



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العلمي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Maintenance en Instrumentation

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Génie Industriel

Thème

**Conception et réalisation d'une IHM de supervision dans
une structure hospitalière**

Présenté et soutenu par :

BELAILI Bouhadjar

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
DJEBLI Yamina	MAA	Université Oran 2	Présidente
HACHEMI Khalid	Prof	Université Oran 2	Encadreur
TITAH Mawloud	MCB	Université Oran 2	Examineur

Année 2020/2021

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.

*Je voudrais dans un premier temps remercier, mon directeur de mémoire « **HACHEMI khalid** » professeur à l'institut de Maintenance et De Sécurité Industrielle, Es Sénia, Oran, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.*

Je remercie également toute l'équipe pédagogique de l'Institut de Maintenance et De Sécurité Industrielle, Es Sénia, Oran et les intervenants professionnels responsables de ma formation, pour avoir assuré la partie théorique de celle-ci.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

*J'adresse aussi des remerciements à à **Mme DJEBLI Yamina**, Maitre Assistante A à l'institut de Maintenance et De Sécurité Industrielle qui a accepté de présider le jury de soutenance, qu'elle trouve ici l'expression de notre profonde et sincère reconnaissance.*

*Mes remerciements vont également à Mr **TITAH Mawloud**, Maitre de conférences B à l'institut de Maintenance et De Sécurité Industrielle qui a accepté de faire partie du jury de soutenance, qu'il trouve ici l'expression de notre profonde et sincère reconnaissance.*

Dédicaces

Avec tous mes sentiments de tendresse, je dédie ce modeste travail à mes chers parents pour leurs amour, tous leurs sacrifices, leur précieux conseils et qui m'ont toujours encouragé à aller de l'avant.

A mes chères frères « Yacine » et « Mohammed » qui étaient toujours là

À mon encadreur monsieur «Hachemi Khalid " qui était à ma disposition, pour son aide, son orientation, et sa gentillesse.

Sans oublier tous les professeurs et tous les enseignants qui m'ont accompagné durant tout mon parcours éducatif notamment qui ont fait leur travail Comme il se doit

BOUHADJAR

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	01
Chapitre 01	03
1.1 Système Homme-Machine et Interface Homme-Machine	04
1.1.1 Le système Homme-Machine (SHM)	04
1.1.2 L'Interface Homme-Machine (IHM)	05
1.2 Conception, vérification et génération semi-automatique des IHM	06
1.2.1 La psychologie cognitive dans la conception des IHM	06
1.2.1.1 La modélisation de l'opérateur humain	06
1.2.1.1.1 Le modèle du processeur humain	07
1.2.1.1.2 La théorie décisionnelle de Rasmussen	08
1.2.1.1.3 La théorie de l'action de Norman	10
1.2.1.2 L'analyse de la tâche humaine dans la conception des IH	12
1.2.1.2.1 Les travaux de Abed	13
1.2.1.2.2 Les travaux de Paterno	15
1.2.1.2.3 Les travaux de Scapin	16
1.2.2 L'ergonomie cognitive dans la conception des IHM	17
1.2.3 Les cycles de vie Génie Logiciel « enrichis » dans la conception des IHM	19
1.2.3.1 Modèle de Long	20
1.2.3.2 Modèle en étoile	20
1.2.3.3 Modèle Δ (Nabla)	21

1.2.4	Approches et modèles spécifiques de la conception des IHM	22
1.2.4.1	Travaux de Palanque et Bastide : le modèle ICO	23
1.2.4.2	Travaux de De Rosis : le formalisme XDM	23
1.2.4.3	Travaux de Mahfoudhi et Tabary : la méthode TOOD	24
1.2.4.4	Travaux de Ait Ameer : la méthode B	25
1.2.4.5	Travaux de Rodriguez : le projet ALACIE	26
1.2.4.6	Travaux de Bodart : le projet TRIDENT	27
1.2.4.7	Travaux de Moussa : le système Ergo-Conceptor	28
CHAPITRE02		30
INTRODUCTION		31
2.1	Les indicateurs de performance : éléments de définition	31
2.1.1	Le concept d'indicateur	31
2.1.2	Le concept de performance	33
2.1.3	Le concept d'indicateur de performance	34
2.2	l'intérêt des indicateur de santé	36
2.3	Les différents types d'indicateurs de santé	37
2.4	Les principales caractéristiques d'un indicateur sont	37
2.5	La construction d'indicateurs	38
2.6	Représentations graphiques des indicateurs	41
CHAPITRE 03		49
Introduction		50
3.1	Indicateur de Jauge	50

3.1.1 Qu'est-ce qu'un graphique jauge et comment l'utiliser ?	51
3.1.2 Avantages des graphiques de jauge	52
3.1.3 Inconvénients des graphiques de jauge	52
3.2 Étapes pour créer un graphique jauge dans Excel	53
3.3 Saisi des données	60
3.4 Barre de défilement	62
3.4.1 Ajouter une barre de défilement (Contrôle de formulaire)	63
3.5 La fonction SI sure EXEL :	64
Conclusion	67
Bibliographie	68

INTRODUCTION GENERALE

Parmi les responsabilités qu'exerce un directeur d'hôpital, piloter l'établissement dont il est responsable forme une de ses missions essentielles. Les tableaux de bord constituent des outils de référence pour conduire l'institution de façon éclairée.

Le pilotage des hôpitaux compte parmi les plus complexes en ce qui concerne les entreprises de services. Les patients attendent la fourniture d'un service individualisé, où les soins, les traitements, sont exigeants. La sécurité et la qualité des soins doivent être maximales. Tout cela se conjugue avec des ressources humaines et financières limitées, qui doivent être optimisées. Dans ce contexte, l'introduction dans le domaine de la santé de méthodes provenant du monde de l'entreprise telles que les tableaux de bord peut être discutée. Cette transformation ne doit pas seulement viser à accroître l'efficacité et la productivité, mais également prendre en compte des objectifs sociaux. Dans cette perspective, l'introduction des tableaux de bord peut aider à associer productivité et solidarité. Ceux-ci ne sont pas uniquement orientés sur les résultats financiers, mais aussi sur la satisfaction du patient.

