notre recherche, le manque de vigilance n'apparaît pas comme le problème crucial. Certes, on a pu voir, dans les configurations 1 et 3, l'importance de la détection des changements qui surviennent - en particulier liés à l'activité du chirurgien et au caractère dynamique de la situation mais l'analyse des variables composant ces configurations suggère qu'elles font référence davantage aux limitations de la mémoire de travail face à une variation de l'environnement qu'à un défaut de vigilance.

L'étude des processus attentionnels sur simulateur confirme cette idée. Les problèmes courants (1, 2 et 3) sont détectés par la majorité des sujets et c'est au niveau du traitement de l'information perçue, de l'évaluation de la situation et des priorités d'action qu'apparaissent des différences déterminantes entre les anesthésistes novices et plus expérimentés. Le premier scénario l'illustre bien. L'analyse a montré que le plan principal mobilisait chez les stagiaires l'ensemble des ressources attentionnelles. Lorsqu'un événement imprévu survient (variation à l'ECG), il est souvent perçu mais traité successivement au niveau central et décisionnel par les stagiaires, allongeant le temps de réponse. En revanche, l'automatisation acquise avec la pratique permet aux

plus expérimentés un partage de l'attention qui rend possible les ajustements nécessaires du plan en fonction des changements locaux, sans délai.

L'accroissement des contraintes de l'environnement et de la complexité de la tâche serait donc de nature à surcharger les capacités attentionnelles des stagiaires, favorisant les erreurs d'omission. Sans amélioration de l'organisation et des conditions de travail, le risque de voir apparaître des omissions, des suivis de plan inefficaces, des fixations comportementales, subsistera.

La prévention, par conséquent, doit viser à accroître les connaissances et la visibilité des changements qui surviennent, à fluidifier les communications; on peut tenter de réduire certaines sources de variation, comme la non homogénéité des équipements hospitaliers, et de l'instrumentation, mais on ne pourra réduire la variabilité inhérente au patient ou à l'acte chirurgical lui-même. A cet égard, pour les interventions de chirurgie lourde, un écran TV reprend, à l'intention du chirurgien, certaines informations "monitorées" du patient. On peut imaginer le même support diffusant le déroulement de l'acte chirurgical, à l'intention de l'anesthésiste. Les interventions sous endoscopie procurent déjà cette image et il serait intéressant d'étudier l'impact de cette image sur la mise à jour continue d'une représentation de l'état et de l'évolution de la situation par l'anesthésiste.

Pendant longtemps, la priorité du monde du travail en matière de sécurité a été la prévention de l'erreur. L'idée dominante était celle d'un homme faillible qu'il est préférable de remplacer par un système automatisé. L'anesthésie n'échappe pas à ce mouvement. Des pousses-seringues automatiques, contrôlés par ordinateur font leur apparition; leur intégration ultérieure aux dispositifs de surveillance ne fait pas de doute. Notre recherche insiste sur une autre approche : celle du management de l'erreur. On retrouve ce concept chez plusieurs auteurs et en particulier chez Frese (1991). L'idée est que l'erreur constitue une méthode d'apprentissage de choix. Plutôt que de vouloir la neutraliser, l'homme devrait chercher à l'utiliser pour apprendre en contrôlant ses conséquences néfastes. Les simulations constituent ici des outils particulièrement adaptés. Elles permettent aux stagiaires d'explorer le processus et de commettre des erreurs sans risque pour le patient, en abaissant le stress et l'anxiété qu'ils éprouvent dans des situations nouvelles. Le programme de formation sur simulateur de l'Université de Liège représente un début prometteur pour les anesthésistes belges. Un questionnaire a été distribué pour sonder les anesthésistes ayant participé aux séances de simulation. Les répondants ont évalué de façon positive l'apprentissage par simulateur et ses avantages potentiels pour la sécurité.

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. De cette façon, 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.

Mais nous devons insister sur le fait que la simulation n'est qu'un élément parmi d'autres mécanismes indispensables pour augmenter la sécurité du patient. L'amélioration de la qualité implique avant tout la collecte des accidents et l'analyse précise des défaillances actives et latentes 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. Ces données devraient aussi guider l'élaboration du contenu du programme et des scénarios utilisés pour la simulation. L'informatisation croissante des hôpitaux favorise la création d'une banque de données pour fins d'analyse, accessible à tous les départements concernés.

Dans notre étude, cette source d'information a montré que le manque de communication entre chirurgien/anesthésiste, la pression productive sont autant de défaillances latentes qui ont contribué à la genèse des situations problèmes. Bien sûr, l'anesthésiste était une condition nécessaire (mais non suffisante) pour que le problème survienne. La correction des défaillances latentes évitera de placer à nouveau l'anesthésiste dans le contexte favorisant l'erreur et, par le fait même, la répétition de celle-ci. L'amélioration de la qualité doit être imbriquée dans une culture organisationnelle. Pour promouvoir cette culture, on peut envisager d'introduire des études de facteurs humains spécifiques aux groupes (par exemple, la dynamique de groupe) dans la formation de base, comme c'est le cas pour les pilotes. Comme l'ont suggéré Helmreich et Schaefer (1994), l'accroissement de la sécurité ne consitue pas le seul bénéfice de l'apprentissage des facteurs humains. Les équipes qui communiquent entre elles et travaillent ensemble avec plus d'efficacité atteindront un degré plus élevé d'efficacité. En outre, des relations interpersonnelles plus efficaces se traduiront par un meilleur moral et un climat organisationnel plus favorable, avec une amélioration subséquente de la qualité de vie au travail. 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.

Le programme de formation à la gestion de crise tel qu'il est décrit par Gaba et al. (1994) est en partie axé sur les facteurs humains; les séances de simulation portent sur un certain nombre d'éléments dont la délégation des tâches, l'affectation des responsabilités, la coordination de l'équipe, l'analyse des priorités, les communications, le leadership et le rejet des attitudes fixes.

S'agissant de coopération, les recherches sur l'interaction homme-machine constituent une autre façon d'envisager l'amélioration de la qualité du travail. Les Sociétés d'Anesthésie et de Réanimation ont déjà entamé cette démarche et le choix des moniteurs qu'elles recommandent repose sur deux facteurs : la rapidité et la fiabilité de la détection d'un incident et la variété d'incidents pris en compte. Ces premières indications n'épuisent cependant pas tout le champ de l'évaluation des nouvelles technologies. De nombreux dispositifs ne tiennent compte ni des exigences de la tâche, ni des représentations des utilisateurs. L'évaluation doit aussi considérer l'impact à moyen terme de ces nouveaux systèmes sur les stratégies des utilisateurs, sur leur connaissances et les raisonnements qu'ils mettent en oeuvre. C'est en ce sens que, depuis quelques années, nous travaillons en collaboration avec les CHU de Liège et de Bruxelles sur la mise au point d'un cadre méthodologique d'évaluation pour influencer les concepteurs au développement d'une technologie anthropocentrique centrée sur les utilisateurs. L'identification des configurations prototypiques d'erreurs devrait permettre d'avancer dans ce domaine.

Comme nous avons essayé de le montrer dans cette thèse, on commence seulement à comprendre un peu les bases cognitives de l'erreur humaine. On connaît à peine les facteurs contextuels associés. On ne sait encore que très peu de choses sur les interactions de facteurs de cause et sur les transformations qui caractérisent la progression du novice à expert dans les systèmes complexes. Ce n'est que par un travail interdisciplinaire et de nouvelles méthodes de recherche, qui combinent l'observation sur le terrain et l'expérimentation, qu'une connaissance scientifique est possible; et cette collaboration est encore bien trop rare.

La recherche qui vient d'être présentée constitue un premier pas dans ce sens. Elle a toutes sortes de limites dont une qui prédomine : l'étude des représentations et des différences interindividuelles n'a pas été investiguée de façon détaillée. C'est dans l'espoir de favoriser la collaboration entre psychologues, médecins et mathématiciens qu'exige une telle étude, que nous avons lancé les idées contenues dans ce travail.

Références

- ABBOTT, V., BLACK, J.B., & SMITH, E.E. (1985). The representation of scripts in memory. *Journal of Memory and Language*, 24, 179-199.
- ALWOOD, C.M. (1984). Error detection processes in statistical problem solving. *Cognitive science*, 8, 413-437.
- AMALBERTI, R. (1991). Savoir et savoir-faire de l'opérateur : aspects théoriques et pratiques en ergonomie. In R. Amalberti, M. de Montmollin, & J. Theureau (Eds.), *Modèles en analyse de travail*. Liège : Mardaga.
- 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.
- AMALBERTI, R. (sous presse). *La conduite de systèmes à risques*. Paris : Presses Universitaires de France.
- AMALBERTI, R., & DEBLON, F. (1992). Cognitive modelling of fighter aircraft's process control : a step towards intelligent onboard assistance system. *International Journal of Man-Machine Studies*, 36, 639-671.
- ANDERSON, J.R. (1982). Acquisition of cognitive skills. *Psychological Review*, 89, 369-406.
- ANDERSON, J.R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge: Harvard University Press.
- ANDERSON, J.R. (1987). Skill acquisition : compilation of weak-method problem solutions. *Psychological review*, 94, 192-210.
- ANDREW, D.H. (1988). Relationships among simulators, training device and learning : a behavioral view. *Educational Technology*, January, 48-49.
- ANESTHESIA PATIENT SAFETY FOUNDATION NEWSLETTER. *New Research Grant Applications for 1998 sought by APSF*. (1997, Spring). 1, 1-8.
- BADDELEY, A.D. (1986). *Working memory*. Oxford : Oxford University Press.
- BAELE, P.L., VEYCKEMANS, F.A., & GRIBOMMONT, B.F. (1991). Mortality and morbidity conferences in a teaching anesthesia department. *Acta Anaesthesiologica Belgica*, 42, 3, 133-147.
- BAINBRIDGE, L. (1984). Diagnostic skill in process operator. *Proceeding of the International Conference on Occupational Ergonomics*, Toronto, may 7-9.
- BAINBRIDGE, L. (1987). Ironies of Automation. In J. Rasmussen, K. Duncan, & J. Leplat (Eds), *New technology and human error*. London : Wiley.
- BAINBRIDGE, L. (1988). Types of representation. In L.P. Goodstein, H.N. Anderson, & S.E. Olson (Eds), *Tasks, errors and mental models*. London : Taylor & Francis.
- BAINBRIDGE, L. (1989). Development of skill, reduction of workload. In L. Bainbridge, & A. Ruiz Quintanilla (Eds.), *Developping Skills with Information Technology*. Chichester : Wiley & Sons.
- BARTLETT, F.C. (1932). *Remembering : a study in experimental and social psychology*. Cambridge : Cambridge University Press.
- BEATTIE, J., & BARON, J. (1988). Confirmation and matching biases in hypothesis testing. *The Quaterly Journal of Experimental Psychology*, 40A, 2, 269-297.
- BELGIAN ANESTHESIA PATIENT SAFETY STEERING-COMMITTEE. (1989). Belgian standard for patient safety in anesthesia. *Acta Aaesth. Belg.*, 40, 231-238.
- BELLORINI, A., & DECORTIS, F. (1995). Régulation collective des activités basée sur une connaissance mutuelle de la charge de travail. In B. Pavard (Ed), *Systèmes coopératifs de la modélisation à la conception*, Toulouse : Octarès.
- BOREHAM, N. (1995). Error analysis and expert-novice differences in medical diagnosis. In J.M. Hoc, P.C. Cacciabue, & E. Hollnagel (Eds), *Expertise and technology : cognition, human-computer & cooperation*. Hillsdale : Erlbaum.
- BOREHAM, N.C., MAWER, G.E., & FOSTER, R.W. (1996). Medical diagnosis from circumstantial evidence. *Le travail humain*, 59, 1, 69-85.
- BREADY, L.L., & SMITH, R.B. (1987). *Decision making in Anesthesiology*. Missouri : Mosby Year Book.

- BREDART, S. (1987). Les représentations d'événements stéréotypes : quelles dimensions d'organisation ? *Les cahiers de Psychologie Sociale*, 35, 2-8.
- BREHMER, B. (1974). Hypotheses about relation between scaled variables on the learning of probabilistic inferences tasks. *Organisational behavior and human performance*, 11, 1-27.
- BREHMER, B. (1988). Organization for decision making in complex system. In L.P. Goodstein, H.B. Anderson, & S.E. Olson (Eds), *Tasks, errors and models*. London : Taylor and Francis.
- BREHMER, B. (1993). Cognitive aspects of safety. In B. Wilpert, & T. Qvale (Eds), *Reliability and safety in hazardous work systems : approaches to analysis and design*. Hillsdale : Erlbaum.
- BREHMER, B., & DÖRNER, D. (1993). Experiments with computer simulated microworlds : escaping both the narrow straits of the laboratory and the deep blue sea of the field study. *Computer and Human Behavior*, 9, 171-184.
- BRINKMAN, JA. (1990). *The analysis of fault diagnosis task. Do verbal reports speak for themselves ?* Unpublished doctoral dissertation, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven.
- BROADBENT, D.E, COOPER, C.F., & PARKES, K.R. (1982). The cognitive failure questionnaire (C.F.Q.) and its correlates. *British Journal of Clinical Psychology*, 21, 1-16.
- BRUNER, J.D.S., GOODNOW, J.J., & AUSTIN, G.A. (1956). *A Study of thinking*. NY: Sciences Editions.
- CAMUS, J.F. (1988). La distinction entre les processus contrôlés et les processus automatiques chez Schneider et Shiffrin. In P. Perruchet, *Les automatismes cognitifs*. Liège : Mardaga.
- CAMUS, J.F. (1996). *La psychologie cognitive de l'attention*. Paris : Armand Colin.
- 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.
- CELLIER, J.M, ESCRIBE, C., & EYROLLE, H. (1990). Classes de situations et généralisation des résultats en psychologie du travail. *Le travail humain*, 53,4, 293-301.
- CHAPMAN, L.J., & CHAPMAN, J.P. (1967). Genesis of popular but erroneous psychodiagnostic observations. *Journal of Abnormal Psychology*, 72, 3, 193-204.
- CHASE, W.G., & SIMON, H.A. (1973). The mind's eye in chess. In W.G. Chase (Ed), *Visual Information Processing*. NY: New-York Academic.
- CHENG, P.W., & HOLYOAK, K.J. (1985). Pragmatic reasoning schemas. *Cognitive Psychology*, 17, 391-416.
- CHI, M.TH., GLASER, R., & REES, E. (1982). Expertise in problem solving. In R.S. Sternberg, *Advances in the Psychology of Human Intelligence*. Hillsdale : Erlbaum.
- CHOPRA, V., BOVILL, J.G., SPIERDIYK, J., & KOORNEEF, F. (1992). Reported significant observations during anaesthesia : a prospective analysis over an 18-month period. *British Journal of Anaesthesia*, 68, 13-17.
- COHEN, M.S. (1993a). The bottom line: naturalistic decision aiding. In G.A. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood, & C.E. Zsombok (Eds). *Decision making in action : models and methods*. NY : Ablex Publishing Corporation.
- COHEN, R.A. (1993b). *The Neurophysiology of Attention*. NY: Plenum Press.
- CONNOLY, T., & WAGNER, G. (1988). Decision Cycles. In R.L. Cardy, S.M. Puffer, & M.M. Newman (Eds), *Advances in information processing in organizations* (vol 3). Greenwich, CT : JAI Press.
- COOK, R.I., WOODS, D.D., & HOWIE, M.B. (1990). The natural history of introducing new information technology into a high-risk environment. *Proceeding 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 anesthesia mishaps : a study of human factors. *Anesthesiology*, 49, 399-406.

- COOPER, J.B., LONG, C.D., NEWSBOWER, R.S., & PHILIP, J.H. (1982). Critical incidents associated with intraoperative exchanges of anaesthesia personnel. *Anesthesiology*, 56, 456-461.
- COOPER, J.B. NEWSBOWER, 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.
- COOPER, J.B., CLIFFORD, M. & GEVIRTZ, M. (1988). Sécurité en Anesthésie. In L.L. Firestone, P.W. Lebowitz, & C.E. Cook (Eds), *Manuel d'Anesthésie Clinique*. Paris : Pradel.
- 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.
- CUNY, X.(1979). Different level of analysing process control tasks. *Ergonomics*, 22, 415-425.
- CUNY, X. (1993). Les variations en analyse du travail. *Le travail humain*, 56, 2-3, 233-241.
- DAMASIO, A.R. (1995). *L'erreur de Descartes : la raison des émotions*. Paris : Editions Odile Jacob.
- DANIELLOU, F., & GARRIGOU, A. (1993). La mise en oeuvre des représentations des situations passées et des situations futures dans la participation des opérateurs à la conception. In A. Weill-Fassina, P. Rabardel, & D. Dubois, *Représentations pour l'action*. Toulouse : Octares
- DE ANDA, A., & GABA, D. (1990). Unplanned incidents during comprehensive anesthesia simulation. *Anesth. Anal.*, 71, 77-82.
- DEFAYS, D. (1979). *Analyse des matrices de covariances*. (Notes à usage interne). Laboratoire de pédagogie expérimentale: Université de Liège.
- DE KEYSER, V. (1982). Les activités mentales dans le processus de production fortement informatisé. *Le travail humain*, 45, 2, 208-219.
- DE KEYSER, V. (1988). De la contingence à la complexité : l'évolution des idées dans l'étude des processus continus. *Le travail humain*, 51, 1.
- DE KEYSER, V. (1991). Temporal reasoning in continuous processes : segmentation and temporal reference systems. *Position paper for the Third European Conference on Cognitive Science Approaches to Process Control*, Cardiff, U.K.
- DE KEYSER, V. (1995). Time in ergonomics research. *Ergonomics*, 38, 8, 1639-1660.
- DE KEYSER, V., & WOODS, D.D. (1990). Fixation errors: failure to revise situation assessment in dynamic and risky systems. In A.G. Colombo, & A. Saiz de Bustamente (Eds), *Systems reliability assessment*. ECSC, EEC, EAEC : Brussels & Luxembourg.
- DE KEYSER, V., & NYSEN, A.S. (1991). Human Reliability in Anesthesiology. *Proceedings of the International Conference on Human Error in Anesthesia*. Monterey (C.A.), Feb. 26 - March 1.
- DE KEYSER, V., & NYSEN, A.S. (1993). Les erreurs humaines en anesthésie. *Le travail humain*, 56, 2-3, 233-241.
- DESMONTS, J.M. (1994). *L'erreur ou la faute médicale en Anesthésie-Réanimation. Les accidents de l'anesthésie et leurs implications medico-légales. Les changements de Demain, l'erreur ou la faute médicale en anesthésie-Réanimation*. Paris : J.E.P.U, Arnette.
- DONCHIN, Y., GOPHER, D., OLIN, M., BADIHI, Y., BIESKY, M., SPRUNG, C., PIZOV, R., & CTEV, S. (1995). A look into the nature and causes of human errors in the intensive care unit. *Critical Care Medecine*, 23, 2, 294-300.
- DÖRNER, D. (1987). On the difficulties people have in dealing with complexity. In J. Rasmussen, K. Duncan, & J. Leplat (Eds), *New Technology and Human Errors*. London : Wiley.
- DÖRNER, D. (1990). The logic of failure. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, B327, 463-473.
- DÖRNER, D., & SCHÖLKOPF, J. (1991). Controlling complex systems or expertise as "grandmother's know-how". In K.A. Ericsson, & J. Smith (eds), *Towards a general theory of expertise: Prospects and limits*. Cambridge, MA : Cambridge University Press.
- EICHHORN, J.H. (1993). The maturation of intraoperative safety monitoring. *American Society of Anaesthesiologists Newsletter*, 57,11, November.