Par définition, un tableau de bord est un document écrit composé d'une série d'indicateurs synthétiques, qui concernent une même entité (l'hôpital dans son ensemble ou un pôle en particulier) organisé de façon cohérente à des fins de connaissance, de maîtrise des performances et de suivi des objectifs. Les tableaux de bord remplissent deux fonctions, qui interagissent et s'enrichissent toutes les deux :

Suivre l'action et l'état d'avancement de l'activité ou de projets plus précis. Le tableau est alors un outil d'information et de dialogue entre les différents niveaux hiérarchiques ;

Servir au pilotage de chaque pôle ou de l'hôpital en aidant au diagnostic, puis à l'évaluation des résultats d'une action.

L'introduction de tableaux de bord permet aussi de réduire les barrières entre les différentes fonctions de l'hôpital : les responsables ont des compétences distinctes et identifient diverses priorités. Le tableau de bord permet de partager la stratégie et les buts : à travers le consensus, l'implantation de la stratégie peut être améliorée. La séparation entre monde soignant et administratif s'appuie sur des facteurs culturels et historiques. L'introduction de tableaux de

bord permet de réduire les antagonismes et d'introduire de nouveaux modes de régulation. La grande difficulté consiste en effet à traduire la stratégie de l'établissement en actes quotidiens.

L'interface homme-machine joue donc un rôle essentiel dans l'efficacité et la fiabilité du système.

Dans ce projet nous allons développer une interface homme-machine de supervision d'un service hospitalier, en s'intéressant au suivi du taux d'occupation dans le but de mieux gérer le flux de patients.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres. Dans le premier chapitre nous traitons de la conception des Interfaces Homme-Machine. Le chapitre 2 présente les indicateurs dans la santé. Dans le chapitre 3 est présentée l'interface de supervision que nous avons développée. Enfin, nous terminons par une conclusion générale.

CHAPITRE1: LA CONCEPTION DES INTERFACES HOMME-MACHINE

1.1 Système Homme-Machine et Interface Homme-Machine

1.1.1 Le système Homme-Machine (SHM)

Il nous semble, ici, opportun de rappeler ce qu'est qu'un SHM. Cet éclaircissement est indispensable puisqu'il nous permettra de mettre le doigt sur l'ensemble des moyens à mettre en œuvre dans la construction d'un tel système et par la même nous renseigner sur les disciplines sous-jacentes à maîtriser dans un processus de conception d'IHM dans les systèmes industriels complexes (automatique, automatique humaine, ingénierie, intelligence artificielle, ergonomie, psychologie cognitive, informatique, etc.).

Un SHM consiste en une synthèse fonctionnelle entre un homme et un système technologique. Il est composé au minimum d'un opérateur humain, d'une machine et d'une interface permettant la communication entre les deux [Johansen, 82].

L'architecture évoluée d'un SHM peut être celle illustrée par la figure 1.1. Les trois couches "commande locale", "coordination" et "pilotage automatisé" constituent la commande temps réel. Souvent, on y adjoint un système de surveillance automatisé. L'IHM gère les interactions de l'opérateur aussi bien avec le système de pilotage (informations sur l'avancement de l'activité du système) qu'avec le système de surveillance automatisé (informations sur l'état de fonctionnement des composants du système). Elle peut être soutenue par un système d'assistance de l'opérateur (spécifications de références, procédures de diagnostic, etc.).

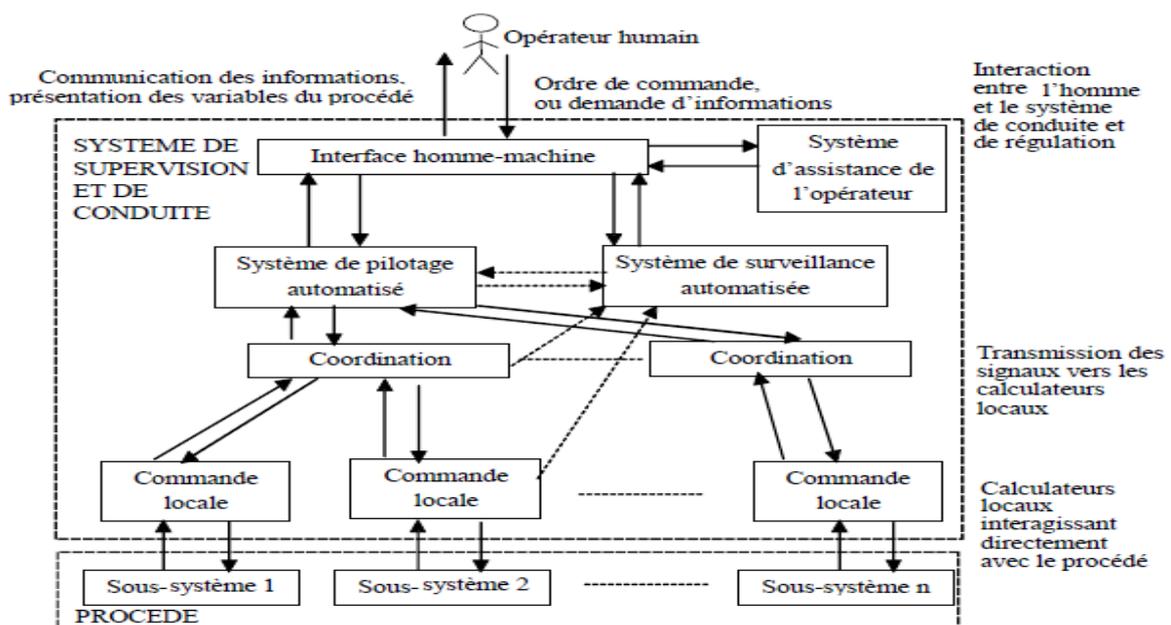


Figure 1.1: Architecture d'un Système Homme-Machine [Riahi, 04] inspirée de [Sheridan, 85]

1.1.2 L'Interface Homme-Machine (IHM)

Il ressort de la définition du SHM, que l'interface constitue la charnière entre le système technologique (y compris son sous-système de supervision et de conduite) et l'OH (l'Opérateur Humain) qui, guidé par des objectifs précis et sous des contraintes particulières, doit pouvoir exécuter ses tâches en déroulant un plan d'action établi.

L'IHM représente le moyen privilégié, pour l'OH, pour superviser le système et le corriger en cas de besoin. L'IHM assure une communication à double sens :

1. informer l'OH du bon fonctionnement des composants du système et de l'avancement des activités entreprises. Dans ce sens, les informations internes du système traversent l'interface de sortie du procédé en subissant des transformations pour aboutir à une présentation perceptible par l'opérateur grâce à l'IHM,
2. offrir à l'OH le moyen de passer de ses intentions à l'exécution des actions pour modifier l'état du système. Dans ce sens, l'IHM assure les dispositifs physiques mis à la disposition de l'OH pour accomplir ses tâches.

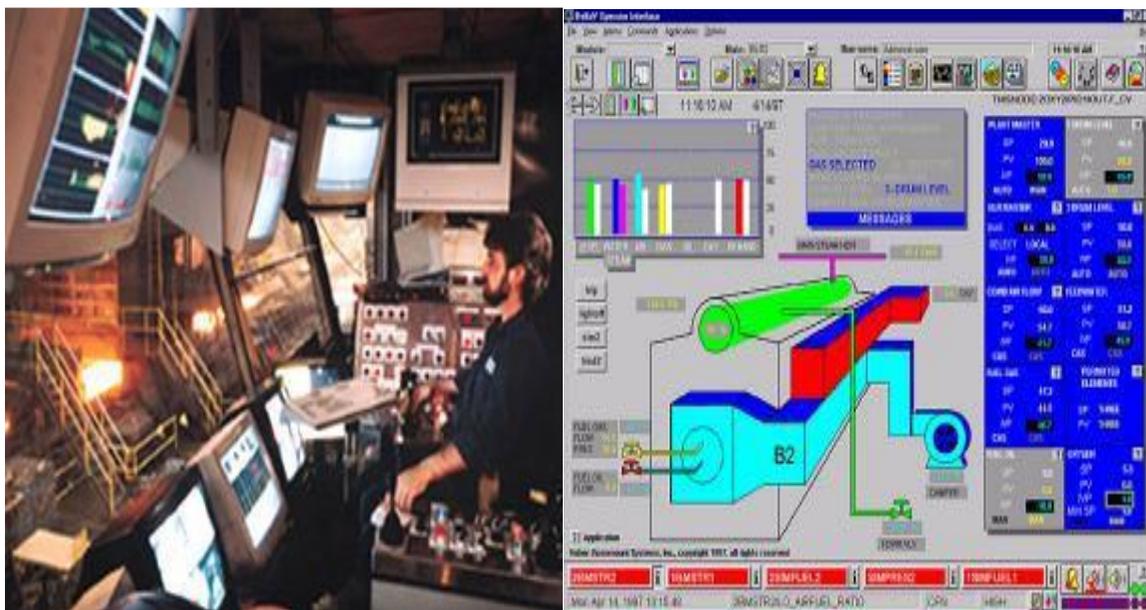


Figure 1.2 : (a) poste de supervision (b) exemple d'Interface Homme-Machine

Ainsi, l'OH ne possède pas de vue directe sur le procédé et sur les résultats de ses actions, et doit donc se forger une représentation mentale du fonctionnement du système et des différentes variables qui le composent. Il travaille alors à travers la représentation mentale

qu'il se fait à chaque instant du système, représentation qu'il obtient grâce notamment à l'IHM [Norman, 86], [Rasmussen, 86] [Richard et al., 90], [kolski, 95].

Parmi les différents types d'IHM, nous considérons, dans notre travail, l'interface graphique (notée dans la suite de ce document IHM). Celle-ci est proposée sur un ou plusieurs écrans de visualisation de tailles variables. Elle renferme un ensemble de vues, parfois plusieurs dizaines voire centaines selon la complexité du procédé.

En raison du nombre élevé de variables à considérer et de la complexité des tâches à réaliser, il s'avère que l'utilisation des IHM peut entraîner des erreurs humaines. Ces erreurs proviennent souvent de lacunes lors de l'analyse des Besoins Informationnels des Opérateurs (BIO) pour les différentes tâches à accomplir, de connaissances insuffisantes des limites des OH, d'erreurs dans la présentation et la structuration de l'information sur les écrans, etc. De telles erreurs peuvent être évitées en prenant le problème des IHM à la base c'est-à-dire au niveau de la conception.

1.2 Conception, vérification et génération semi-automatique des IHM

Le processus de conception des IHM implique le recours à plusieurs disciplines et approches différentes mais complémentaires. On y propose ci-dessous celles qui nous semblent les plus pertinentes, à savoir la psychologie cognitive, l'ergonomie cognitive, les cycles de vie génie logiciel enrichis et, enfin, les approches et modèles considérés comme spécifiques pour la conception des IHM.

1.2.1 La psychologie cognitive dans la conception des IHM

Nous proposons ci-dessous deux concepts essentiels de la psychologie cognitive : la modélisation de l'opérateur humain et l'analyse de la tâche humaine.