- EICHHORN, J.H., COOPER, J.B., CULLEN, D.J., MAIER, W.R., PHILIP, J.H., & SEEMAN, R.G. (1986). Standards for patient monitoring during anesthesia at Harvard medical school. *J.Am. Med. Assoc.*, 256, 1017-1020.
- ELSTEIN, A.S., SHULMAN, L.S., & SPRAFKA, S.A. (1978). *Medical Problem solving*. Cambridge : Harvard University Press.
- ERICSSON, K.A., & SIMON, H.A. (1980). Verbal reports as data. *Psychological Review*, 87, 2 15-251.
- ERICSSON, K.A., & LEHMAN, A.C. (1996). Expert and exceptional performance: evidence of maximal adaptation to task constraints. *Annu. Rev. Psychol.*, 47, 273-305.
- EVANS, J.T. (1984). Heuristic and analytic processes in reasoning. *British Journal of Psychology*, 75, 451-458.
- EVANS, J.T. (1989). *Bias in human reasoning : causes and consequences*. Hillsdale : Erlbaum.
- EVANS, D.A., & PATEL, V.L. (1989). *Cognitive Science in Medicine*. London : MIT Press.
- EVANS, D.A., & PATEL, V.L. (1991). Advanced models of cognition for medical training and practice. *NATO ASI Series F: Computer and System Sciences*, 97.
- EYSENCK, M.W., & KEANE, M.T. (1990). *Cognitive Psychology*. Londres : Erlbaum.
- FAVERGE, J.M. (1970). L'homme agent d'infiabilité et de fiabilité du processus industriel. *Ergonomics*, 13, 3, 301-327.
- FAVERGE, J.M. (1972). L'analyse du travail. In M. Reuchlin (Ed.), *Traité de psychologie appliquée*. Paris : PUF, 7-60.
- FAVERGE, J.M. (1980). Le travail en tant qu'activité de récupération. *Bulletin de Psychologie*, XXXIII, 344, 203-295.
- 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.
- FISCHOFF, B. (1975). Hindsight does not equal foresight : the effect of outcome knowledge on judgement under uncertainty. *Journal of Experimental Psychology : Human Performance & Perception*, 1, 288-299.
- FLANAGAN, J.C. (1954). La technique de l'incident critique. *Revue de Psychologie appliquée*, 166-168.
- FRAISSE, P. (1982). "Au début était l'observation". *Cahier de psychologie cognitive*, 2, 2, 165-169.
- FRASER, J.M., SMITH, P.J., & SMITH, J.W.Jr. (1992). A catalogue of errors. *International Journal of Man-Machine Studies*, 37, 265-307.
- FRESE, M. (1991). Error management or error prevention : two strategies to deal with errors in software design. In H.J. Bullinger (Ed), *Human aspects in computing : Design and use of interactive systems and work with terminals*. Amsterdam : Elsevier Science.
- FRESE, M. (1994). Error, error detection and error recovery. *Applied Psychology: An international Review*, Special Issue, 43, 4, October .
- FREUD, S. (1914). *Psychopathology of everyday Life*. London : Ernest Benn (originally published in 1901).
- GABA, D. (1989). *Causes of anesthetic mishaps : the problem of human error*. Rapport de recherche. Palo Alto.
- GABA, D.M. (1991). Human performance issues in anesthesia patient safety. *Problems in Anesthesia*, 5, 329-347.
- GABA, G. (1992a). Improving anesthesiologist' performance by simulating reality. *Anesthesiology*, 76, 4, 491-494.
- GABA, G. (1992b). Dynamic decision-making in anesthesiology : cognitive models and training approaches. In D. Evans, & V. Patel (Eds). *Advances models of cognition for medical training and practice*. Berlin:Springer-Verlag.

- GABA, G. (1994). Human error in dynamic medical domains. In M. S. Bogner (Ed), *Human error in medecine*. Hillsdale : Erlbaum.
- GABA, D., & DEANDA, A. (1989). The response of anaesthesia trainees to simulated critical incidents. *Anesth.Analg.*, 68, 444-51.
- GABA, D., & LEE, T. (1990). Measuring the workload of the anesthesiologist, *Anesth.Analg*, 71, 354-361.
- GABA, D., FISH, K., & HORWARD, S. (1994). *Crisis management in anesthesiology*. New York : Churchill Livingstone.
- GADBOIS, C. (1990). Dimension temporelle de l'action et fiabilité des systèmes socio-techniques. In J. Leplat, & G. de Terssac, *Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes*. Marseille : Octares.
- GADBOIS, CH., & QUEINNEC, Y. (1984). Travail de nuit, rythmes circadiens et régulation des activités. *Le travail humain*, 47, 3.
- GALTON, (1869/1979). *Hereditary genius : an inquiry into its laws and consequences*. London : Friedman.
- GANNON, K. (1991). Mortality associated with anaesthesia, *Anaesthesia*, 46, 962-966.
- GENTNER, D.R. (1988). Expertise in typewriting. In M.TH. Chi, R. Glaser, & M.J. Farr (Eds), *The nature of expertise*. Hillsdale : Erlbaum.
- GEORGES, C. (1988). Interactions entre les connaissances déclaratives et procédurales. In P.Perruchet (Ed.), *Les automatismes cognitifs*. Liège : Mardaga.
- GRAVENSTEINS, J.S., NEWBOWER, R.S., REAN, A.K., & SMITH, N.T. (Eds) (1979). *Monitoring surgical patients in the operating room*. Springfield, IL: Thomas .
- GREENWOOD, M. & WOODS, HM. (1964). A report on the incidence of industrial accidents upon individuals with special reference to multiple accidents,1919. In W. Haddon, E.A. Suchman, & D.Klein, *Accidents Researchs*. NY : Harper & Row.
- GRIGG, R.A. (1984). Memory cueing and instructional effects on Wason's selection task. *Current Psychological Research and Reviews*, 3, 3-10.
- GROEN, G.J., & PATEL, V.L. (1988). The relationship between comprehension and reasoning in medical expertise. In M.TH. Chi, R. Glaser, & M.J. Farr (Eds), *The nature of expertise*. Hillsdale: Erlbaum.
- HACKMAN, J.R. (1969). Toward understanding the role of tasks in behavioral research. *Acta Psychologica*, 31, 97-128.
- HACKMAN, J.R. (1986). *Group-level issues in the design and training of cockpit crews. Cockpit resource management training* (NASA Conference Publication 2455). Moffett Field, CA : NASA-Ames Research Center.
- HAMMOND, K.R., FREDERICK, E., ROBILLARD, N., & VICTOR, D. (1989). Application of cognitive theory to the student-reacher dialogue. In D.A. Evans, & V.L. Patel (Eds), *Cognitive science in medecine* . Cambridge, MA : MIT Press.
- HATANO, G., & INAGAKI, K. (1986). The two courses of expertise. In H. Stevenson, H. Azuma, & K. Hakuta (Eds), *Child development and education in Japan*. San Francisco : Freeman.
- HELMREICH, R., & SCHAEFER, H.G. (1994). Team Performance in the operating room. In M.S. Bogner (Ed), *Human error in medecine*. Hillsdale : Erlbaum.
- HELMREICH, R., & DAVIES, J.M. (1996). Human factors in the operating room : interpersonal determinants of safety, efficiency and morale. *Baillière's clinical Anaesthesiology*, 10, 2, July.
- HENNAU-HUBLERT, C. (1987). *L'activité médicale et le droit pénal*. Bruxelles : Bruylant.
- HERBST, P.G. (1974). *Socio-Technical design*. Londres : Tavistock Publication.
- HOC, J.M. (1987). *Psychologie cognitive de la planification*. Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.
- HOC, J.M. (1989). Strategies in controlling a continuous process with long response latencies : needs for computer support to diagnosis. *International Journal of Man-Machine Studies*, 30, 47-67.