1.2.1.1 La modélisation de l'opérateur humain

Avant d'entamer la présentation de plusieurs théories, représentations et modélisation de l'opérateur humain, il est important d'ouvrir ici une parenthèse pour souligner la coexistence, dans le domaine de l'interaction homme-machine, de deux approches de modélisation fondamentalement distinctes :

□ L'approche fiabiliste : elle a été initiée par Swain en 1963 [Swain, 63]. Son objectif est d'appliquer à l'opérateur les mêmes techniques d'évaluation de la fiabilité des matériels pour aboutir par la suite à des évaluations de la fiabilité globale du SHM. Comme exemple de cette approche, nous pouvons citer THERP (Technique for Human Error Rate Prediction) [Swain, 64] qui quantifie la fiabilité humaine en passant par la probabilité d'occurrence des erreurs des opérateurs au même titre que les dysfonctionnements des systèmes [Swain et al., 81]. Plus tard, SHERPA, une variante de THERP, est venu ajouter à l'évaluation quantitative une évaluation qualitative dans l'espoir de rendre cette approche plus « humaine » [Embrey, 86]. Cette approche a beaucoup servi le département américain de la défense, mais n'a pas eu beaucoup de succès auprès de la communauté des chercheurs en interaction Homme-Machine.

□ L'approche cognitiviste : elle vise à comprendre la genèse des erreurs de l'OH à partir des concepts tirés de la psychologie cognitive et s'appuie, pour cela, sur une description des mécanismes décisionnels humains mis en jeu pour accomplir les tâches. Elle facilite ainsi la déduction des besoins informationnels et des besoins d'assistance, utiles pour la spécification de l'interface. Contrairement, donc, à l'approche fiabiliste, l'approche cognitiviste met davantage l'accent sur la construction plutôt que sur l'évaluation. C'est pour cette raison que nous adopterons, dans nos travaux, cette approche.

Comme on vient de l'exposer dans le paragraphe précédent, en psychologie cognitive, la prise en compte de l'utilisateur se fait à travers des modèles permettant de rapprocher le fonctionnement de celui-ci. Les psychologues, communauté très active dans ce champ de recherche, tentent de proposer des modèles servant de cadre général de réflexion pour les chercheurs en interaction homme-machine. Sans souci d'exhaustivité, on propose, dans ce qui suit, le modèle du processeur humain, la théorie décisionnelle de Rasmussen et la théorie de l'action de Norman.

1.2.1.1.1 Le modèle du processeur humain

Le modèle du processeur humain, proposé par Card [Card et al., 1983], peut être considéré comme le premier modèle, de la psychologie cognitive, étudié dans le cadre des systèmes Interactifs. Il consiste en la combinaison de trois sous-systèmes interdépendants (i) le système sensoriel, (ii) le système moteur (iii) et le système cognitif ; qui possèdent, chacun, une mémoire et un processeur (figure 1.2).

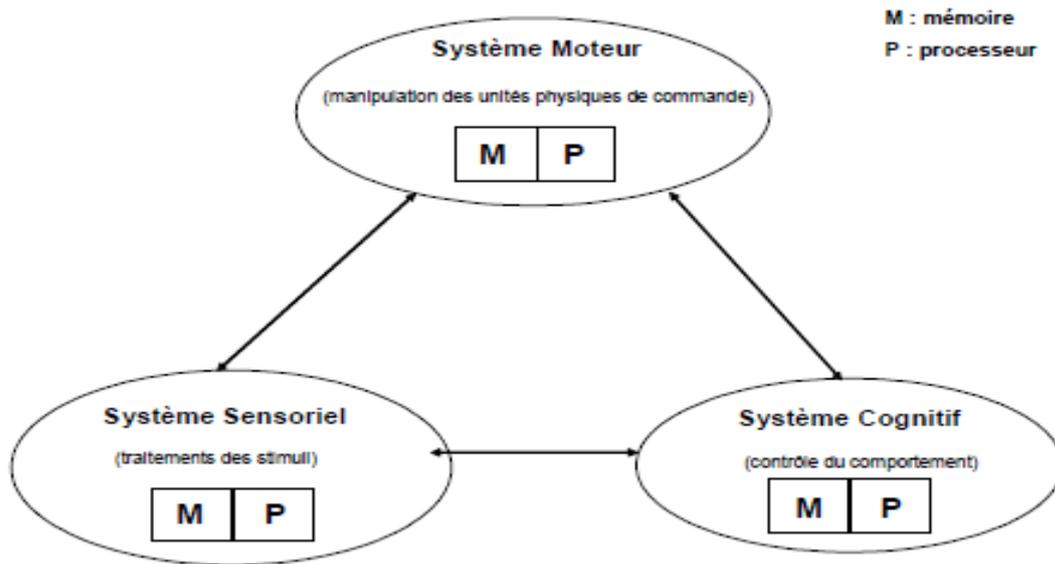


Figure 1.3 : Modèle du processeur humain

Cette structure à base de processeurs communicants, a permis à Card de procéder à des expérimentations dans le but de déterminer les caractéristiques de ces processeurs. Par exemple, un des trois processeurs de ce modèle est le processeur moteur qui est responsable des mouvements physiques de l'utilisateur. Il a été évalué empiriquement que le temps moyen pour effectuer un mouvement élémentaire est inclus dans l'intervalle [30,100] millisecondes. Ces résultats bien qu'empiriques sont facilement intégrables dans une spécification IHM.

1.2.1.1.2 La théorie décisionnelle de Rasmussen

En 1980, Rasmussen fut le premier à proposer un cadre, appelé « échelle de décision » (décision ladder) [Rasmussen, 80], illustrant la démarche générale de résolution de problème susceptible d'être suivie par des utilisateurs d'interfaces graphiques en salle de supervision de système industriel. L'échelle de décision de Rasmussen comprend quatre étages séquentiels de traitement d'informations, figure 1.3 :

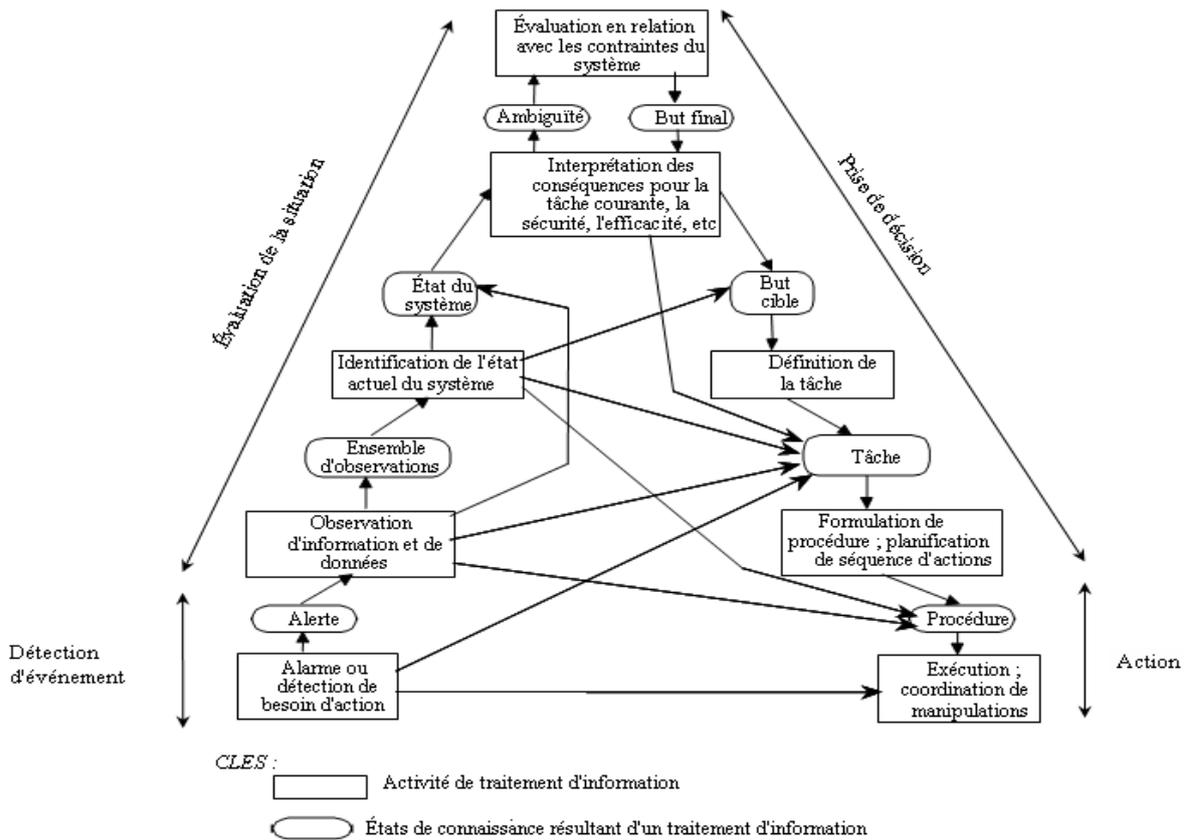


Figure 1.4 : L'échelle de décision de Rasmussen

- détection d'un événement anormal mettant l'opérateur en état d'alerte (détection par une alarme ou par une observation de l'évolution anormale d'une ou de plusieurs variables),
- évaluation de la situation en observant l'ensemble des informations utiles de façon à identifier l'état du procédé,
- définition d'une stratégie générale de correction, compte tenu de l'état identifié et des objectifs de conduite qui lui sont assignés, puis décomposition en tâches et procédures d'actions,
- exécution des actions.

Bien entendu, le raisonnement de l'opérateur ne se déroule pas toujours séquentiellement en suivant toutes les étapes visibles dans ce modèle (raccourcis proposés sur la figure 1.3) notamment lorsqu'il est face à une situation connue. Ces différences de comportement sont très importantes, pour les concepteurs d'interfaces, puisqu'elles entraînent des variations sur

les besoins informationnels de l'opérateur dont il faut tenir compte lors de la spécification de l'interface. Dans ce sens Rasmussen distingue trois types de comportement de l'OH :

- Comportement basé sur l'habileté (skill based behaviour) où l'opérateur exécute d'une façon quasi réflexe des actions correctrices en réponse à des informations perçues sous forme de signaux. Dans ce cas l'opérateur passe directement de l'étape de détection d'un état anormal à l'étape d'exécution d'une procédure.
- Comportement basé sur les règles (rule based behaviour). Ce comportement est adopté par l'opérateur quand celui-ci se trouve confronté à une situation connue. Dans ce cas l'opérateur applique une procédure prédéfinie et mémorisée dans sa mémoire à long terme et/ou disponible sous une forme logicielle ou papier.
- Et comportement basé sur la connaissance (knowledge based behaviour) pouvant être mis en évidence lors de situations inhabituelles ou inconnues obligeant l'opérateur à mener des raisonnements réellement intelligents pour résoudre le problème.

L'échelle de décision de Rasmussen offre un bon cadre pour comprendre et analyser le comportement cognitif de l'opérateur et proposer en conséquence une IHM adaptée à chaque type de comportement suivi. Notons aussi que ce modèle a fait l'objet d'extensions par Hoc et Amalberti sous l'angle de la dynamique des situations [Hoc et al., 95].

1.2.1.1.3 La théorie de l'action de Norman

Cette théorie introduit les différentes étapes cognitives nécessaires à la réalisation d'une tâche exécutée par l'opérateur humain à l'aide d'un système informatique [Norman, 86].