- HOC, J.M. (1991). Effets de l'expertise des opérateurs et de la complexité de la situation dans la conduite d'un processus continu à long délais de réponse : le haut fourneau. *Le travail humain*, 54, 3, 225-249.
- HOC, J.M. (1996). *Supervision et contrôle de processus. La cognition en situation dynamique*. Grenoble: Presses Universitaires de Grenoble.
- 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.
- HOLDING, D.H. (1987). Concepts of training. In G. Salvendy, *Handbook of Industrial and engineering work*. New-York : John Wiley.
- HOLLNAGEL, E. (1991a). *Cognitive ergonomics and the reliability of cognition*. First Travail Humain Workshop. Paris, May.
- HOLLNAGEL, E. (1991b). *Graphical dialogue environnement for process supervision and control* (Gradient Esprit, compiled report). Birkerød, Denmark : Computer Resources International A/S.
- HOLLNAGEL, E. (1993). Models of cognition : procedural prototypes and contextual control. *Le travail humain*, 56, 1/1993, 27-57.
- HOLYOAK, KJ. (1991). Symbolic connectionism : toward third generation theories of expertise. In K.A. Ericsson, & J. Smith (Eds), *Towards a general theory of expertise : Prospects and limits*. Cambridge, MA : Cambridge University Press.
- IOSIF, G.H., & Vochita, Z. (1992). The anticipation to the operator. *Revue roumaine de psychologie*, 36, 39-45.
- JANIS, I.L. (1989). *Crucial decision : leadership in policymaking and crisis management*. New-York : The Free Press.
- JOHNSON-LAIRD, P.N. (1983). *Mental Models*. Cambridge : Cambridge University Press.
- JOHNSON-LAIRD, P.N., LEGRENZI, P., & LEGRENZI, M.S. (1972). Reasoning and a sense of reality. *British Journal of Psychology*, 63, 395-400.
- KHANEMAN, D. (1973). *Attention and effort*. Londres: Prentice Hall.
- KAHNEMAN, A., SLOVIC, P., & TVERSKY, A. (1982). *Judgment under uncertainty : heuristics and biases*. Cambridge: Cambridge University Press.
- KARMILOFF-SMITH, A. (1984). A children problem-solving. In J. Lamb, & A. Brown (Eds), *Advances in Developmental Psychology*. Hillsdale : Erlbaum.
- KESTIN, I.G., MILLER, B.R., & LOCKHART, C.H. (1988). Auditory alarms during anaesthesia monitoring. *Anaesthesiology*, 69, 106-109.
- KINTSCH, W. (1986). Learning from text. *Cognition and Instruction*, 3, 2, 87-1.
- KLAYMAN, J., & HA, Y.W. (1987). Confirmation, disconfirmation and information in hypothesis testing. *Psychological Review*, 94, 211-228.
- KLEIN, G.A. (1993). A recognition-primed decision (RPD) model of rapid decision making. In G.A.Klein, J.Orasanu, R. Calderwood, & C.E.Zsombok, *Decision Making in Actions : Models and Methods*. Norwood, New Jersey : Ablex Publishing Corporation.
- KLUWE, R. (1997). Acquisition of knowledge in the control of a simulated technical system. *Le travail humain*, 60, 1, 61-85.
- KRAWSKY, G., MONTEAU, M., & SZEKELY, J. (1981). La Méthode I.N.R.S. d'analyse des accidents, outil de gestion de la sécurité. *Psychologie du travail*, 13.
- KRUEGER, G. (1989). Sustained work, fatigue, sleep loss and performance : a review of the issues. *Work & Stress*, 3, 129-141.
- LEMAINE, G., & LEMAIN, J.M. (1969). *Psychologie sociale et expérimentation*. Paris : Mouton-Bordas.
- LEPLAT, J. (1985). *Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail*. Paris: Armand Colin.

- LEPLAT, J. (1988a). Les habiletés cognitives dans le travail. In P. Perruchet, *Les automatismes cognitifs*. Liège : Mardaga.
- LEPLAT, J. (1988b). Task complexity in work situation. In L.P. Goodstein, H.B. Anderson, & S.E. Olson (Eds), *Tasks, errors and models*. London : Taylor and Francis.
- LEPLAT, J. (1989a). Error Analysis, instrument, and object of task. *Ergonomics*, 32, 7, 813-822.
- LEPLAT, J. (1989b). Simulation and simulators in training : some comments. In L. Bainbridge, & A. Ruiz Quintanilla (Eds), *Developping skills with information technology*. London : Wiley and Sons.
- LEPLAT, J. (1990). Relations between task and activity : elements for elaborating a framework for error analysis. *Ergonomics*, 33, 10/11, 1389-1402.
- LEPLAT, J. (1991). Compétence et ergonomie. In R. Amalberti, M. de Montmollin & J. Theureau (Eds), *Modèles en analyse de travail*. Liège : Mardaga.
- LEPLAT, J., & PAILHOUS, J. (1981). L'acquisition des habiletés nouvelles : la place des techniques. *Le travail humain*, 44, 275-282.
- LEPLAT, J., & HOC, J.M. (1983). Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. *Cahiers de psychologie cognitive*, 3, 1, 49-63.
- LESGOLD, A. (1984). Acquiring Expertise. In J. Anderson & S. M. Kosslyn (Eds), *Tutorials in Learning and Memory*. San Fransisco : W.H. Freeman and Company.
- LESGOLD, A. (1989). Context-specific requirements for model of expertise. In D.A. Evans, & V.L. Patel (Eds), *Cognitive Science in Medecine*. London : the MIT Press.
- LIBERMAN, N., & KLAR, Y. (1994). Hypothesis testing in Wason's selection task : social exchange cheating detection or task understanding. *Cognition*, 58, 127-156.
- LICHTENSTEIN, S., FISHOFF, B., & PHILLIPS, L.D. (1982). Calibration of probabilities : the state of the art to 1972. In A. Khaneman, P. Slovic, & A.Tversky (Eds), *Judgment under uncertainty: heuristics and biases*. Cambridge : Cambridge University Press.
- LIPSHITZ, R. (1993) Decision making as argument-driven action. In G.A.Klein, J.Orasanu, R. Calderwood, & C.E. Zsombok, *Decision making in actions : models and methods*. Norwood, New Jersey : Ablex Publishing.
- LOCKE, A., SHAW, K.N., SAARI, L.M., & LATHAM, G.P. (1981). Goal setting and task performance : 1969-1980. *Psychological Bulletin*, 9, 125-152.
- MACH, E. (1975). *Knowledge and Error*. Dordrecht : Reidel Publishing Company, 1905 (English translation).
- MACKENSIE, C., CRAIG, G., PARR, M., & HORST, R. (1994). Video analysis of two emergency tracheal intubations identifies flawed decision-making. *Anesthesiology*, 81, 763-771.
- MANDLER, J.M., & MURPHY, C.M. (1983). Subjective judgments of script structure. *Journal of experimental psychology : learning, memory and cognition*, 9, 534-543.
- MASSON, M. (1994). *Prévention automatique des erreurs de routine*. Thèse non publiée, Université de Liège, Liège.
- MASSON, M., MALAISE, N., HOUSIAUX, A., & DE KEYSER, V. (1993). Organizational change and human expertise in nuclear power plants : some implications for training and error prevention. *Nuclear Engineering and Design*, 144, 361-373.
- MICHARD, A. (1980). Modélisation et analyse des tâche de diagnostic, *Le travail humain*, 43, 1, 33-46.
- MONTAHAN, K., HETU, R., & TANSLEY, B. (1993). Audibility and identification of auditory alarms in the operating room and intensive care unit. *Ergonomics*, 36, 10, 1159-1176.
- MONTEAU, M., & PHAM, D. (1987). L'accident du travail : évolution des conceptions. In C. Levy-Leboyer, & J.C. Sperandio (Eds). *Traité de Psychologie du travail*. Paris : Presses Universitaires de France.
- MONTMOLLIN (de), M. (1986). *L'intelligence de la tâche. Eléments d'ergonomie cognitive*. Berne : Peter Lang.