La représentation mentale de la connaissance en termes de variables psychologiques représente le modèle conceptuel. Ainsi, à chaque concept, unité de connaissance ou sujet d'intérêt, correspondra une variable psychologique (valeur d'une variable du procédé, état d'un sous-système, état but à atteindre, etc.).

Cette représentation mentale dépend de la connaissance déjà acquise et de la compréhension de la situation présente. Ce modèle mental est donc incomplet, imprécis et il évolue avec l'expérience et l'apprentissage.

Selon Norman, la réalisation d'une tâche met en jeu au moins plusieurs activités (figure 1.4) :

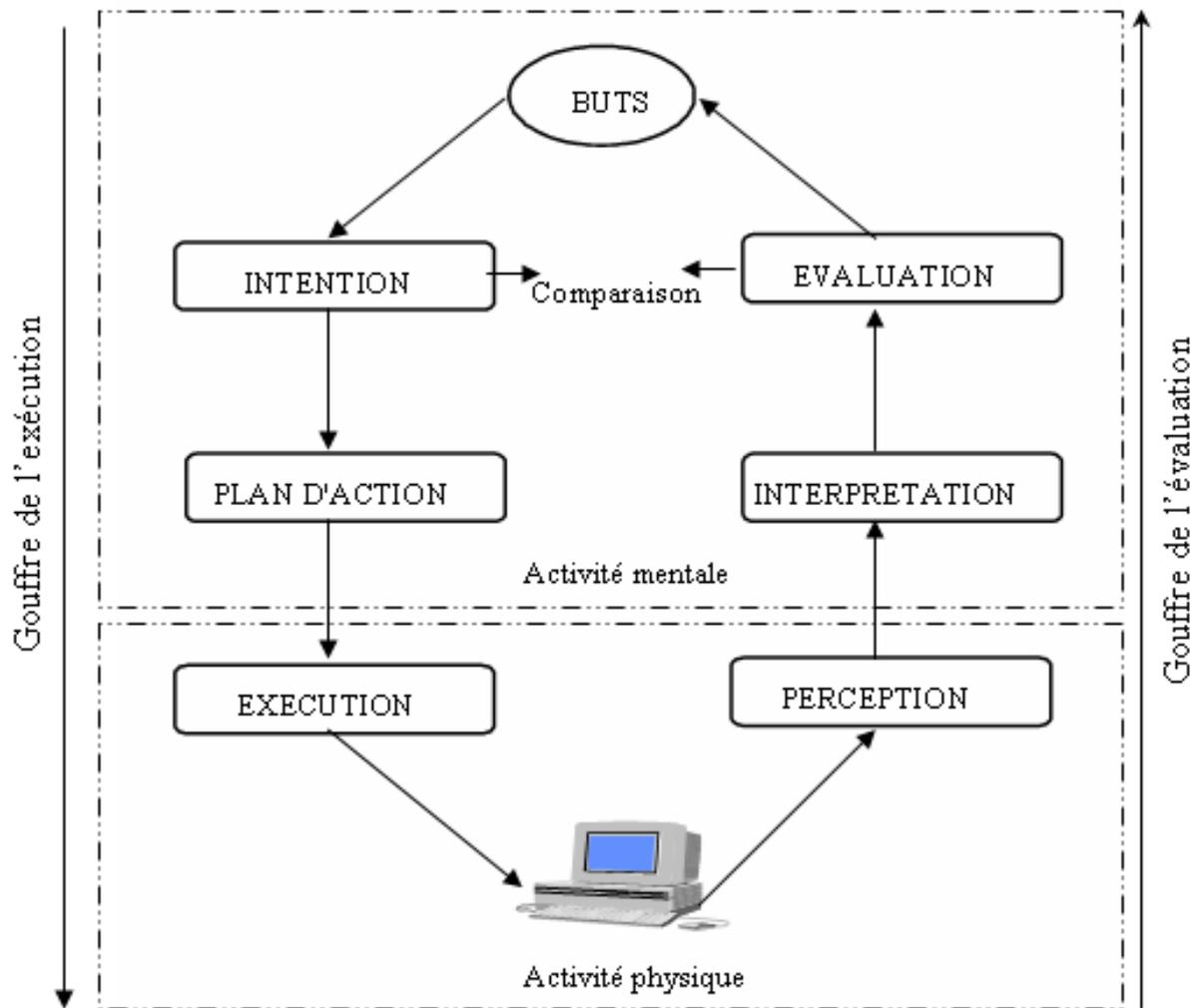


Figure 1.5 : La théorie de l'action de Norman

- 1- L'établissement d'un but. Un but est une représentation mentale de l'état du système que l'utilisateur souhaite atteindre et ce, en agissant sur des dispositifs physiques mis à sa disposition au niveau de l'interface.
- 2- La formulation d'une intention est la décision d'agir de façon à atteindre le but préétabli.
- 3- L'adoption par l'utilisateur d'un plan d'action : c'est la représentation psychologique de l'ensemble des actions et de leur ordonnancement que l'opérateur doit exécuter au moyen de dispositifs physiques de contrôle et ce, dans le but d'atteindre son objectif.
- 4- L'exécution du plan d'action : il s'agit dans cette étape de mettre en application le plan d'action en agissant, à partir des dispositifs de contrôle, sur le procédé piloté. L'état du système va donc changer.

5- La perception du nouvel état du système : dans cette étape, l'opérateur constate les changements survenus sur le procédé.

6- L'interprétation de la modification des variables physiques en terme psychologique : elle aboutit à une représentation mentale du nouvel état du système.

7- La comparaison du nouvel état du système avec le but préétabli et les intentions formulées : elle peut conduire à la poursuite du plan d'action ou à sa modification.

Enfin, cette théorie de l'action de Norman souligne que l'activité de l'opérateur nécessite le franchissement, de deux chemins, qu'il importe de réduire au maximum, traduit par [Nigay, 94] comme étant :

- Le gouffre de l'exécution qui désigne la distance mentale que l'opérateur doit parcourir pour passer de ses intentions à l'exécution des actions, en tenant compte des propriétés des dispositifs physiques mis à sa disposition, à travers l'IHM, pour modifier l'état du système.
- Le gouffre de l'évaluation qui définit le parcours inverse ; les informations internes du système traversant l'interface de sortie du procédé en subissant des transformations pour aboutir à une présentation perceptible par l'opérateur grâce à l'IHM.

Le dénominateur commun de ces modèles issus de la psychologie cognitive est l'analyse des tâches opérateurs. En effet, ces modèles mettent l'accent sur une description à haut niveau d'abstraction de la notion de « tâche ». Cependant, leur inconvénient majeur est le manque de support formel. Ils ne peuvent pas être appliqués d'une manière directe et systématique pour la conception des IHM. De nombreux chercheurs travaillent depuis des années sur la formalisation de ce concept clé de la psychologie cognitive : "la tâche opérateur". Une synthèse de certains travaux représentatifs est maintenant présentée.

1.2.1.2 L'analyse de la tâche humaine dans la conception des IHM

L'intégration d'un modèle de la tâche dans le processus de conception des IHM semble aujourd'hui faire l'unanimité au sein de la communauté des chercheurs en interaction homme-machine. En effet, l'analyse et la modélisation de la tâche apportent beaucoup de connaissances en terme de BIO ; besoins à transformer et intégrer au niveau des IHM.

Une majorité de chercheurs convergent aujourd'hui vers cette définition de la tâche : « c'est une activité dont l'accomplissement par l'utilisateur produit un changement d'état significatif d'un domaine d'activité donné, dans un contexte donné » [Tarby, 93], [Bodart et al., 95], [Palanque, 97].

Une précision importante au niveau du concept de tâche opérateur est à souligner. Elle renvoie à la distinction à faire entre :

- la tâche prescrite, prévue ou prédite par les concepteurs, résultant d'un processus d'identification, d'analyse et de modélisation,
- et la tâche réelle, effective ou accomplie, renvoyant aux séquences d'actions cognitives ou physiques produite par l'utilisateur et les ressources impliquées dans ces actions. La reconstitution de la tâche réelle est souvent obtenue par des processus d'observation et de recueil de données dans un SHM réel ou simulé.

La comparaison des modèles de la tâche prescrite et de la tâche réelle permet de dégager des erreurs de conception, des incohérences, des oublis, etc., et de procéder à des ajustements et des affinements au niveau des IHM et des outils d'assistance.

L'analyse de la tâche permet de déboucher sur un ensemble de données. Ces données peuvent être, globalement, exploitées de deux manières :

- en impliquant d'une manière empirique ces données « brutes » dans une approche de conception non supportée (ou partiellement supportée) par des outils informatiques,
- en modélisant ces données en vue d'intégrer le(s) modèle(s) obtenu(s) au sein d'approches informatisées [Robert et al., 97] [Sheridan, 97] [Terwilliger et al., 97][Shepherd, 98].

Nous résumons ici trois types de modélisation des tâches, issus des travaux de Abed, de Scapin et de ceux de Paterno, qui nous semble assez proches de notre problématique. De nombreux autres exemples peuvent être trouvés dans l'ouvrage de Diaper et Stanton [Diaper et al., 01].

1.2.1.2.1 Les travaux de Abed

Abed propose une démarche de description de la tâche basée sur une combinaison de la méthode SADT (Structured Analysis and Design Technique) et des réseaux de Pétri. Cette démarche est constituée de quatre étapes [Abed, 01] [Abed et al., 01] :

- Utiliser la méthode SADT pour décomposer hiérarchiquement le comportement du SHM en tâches.
- Identifier les tâches élémentaires au dernier niveau de la décomposition et les répartir entre la machine et l'opérateur humain.
- Analyser les tâches humaines et distinguer entre les tâches interactives, qui définissent des routines d'action, et les tâches non interactives de simple surveillance.
- Décrire le fonctionnement et la dynamique des tâches élémentaires interactives en utilisant les réseaux de Petri Synchronisés (RdPS).

Ce principe de décomposition SADT/Pétri (figure 1.5) permet de décrire d'une manière rigoureuse, aussi bien l'aspect statique que l'aspect dynamique du SHM, et conduit à identifier les besoins informationnels des opérateurs humains qui sont en fait les entrées et les contraintes imposées sous forme de données de contrôle des boîtes actigrammes du modèle SADT.

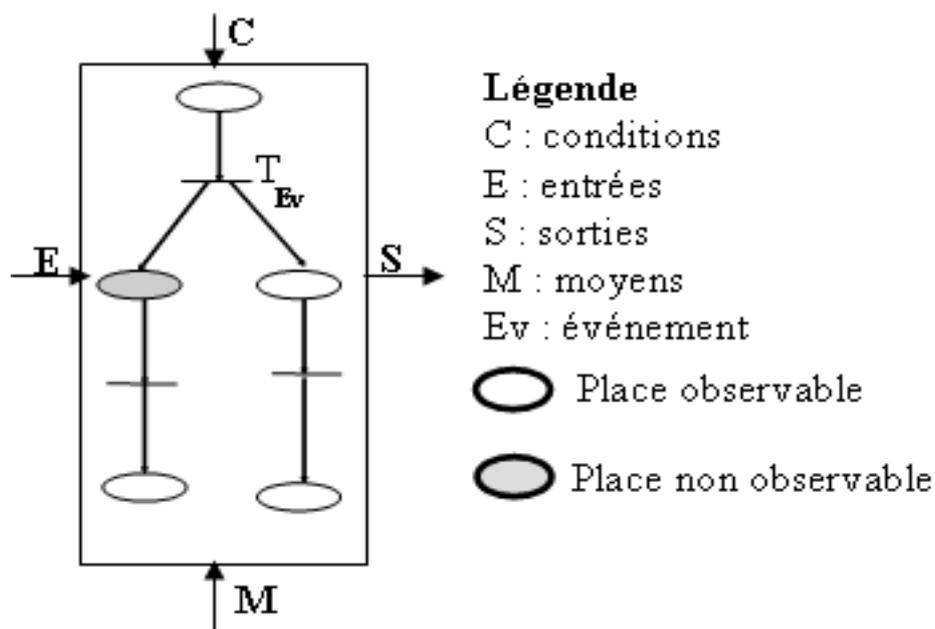


Figure 1.6: Une boîte SADT relative à une tâche humaine interactive dont le fonctionnement est décrit par un RdPS