- MORAY, N. (1994). Error reduction as a system problem. In M. S. Bogner (Ed). Human error in medicine. Hillsdale : Erlbaum.
- NEBOIT, M. (1983). Evolution de l'exploration visuelle avec l'apprentissage et avec l'expérience professionnelle. *Le travail humain*, 46, 1, 33-48.
- NEBOIT, M., CUNY, X., FADIER, E., & HO, M.T. (1990). Fiabilité humaine : présentation du domaine. In J. Leplat & G. de Terssac, *Les facteurs humains de la fiabilité humaine dans les systèmes complexes*. Marseille : Octares Entreprises.
- NEWELL, A., & SIMON, H.A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.
- NORMAN, D.A. (1981). Categorization of Action Slips. *Psychological Review*, 88, 1-15.
- NORMAN, D.A. (1984). *Working papers on errors and errors detection*. Unpublished manuscript.
- NORMAN, D.A. (1990). The problem with "automation": inappropriate feedback and interaction, not "over-automation". *Philosophical Transaction of the Royal Society of London*, B327.
- NORMAN, D., & SHALLICE, T. (1986). "Attention to action : willed and automatic control of behavior". In G.A. Schwartz, & D. Shapiro (eds), *Consciousness and self-regulation*. New-York : Plenum.
- NYSSSEN, A.S. (1990). *La fiabilité humaine en anesthésiologie. Recueil de cas - analyse approfondie - mesures de prévention*. Mémoire de fin d'études non publié. Université de Liège, Liège.
- NYSSSEN, A.S., & JAVAUX, D. (1996). Analysis of synchronization constraints and associated errors in collective work environments. *Ergonomics*, 39, 10, 1249-1264.
- OAKHILL, J.V., & JOHNSON-LAIRD, P.N. (1985). Rationality, memory and the search for counterexamples. *Cognition*, 20, 79-94.
- OMBREDANE, A., & FAVERGE, J.M. (1955). *L'analyse du travail*. Paris : PUF.
- ORASANU, J., & CONNOLY, T. (1993). The reinvention of decision making. In G.A. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood, & C.E. Zsombok (Eds). *Decision making in action : models and methods*. Norwood, New Jersey : Ablex Publishing.
- PAGET, N.S., LAMBERT, T.F., & SRIDHAR, K. (1981). Factors affecting an anaesthetist's work : some finding on vigilance and performance. *Anaesth Intensive Care*, 9, 359-64.
- PARKER, J.B. (1987). The effect of fatigue on physician performance - an underestimated cause of physician impairment and increased patient risk. *Can. J. Anaesth.*, 34, 489-95.
- PATEL, V.L., EVANS, D.A., & GROEN, G.J. (1989a). Biomedical Knowledge and Clinical Reasoning. In D.A. Evans, & V.L. Patel (Eds). *Cognitive science in medicine*. London : the MIT Press.
- PATEL, V.L., EVANS, D.A., & KAUFMAN, D.R. (1989b). A Cognitive Framework for Doctor-Patient Interaction. In D.A. Evans, & V.L. Patel (Eds). *Cognitive science in medicine*. London : the MIT Press.
- PATEL, V.L., & GROEN, G.J. (1991). The general and specific nature of medical expertise : a critical look. In K.A. Ericsson, & J. Smith (eds), *Towards a general theory of expertise: Prospects and limits*. Cambridge, MA : Cambridge University Press.
- PASTRÉ, P. (1995). Problèmes didactiques posés par les simulations. *Performances humaines & Techniques*, 75-76, 44-46.
- PAYNE, J.W., BETTMAN, J.R., & JOHNSON, E.J. (1988). Adaptive strategy selection in decision making. *Journal of experimental psychology : learning, memory and cognition*, 14, 534-552.
- PERROW, C. (1984). *Normal Accidents. Living with high risk technologies*. New York : Basic Books.
- PEW, R.W., MILLER, D.C., & FEEHER, C.E. (1982). *Evaluation of proposed control room improvements through analysis of critical operators decisions*. Research project 891-NP-1982. Palo Alto: Electric Power Research Institute.
- POSNER, M.I. (1980). Orienting Attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-15.
- PRUMPER, J., ZAPF, D., BRODBECK, F.C., & FRESE, M. (1992). Some surprising differences between novice and expert errors in computerized office work. *Behaviour & Information Technology*, 11, 6, 319-328.

- PY, Y. (1987). Etapes préalables à l'analyse de l'activité diagnostique dans des tâches variables. *Le travail humain*, 50, 3, 259-266.
- RASMUSSEN, J. (1980). Notes on human error analysis and prediction. In G. Apostolakis, S. Garriba, & G. Volta (Eds.), *Synthesis and analysis methods for safety and reliability studies*. New-York : Plenum.
- RASMUSSEN, J. (1986a). A framework for cognitive task analysis in system design. In E. Hollnagel, G. Mancini, & D. Woods, *Intelligent decision support in process environments* (NATO ASI Series, vol.F21). Berlin Heidelberg : Springer Verlag.
- RASMUSSEN, J. (1986b). *Information processing and human-machine interaction*. Amsterdam : North-Holland.
- RASMUSSEN, J. (1987). Cognitive control and human error mechanisms. In J. Rasmussen, K. Duncan, & J. Leplat (Eds), *New technology and human error*. Chichester : John Wiley & Sons Ltd.
- RASMUSSEN, J. (1991a). Event Analysis and the problem of causality. In J. Rasmussen, B. Brehmer, & J. Leplat (Eds), *Distributed decision making : cognitive models for cooperative work*. Chichester, England : John Wiley & Sons.
- RASMUSSEN, J. (1991b). Technologie de l'information et analyse de l'activité cognitive. In R. Amalberti, M. de Monmonllin, & J. Theureau (Eds). *Modèles en analyse de travail*. Liège : Mardaga.
- RASMUSSEN, J. (1993a). Analysis of tasks, activities and work in the field and in laboratories. *Le travail humain*, 56, 2-3, 133-147.
- RASMUSSEN, J. (1993b). Deciding and doing : decision making in natural context. In G.A. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood, & C.E. Zsombok (Eds). *Decision making in action : models and methods*. Norwood, New Jersey : Ablex Publishing.
- RASMUSSEN, J., & JENSEN, A. (1974). Mental procedures in real-life tasks : a case of electronic trouble shooting. *Ergonomics*, 17, 293-307.
- RASMUSSEN, J., PEJTERSEN, A.M., & GOODSTEIN, L.P. (1994). *Cognitive systems engineering*. John Wiley & Sons : New-York.
- REASON, J.T. (1988). Frameworks models of human performance and errors : a consumer guide. In L. Goodstein, H. Anderson, & S. Olden (Eds), *Tasks, errors and mental models*. London : Taylor & Francis.
- REASON, J. (1990). *Human error*. Cambridge : Cambridge University Press.
- REASON, J. (1993). *L'erreur humaine*. Paris : Presses Universitaires de France.
- REASON, J., & MYCIELSKA, K. (1982). *Absent-minded ? The psychology of mental lapses and everyday errors*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
- RIZZO, A., BAGNARA, S., & VISCIOLO, A. (1987). Human error detection processes. *International Journal of Man-Machine Studies*, 27, 55-570
- ROSS, L., & ANDERSON, C.A. (1982). Shortcoming in the attribution process: On the origins and maintenance of erroneous social assessments. In D. Khaneman, P. Slovic, & A. Tversky (Eds). *Jugment under uncertainty heuristics and Biases*. Cambridge : University Press.
- ROTH, E.M., BENETT, K.B., & WOODS, D.D. (1987). Human interaction with a "intelligent" machine. *International Journal of Man-Machine Studies*, 27, 247-252.
- RUCIMAN, W.B. (1988). Crisis Management. *Anaesth. Intens Care*, 16, 86-88.
- SAMURCAY, R., & Rogalsky, J. (1988). Analysis of operator's cognitive activities in learning and using a method for decision making in public safety. In J. Patrick, & K.D. Duncan (Eds). *Human decision-making and control*. Amsterdam : North-Holland.
- SANBORN, K.V., CASTRO, J., KURODA, M., & THYS, D.M. (1996). Detection of intraoperative incidents by electronic scanning of computerized anesthesia records. *Anesthesiology*, 85, 977-87.
- SANDERS, A.F. (1991). Simulation as a tool in the measurement of human performance. *Ergonomics*, 34, 8, 995-1025.
- SANDERSON, P. (1993). MacSHAPA version 0.3 manual. Dept. of M & I.E. Urbana, IL.

- SARTER, N.B., & WOODS, D.D. (1995). *Strong, silent, and out-of-the-loop : proprieties of advanced (cockpit) automation and their impact on human-automation interaction*. CSEL Report-95-TR-01. Ohio State University, Columbus.
- SCHNEIDER, W., & SHIFFRIN, R.M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. detection, search and attention. *Psychological Review*, 84, 1, 1-66.
- SCHRAAGEN, J.M., & SCHAAFSTAL, A.M. (1996). Training of systematic diagnosis : a case study in electronics troubleshooting. *Le travail humain*, 59, 1, 5-21.
- SCHNEIDER, W., & DETWEILER, M. (1988). The role of practice in dual task performance. Toward workload modeling in a connectionist/control architecture. *Human Factors*, 30, 539-566.
- SEARLE, J.R. (1980). The intentionality of intention in action. *Cognitive Science*, 4, 47-70.
- SHANK, R.C., & ABELSON, R.P. (1977). *Scripts, plans, goal and understanding*. Hillsdale: Erlbaum.
- SHALLICE, T., & BURGESS, P.W. (1991). Higher-Order Cognitive Impairments and Frontal Lobe Lesions in Man. In H.S. Levin, H.M.Eisenberg, & A.L.Benton (Eds), *Frontal Lobe Function and Dysfunction*. Oxford : Oxford University Press.
- SHALLICE, T., & BURGESS, P. (1993). Supervisory control of action thought selection. In A.Baddely, & L. Weiskrantz (Eds). *Attention : selection, awareness and control : a tribute to Donald Broadbent*. Oxford : Oxford Clarendon Press.
- SHERIDAN, T.B. (1987). Supervisory Control. In G. Slavendy (Ed), *Handbook of Human Factors*. New-York : John Wiley & Sons.
- SINGLETON, W.T. (1989). *The mind at Work*. Cambridge : Cambridge University Press.
- SLOBOBA, J.A. (1985). "Expresive skill in two pianists : metrical communication in real and simulated performances". *Canadian Journal of Psychology*, 39, 273-293.
- SLOVIC, P., FISCHCHOFF, B., & LICHTENSTEIN, S. (1982). Facts versus fears : understanding perceived risk. In D. Kahneman, P. Slovic, & A.Tversky (Eds), *Judgment under uncertainty:heuristics and biases*. Cambridge : CambridgeUniversity Press.
- SPERANDIO, J.C. (1980). *La psychologie en ergonomie*. Paris : Presses universitaires de France.
- SWAIN, A.D. (1976). *Human factor associated with prescribed action links*. USA, Sandia Laboratories : SAND 74-0051.
- TAPEIRO, I., POITRENAUD, S., & DENHIÈRE, G. (1988). Individualized acquisition of knowelgde with the computer : interrogation and learning guided by the structure of knowelgde. In G. Denhiere, & H. Mandl (Eds), *European Journal of Psychology of Educaïon, Special Issue Acquisition of Knowelgde from texte*.
- THURMAN, R.A. & MATTOON, J.S. (1994). Virtual reality : toward fundamental improvements in simulation-based training. *Educational Technology*, October, 56-64.
- TROGNON, A. (1989). Produire des données. In A. Blanchet, R. Ghiglione, J. Massonnat, & A. Trognon. *Les techniques d'enquêtes en sciences sociales*. Dunod, Paris : Dunod.
- VALOT, C., GRAU, J.C., & AMALBERTI, R. (1993). Les métaconnaissances : des représentations de ses propres compétences. In A.Well-Fassina, P. Raberbel, & D. Dubois. *Représentations pour l'action*. Toulouse : Octares.,
- VAN DAELE, A. (1993) *La réduction de la complexité par les opérateurs dans le contrôle de processus continus*. Thèse de doctorat non publiée, Université de Liège, Liège.
- VAN DER SCHAAF, T.W., LUCAS, D.A., & HALE, A.R. (1991). *Near Miss Reporting as a safety tool*. Nederlands : Butterworth Heinemann Ltd.
- VERMERSCH, P. (1980). Analyse de la tâche et fonctionnement cognitif dans la programmation de l'enseignement. *Bulletin de Psychologie*, 33, 343, 179-187.
- VON BERTALANFFY, L. (1973). *Théorie générale des systèmes, physique, biologie, psychologie, sociologie, phylosophie* (trad. de General System Theory). Paris : Dunod.
- VOSS, J.F., GREENE, T.R., POST, T.A., & PENNER, B.C. (1983). Problem-solving skill in the social sciences. In GH. Bower (Ed), *The psychology of learning and motivation : advances in research and theory*. New-York : New-York Academy Press.

- VOURCH, G. (1983). Enquête épidémiologique sur les anesthésies. *Ann. Fr. Anesth. Réanim.*, 2, 333-385.
- VREULS, D., & OBERMAYER, R.W. (1985). Human System performance measurement in training simulators. *Human Factors*, 27, 241-250.
- WASON, P.C. (1960). On the failure to eliminate hypotheses in a conceptual task ? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12, 129-140.
- WEILL-FASSINA, A. (1979). Guidage et planification de l'action pour les aides au travail. *Bulletin de Psychologie*, XXXIII, 343-349.
- WEINGER, M.B., & ENGLUND, C.E. (1990). Ergonomic and human factors affecting anesthetic vigilance and monitoring performance in the operating room environment. *Anesthesiology*, 73, 995-1021.
- WEINGER, M.B., HERDON, O.W., ZORNOW, M.H., PAULUS, M.D., GABA, D., & DALLIN, L. (1994). An objective methodology for task analysis and workload assessment in anesthesia providers. *Anesthesiology*, 80, 77-92.
- WESTENSKOW, D.R., ORR, J.O., SIMON, F.H., ING, D., BENDER, H.J., & FRANKENBERGER, H. (1992). Intelligent alarms reduce anesthesiologist's response time to critical faults. *Anesthesiology*, 77, 1074-1079.
- WILKINS, A.J., & BADDELEY, A.D. (1978). Remembering to recall in everyday life : an approach to absent-mindedness. In P. Morris, & R. Sykes (Eds), *Practical Aspects of Memory*. London : Academic Press.
- WILKINSON, R.T. (1962). " Muscle tension during mental work under sleep deprivation". *Journal of Experimental Psychology*, 64, 565-571.
- WILPERT, B., & KLUMB, P. (1993). Social dynamics, organisation and management : factors contributing to system safety. In B. Wilpert, & T. Qvale (Eds), *Reliability and safety in hazardous work systems : approaches to analysis and design*. Hillsdale : Erlbaum.
- WOODS, D. (1988). Coping with complexity : the psychology of human behavior in complex systems. In L.P. Goodstein, H.B. Anderson, & S.E. Olsen (Eds), *Tasks, errors and mental models*. New-York : Taylor & Francis.
- WOODS, D.D. (1993). Process-tracing methods for the study of cognition outside of the experimental psychology laboratory. In G.A.Klein, J.Orasanu, R. Calderwood, & C.E.Zsombok, *Decision making in actions : models and methods*. Norwood, New Jersey : Ablex Publishing.
- WOODS, D.D., & ROTH, E.M. (1995). Symbolic AI computer simulations as tools for investigating the dynamics of joint cognitivesystems. In J.M. Hoc, P.C. Cacciabue, & E. Hollnagel (Eds), *Expertise and technology : cognition, human-computer & cooperation*. Hillsdale : Erlbaum.
- WU, T.M., & HWANG, S.L. (1989). Maintenance error reduction strategies in nuclear power plants, using root cause analysis. *Applied Ergonomics*, 20, 2, 115-121.
- 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, Department of Industrial Engineering, Toronto, Ontario, Canada.
- YACHANIN, S.A. (1986). Facilitation in Wason's selection task : content and instruction. *Current Psychological Research and Reviews*, 5, 20-29.
- ZELCER, J. (1991). Sleep deprivation and the anaesthetist. Proceedings of the International Conference on *Human Error in Anesthesia*. Monterey (C.A.), Feb. 26 - March 1.

Annexe

Appendix

QUESTIONNAIRE A REMPLIR EN CAS D'INCIDENT ET/ OU D'ACCIDENT D'ANESTHESIE

Ce questionnaire est strictement confidentiel.

Les informations que vous apporterez sont importantes. Elles permettront de dresser une "photographie" précise des choix et des stratégies anesthésiques, des conditions environnementales et des risques qui peuvent leur être associés. Notre objectif, en tant que médecin, est d'améliorer les soins de santé. Dans ce sens, nous organisons un recueil systématique des données relatives à la sécurité du patient. Les informations doivent être précises si nous voulons tirer des enseignements valides.

Beaucoup des questions peuvent être répondues par oui ou par non. Veuillez indiquer svp le numéro correspondant dans la case

1 pour oui

2 pour non

Si la question est à choix multiple, veuillez indiquer la lettre correspondante dans la case principale, par exemple

a

b

Certaines questions permettent différentes réponses et plusieurs cases sont prévues à cet effet; d'autres ne demandent qu'une croix dans la case correspondant à votre choix.

Le questionnaire peut être remis à Marie-Lyse Faymonville ou envoyé (par courrier interne) à Anne-Sophie Nyssen, service de psychologie du travail, Faculté de Psychologie - B32, Boulevard du Rectorat 5. Pour tout renseignement complémentaire, vous pouvez joindre Anne-Sophie Nyssen au service de psychologie du travail ULG 041 562013.

Nom, prénom de la personne répondant au questionnaire

1. Le patient

1.1. Age du patient

1.2. Sexe du patient

féminin =1 masculin =2

1.3. Status ASA du patient

- a. classe 1
- b. classe 2
- c. classe 3
- d. classe 4
- e. classe 5

Définitions

- Classe 1.** Patient n'ayant pas d'affection autre que celle nécessitant l'acte chirurgical; pas de perturbation d'une grande fonction.
- Classe 2.** Patient ayant une perturbation modérée d'une grande fonction en relation avec l'affection chirurgicale ou autre affection.
- Classe 3.** Patient ayant une perturbation sévère d'une grande fonction en relation ou non avec l'intervention chirurgicale
- Classe 4.** Patient courant un risque vital imminent, du fait de l'atteinte d'une grande fonction.
- Classe 5.** Patient moribond.

2. Les anesthésistes

2.1. Expérience des anesthésistes présents pendant l'intervention :

- a. 1ère année
- b. 2ème année
- c. 3ème année
- d. 4ème année
- e. 5ème année
- f. sénior

2.2. Y a-t-il eu un changement d'anesthésiste en cours d'intervention ?

oui=1 non=2

si oui, niveau d'expérience - pour le codage cfr. 2.1.

2.3. Y a-t-il un appel d'aide pendant l'intervention

oui=1 non=2

si oui, niveau d'expérience - pour le codage cfr. 2.1.

2.4. Expérience des autres membres de l'équipe :

- le chirurgien était-il

a. assistant

si oui, niveau d'expérience -pour le codage cfr. 2.1.

b. reconnu

c. professeur

- l'infirmière était-elle

a. habituée de la salle

b. expérimentée mais inabusuée de la salle

c. nouvelle

3. L'opération

3.1. Quelle fut l'opération réalisée?

3.2. S'agissait-il d'une opération

- a. programmée
- b. en urgence

- Dans le cas d'une opération programmée, l'opération réalisée a-t-elle été conforme à l'acte prévu sur le programme opératoire? oui=1 non=2
si non, svp précisez en quoi :

3.4. Quelle était la durée estimée de l'opération sur le planning opératoire

3.5. Quelle fut la durée réelle de l'opération :

3.6. Quantième opération de la journée :

3.7. Depuis combien de temps étiez- vous en service?

h m

3.8. L'opération a-t-elle eu lieu dans la salle d'opération programmée?

oui=1 non=2

- 3.9. Aviez-vous l'habitude de travailler
oui=1 non=2
dans cette salle d'opération
avec cette équipe

4. Conditions avant l'opération

- 4.1. Vous a-t-il manqué une information concernant le patient? oui=1 non=2
si oui,

avant l'opération (veuillez préciser SVP) _____

pendant l'opération (veuillez préciser SVP) _____

- 4.2. Avez-vous vous-même prémédiqué le patient? oui=1 non=2

- 4.3. Le patient avait-il déjà subi une anesthésie? oui=1 non=2

si oui,

- spécifiez dans quel cadre et quel type d'anesthésie : _____

- Avez-vous consulté sa fiche d'anesthésie antérieure? oui=1 non=2

- 4.4. Le patient était-il sous médicament ou thérapeutique au moment de l'opération?
oui=1 non=2

si oui, le(s) quelle(s) : _____

- 4.5. Diagnostic médical associé à cette thérapeutique :

- a. aucun
- b. respiratoire
- c. cardiaque
- d. neurologique
- e. endocrinien
- f. alimentaire
- g. rénal
- h. musculaire
- i. hématologique
- j. anormalité génétique
- k. autre (svp, spécifier) _____

5. Préparation du patient avant l'opération

- 5.1. Quand le patient a-t-il mangé et/ou bu pour la dernière fois?

- a. plus de 6 heures avant l'opération
- b. entre 4-6 heures avant l'opération
- c. moins de 4 heures avant l'opération
- d. non connu

- 5.2. Y-a-t-il eu des mesures pour réduire l'acidité gastrique et le volume?

oui=1 non=2

si oui, lesquelles _____

5.3. Y-a-t-il eu prémédication?

oui=1 non=2

si oui, svp spécifiez: _____

5.4. Y-a-t-il eu des mesures pour améliorer la fonction respiratoire avant l'induction?

oui=1 non=2

si oui, lesquelles: _____

5.5. A-t-on installé un monitoring non invasif juste avant l'induction?

oui=1 non=2

si oui, a. ECG
b. Bp
c. oxymètre de pouls
d. autres (spécifiez) _____

5.6. A-t-on installé un monitoring invasif avant l'induction de l'anesthésie (ex.CVP,ligne artérielle) ? oui=1 non=2

si oui, svp spécifiez: _____

5.7. A-t-on du prendre des mesures pour améliorer la fonction cardiovasculaire juste avant et pendant l'induction? oui=1 non=2

si oui, svp spécifiez le type et la dose: type dose

a.	fluide IV cristalloïdes	
b.	fluide IV colloïde	
c.	transfusion sanguine	
d.	drogue antiarythmique	
e.	inotropes (dopa.,adr.,dobu.)	
f.	autres (svp, spécifiez)	_____

6. L'anesthésie

6.1. Drogues utilisées pour l'induction: _____

6.2. Le patient a-t-il reçu des fluides intraveineux pendant l'intervention?

oui=1 non=2

si oui, svp spécifier le type et le volume: _____

6.3. Quantité de sang estimée perdue pendant l'intervention? _____

6.4. Monitoring utilisé pendant l'intervention?

tension.....
BP indirecte (non invasive).....
BP direct
CVP.....
Pression artérielle pulmonaire.....
ECG.....
oxymètre de pouls.....
stéthoscope.....
température.....
ventilation volume.....

pression airway.....
capnographe.....
Fio2.....
Autres (spécifiez,SVP).....

6.5. Y-a-t-il eu une défaillance ou un problème quelconque avec le matériel?

oui=1 non=2

si oui, spécifiez: _____

6.6. La visibilité ou l'accès aux monitoring vous - a-t-il gêné ou posé problème à un moment donné? oui=1 non=2

6.7. Quel type d'anesthésie fut pratiquée?

a. anesthésie générale

b. régionale

c. sédation

d. autre (svp spécifier) _____

Pour une anesthésie générale

6.7.1. Comment l'airway fut-il établi pendant l'anesthésie?

masque facial

masque laryngé

intubation orotrachéale

intubation nasotrachéale

trachéotomie

autre (svp, spécifier) _____

6.7.2. Quel fut le mode de ventilation pendant l'opération:

a. spontanée

b. contrôlée

6.7.3. En cas d'intubation trachéale, comment avez-vous confirmé la position du tube?

observation du tube passant à travers les cordes

mouvement thoracique

auscultation

monitoring du co2 expiré

autres(svp, spécifier) _____

6.7.4. Y-a-t-il eu des relaxants musculaires pendant l'anesthésie

oui=1 non=2

si oui, lesquels:

a. dépolarisant

b. non dépolarisant

6.7.5. Comment l'anesthésie fut- elle entretenue?

N2O.....

agents volatils

agents narcotiques.....

intraveineux.seuls.....

anesthésie balancée.....

avec quels produits _____

Tiva.....

avec quels produits _____

6.7.6. Y-a-t-il eu des problèmes pour maintenir l'airway ou la ventilation?

oui=1 non=2

si oui (svp spécifier) _____

En cas d'anesthésie régionale

6.7.7. Quelle méthode fut utilisée? _____

6.7.8..Quel agent fut utilisé? svp, indiquez la dose.

local.....

narcotique

autres.....

Pour une sédation

6.7.9..Quel sédatif fut utilisé pour cette procédure?

gaz

halogénés.....

N₂O/O.....

benzodiazépines.....

morphiniques.....

propofol.....

kétamine.....

anxiolytique.....

autres (svp,spécifier) _____

6.7.10. De l'oxygène fut-il donné?

oui=1 non=2

si oui, pour quelle(s) raison(s): _____

7. Réveil et transfert

7.1. Après l'opération le patient a-t-il été conduit ?

a. en salle de réveil

si oui, combien de temps y est-il resté:

h m

b. aux soins intensifs

c. dans sa chambre

7.2. Observations particulières _____

8. L'incident et/ou l'accident

8.1. Veuillez raconter svp précisément la situation et le problème rencontré:

8.2. Lieu de survenue de l'incident:

- a. salle d'induction
- b. salle d'opération
- c. salle de réveil
- d. réanimation
- e. service
- f. transport
- g. autre (lequel) _____

8.3. Si l'accident est survenu pendant l'anesthésie, moment de survenue

- a. installation sur table
- b. induction
- c. intubation
- d. injection de médicaments par le chirurgien
- e. incision
- f. intervention en cours, à l'occasion d'un geste chirurgical
- g. intervention en cours, à l'occasion d'une geste anesthésique
- h. intervention en cours, à l'occasion d'un changement de position
- i. fermeture
- j. extubation
- k. réveil
- l. autre(lequel) _____

8.4. Circonstances de survenue

8.4.1. Le patient était-il :

- a. seul
- b. sous surveillance effective de l'anesthésiste
- c. sous surveillance effective des infirmières

8.4.2. Prodromes: oui=1, non=2

si oui, lesquels _____

8.5. Nature de l'accident

Cardiovasculaire :

- a. trouble du rythme grave
- b. trouble de la conduction grave
- c. collapsus cardiovasculaire
- d. arrêt cardiocirculatoire
- e. hypertension majeure
- f. ischémie coronarienne(infarctus)
- g. embolie pulmonaire
- h. embolie gazeuse
- i. autre (svp,spécifier) _____

Respiratoire

- a. désaturation inférieure à 90%
- b. laryngospasme
- c. bronchospasme
- d. accident secondaire à une inhalation
- e. pneumothorax
- f. OAP
- g. défaillance de l'appareillage :
 - anomalie du fonctionnement du respirateur
 - défaut de montage du circuit anesthésique
 - débranchement accidentel
 - autre _____
- h. autre(svp, spécifiez) _____

Hématologique

- a. hémorragie provoquée par :
 - difficulté de l'hémostase chirurgicale
 - trouble de la coagulation dû à une
 - carence
 - fibrinolyse
 - thrombopénie
 - CIVD
 - autre (lequel) _____
- b. incompatibilité transfusionnelle:
 - sans conséquence
 - avec syndrômes hémorragiques
 - avec atteinte rénale
- c. autre (lequel) _____

Neurologique

- a. syndrome convulsif
- b. accident vasculaire cérébral
- c. paralysie plexulaire
- d. paralysie tronculaire
- e. encéphalopathie postanoxique
- f. coma
- g. autre (lequel) _____

Allergique

- a. oedème pharyngo-laryngé
- b. choc anaphylactique - hypotension majeure
- c. bronchospasme
- d. erythème cutané
- e. autre(lequel) _____

Décompensation grave d'une tare viscérale préexistante:

- a. insuffisance hépatique
- b. insuffisance rénale
- c. diabète
- d. insuffisance surrénalienne
- e. insuffisance hypophysaire
- f. insuffisance thyroïdienne
- g. crise thyrotoxisque
- h. autre _____

Hyperthermie maligne

Evénements accidentels contemporains à l'anesthésie

- a. brûlures (matelas chauffant, ECG, etc)
- b. électrocution
- c. injection paraveineuse
- d. injection intra-artérielle
- e. complications ophtalmologiques
- f. compression ou étirement nerveux
- g. autre(lequel) _____

Autre accident non compris dans l'énumération ci-dessus _____

Observations particulières : _____

8.6. Conduite adoptée face à l'accident :

Observation et Découverte du problème

8.6.1. L'accident a-t-il été découvert:

- a. immédiatement lors de sa survenue
 - b. avec retard
- si l'accident a été découvert avec retard estimez celui-ci en minutes

8.6.2. Comment a-t-il été découvert?

- a. alarme
- b. observation du monitoring
- c. observation du patient
- d. observation de l'acte chirurgical
- e. devant l'apparition de séquelles
- f. communication, interpellation
- g. autre (svp.précisez) _____

8.6.3. Par qui a-t-il été découvert?

- a. anesthésiste de fonction pendant l'opération
- b. chirurgien
- c. infirmier
- d. autre _____

Diagnostic

8.6.4. L'accident a-t-il été diagnostiqué

- a. immédiatement lors de sa survenue
 - b. pendant l'opération avec retard
 - c. après l'opération
- si l'accident a été diagnostiqué avec retard estimez celui-ci en minutes

8.6.5. Avez-vous reçu de l'aide pour diagnostiquer l'accident?

oui=1 non=2

8.6.6. Face à l'accident, quelle fut votre 1ère hypothèse et réaction ? _____

- si il y a eu un cheminement ou plusieurs hypothèses posées: svp spécifier ces hypothèses et ce qui vous a permis de les infirmer ou de les confirmer?

Traitement

8.6.7. La thérapeutique a-t-elle été mise en place sur base

- a. symptomatique
- b. du diagnostic
- c. pour prévenir l'évolution du cas (pronostic)

8.6.8. Le traitement entrepris a consisté en :

- a. geste chirurgical de sauvetage
- b. manoeuvres de réanimation
- c. techniques instrumentales
- d. thérapeutiques médicamenteuses
- e. autres _____

8.6.9. Vous-a-t-il manqué :

quelqu'un: qui ? _____
quelque chose: quoi? _____

8.6.10. Avez-vous appelé le bip 800? oui=1 non=2

si oui, l'avez-vous appelé

- a. de suite au moment du problème
- b. sur demande de l'infirmière
- c. après le constat d'échec du traitement entrepris

8.6.11. Le senior est-il arrivé selon vous :

- a. dans les délais attendus
- b. plus tard que prévu
- c. trop tard
- d. pas du tout

Observations particulières

8.6.12. Aviez-vous déjà rencontré ce type d'incident? oui=1 non=2

si oui, - avez-vous entrepris dans un premier temps, la même procédure de récupération ? oui=1 non=2

- la situation présentait -elle des points divergents (svp, précisez)

8.6.13. Connaissiez-vous le traitement à entreprendre? oui=1 non=2

Evolution

8.6.14...si l'accident est survenu pendant l'opération, celle-ci a-t-elle été

- a. interrompue
- b. poursuivie
- c. reportée

- la survenue du problème a-t-elle été :

- a. lente
- b. rapide
- c. exponentielle (lente puis catastrophique)

- amélioration

- a. immédiate
- b. avec retard

- suites pour le patient :

- a. survie définitive
- b. décès immédiat
- c. coma

- en cas de survie, y-a-t-il eu des séquelles

- a. mineures (svp,spécifier) _____

- b. moyennes(svp,spécifier) _____

- c. majeures(svp,spécifier) _____

9. Analyse

9.1. Donner votre avis sur chacune des propositions suivantes en utilisant l'échelle ordirale suivante:

- | | | |
|----------|-------------|-----------------------|
| 0 | pour | absolument pas |
| 1 | pour | partiellement |
| 2 | pour | principalement |

9.1.1. L'accident est du selon vous :

- au terrain (patient)
- à la complexité du cas
- au contexte organisationnel
- au chirurgien
- à l'anesthésiste
- à la surcharge de travail
- à la gestion de l'information
- autre (svp, spécifiez) _____

9.1.2. A l'origine de l'accident, il y a eu: (utiliser l'échelle ordinale ci-dessus)

- une difficulté pour détecter le problème.....
une erreur de diagnostic.....
- dans ce cas, la thérapeutique mise en place était-elle tout de
même cohérente avec le diagnostic posé sur le moment ?
oui non
un problème d'appréciation du risque
pré-opératoire.....
per-opératoire.....
post-opératoire.....
une erreur dans le choix et l'élaboration du traitement mis
en place dans le cas d'un diagnostic correct.....
une erreur de manipulation.....
une erreur dans la procédure suivie(oubli d'un control check,
d'une séquence).....
autre(svp, spécifiez)_____

9.2. Dans le cas d'une erreur de technique, la cause est selon vous :

- a. une défaillance du matériel
- b. une anomalie de fonctionnement
- c. un défaut de montage
- d. un débranchement accidentel
- e. un matériel inadapté

9.3. Pouvez-vous préciser votre opinion quant à l'influence de certains facteurs associés à l'incident en utilisant l'échelle ordinale suivante:

- | | |
|----------|-----------------------------|
| 0 | aucune influence |
| 1 | influence modérée |
| 2 | influence importante |
| 3 | influence principale |

- manque d'expérience globale de l'anesthésiste.....
salle d'opération et équipe de travail inhabituelles.....
non uniformité du matériel d'une salle à l'autre.....
rapport de force - entre chirurgien-anesthésiste-infirmière.....
interruption dans le travail (coup de téléphone, appel).....
fatigue.....
empressement, énervement dû à l'urgence du cas.....
à un retard cumulé sur le planning.....
supervision inadéquate, insuffisante.....
espace de travail encombré.....
champs visuel réduit.....
accès veineux et /ou monitoring insuffisants.....
inattention due à la présence
d'un distracteur : stagiaire, médecin traitant, ou autre.....
due à la fatigue : longueur du cas, monotone.....
manque de communication entre les membres de l'équipe opératoire.....
problème d'échange d'information entre les membres de l'équipe opératoire.....
disposition d'esprit particulière.....
autres(svp, spécifiez)_____
-

10. Pouvez-vous donner votre avis sur chacune des propositions suivantes, en utilisant la même échelle ordinale (cfr. ci -dessus):

10.1. Chez vous, quelle a-été l'impression ressentie après l'incident?

un sentiment de rage.

contre les conditions de travail.....

contre les chirurgiens.....

contre la surcharge de travail.....

contre l'élaboration du programme opératoire.....

contre le superviseur.....

contre autre chose (svp, spécifier)_____

un sentiment de soulagement.....

un sentiment de culpabilité.....

un questionnaire

autre impression (svp, expliquez)_____

10.2. Après l'incident, avez-vous remarqué

un manque de sommeil.....

un manque d'appétit.....

des difficultés de concentration.....

un ressassement involontaire de l'incident en mémoire.....

une peur à faire d'autres anesthésies.....

une perte de plaisir.....

autre(svp, précisez)_____

10.3. Qu'attendriez-vous et que pourrais-t-on faire selon vous pour améliorer cet "après incident", moment trop souvent laissé à l'anesthésiste seul?

Merci pour votre collaboration.

Imprimerie DEROUAUX ORDINA Editions
10, place Saint-Jacques – 4000 LIEGE
Tél. 32 (4) 223 12 53 – Fax 32 (4) 223 53 30