Mahfoudhi [Mahfoudhi, 97] puis [Tabary, 01] proposeront par la suite une extension des travaux de Abed, en y apportant, principalement, l'informatisation au moyen de la technologie objet de ce modèle. On y reviendra dans le paragraphe 2.4.3.

1.2.1.2.2 Les travaux de Paterno

Paterno propose une démarche et un outil de modélisation des tâches nommé CTT (ConcurTaskTrees) [Paterno, 01] [Mori et al., 02]. L'objectif principal de CTT, est de fournir une notation facile de modélisation des tâches, supportant la conception des applications interactives. Cette notation distingue quatre types de tâches :

- les tâches utilisateur : relatives à des activités cognitives de réflexion, sélection, choix, etc. ;
- les tâches système (ou tâches application) : relatives à des traitements informatiques et la génération de résultats ;
- les tâches interactives : relatives à des actions de l'opérateur et des "feedbacks" du système ;
- les tâches abstraites (ou tâches non élémentaires) : relatives à une composition de tâches de différents types.

CTT propose une structuration hiérarchique des tâches utilisateurs (figure 1.6). Il se base sur la notation UAN (User Action Notation) développée au début des années 80, par Antonio Siochi, H. Rex Hartson et Deborah Hix [Hix et Hartson, 93].

UAN offre sur une notation textuelle modélisant les différentes tâches de l'interaction. Les tâches élémentaires sont décrites par des tables précisant : l'ensemble des actions opérateur, les réponses (feedback) du système et les éventuelles modifications d'états. Sa notation textuelle et l'absence d'un outil de support, ont fait que l'utilisation d'UAN est restée limitée dans la pratique. Cependant, elle a servi de base à la notation graphique CTT pour la modélisation des tâches concurrentes

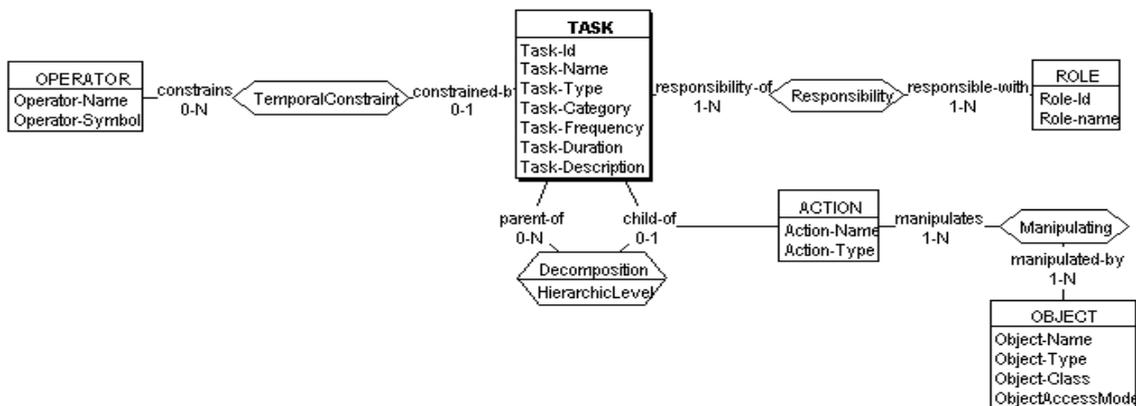


Figure 1.7: MCD d'une modélisation CTT

1.2.1.2.3 Les travaux de Scapin

MAD (Méthode Analytique de Description de Tâches) proposée par Scapin en 1989 est un formalisme de description de tâches. Des objets tâches sont conçus comportant chacun [Scapin, 89] [Scapin et al., 01] (figure 1.7) :

- un état initial (I) : sous-ensemble de l'état du monde de l'application, constitué de la liste des objets et arguments d'entrée de la tâche ;
- un état final (F) : sous-ensemble de l'état du monde de l'application, constitué de la liste des objets et arguments de sortie de la tâche ;
- un but (B) : sous-ensemble de l'état final indiquant explicitement le but recherché dans l'exécution de la tâche ;
- des pré-conditions (C.N) : ensemble de prédicats exprimant les contraintes qui doivent être satisfaites par l'état initial pour le déclenchement de l'exécution de la tâche ;
- des post-conditions (P.C) : ensemble de prédicats exprimant les contraintes qui doivent être satisfaites par l'état final, après l'exécution de la tâche.

MAD distingue deux types d'objets tâches : les tâches élémentaires indécomposables correspondant aux actions et les tâches composées. Pour les tâches composées, plusieurs opérateurs ont été définis au niveau de ce modèle tels que : SEQ pour décrire le séquençement, PAR pour exprimer le parallélisme, ALT pour spécifier l'exécution alternative, BOUCLE pour préciser l'itération etc.

Ce modèle fournit une représentation simple des tâches, compréhensible aussi bien du point de vue de l'ergonome que de celui de l'informaticien. Cependant, il décrit le travail indépendamment de la répartition des tâches entre l'homme et la machine, ce qui peut rendre son utilisation peut adaptée aux applications hautement interactives.

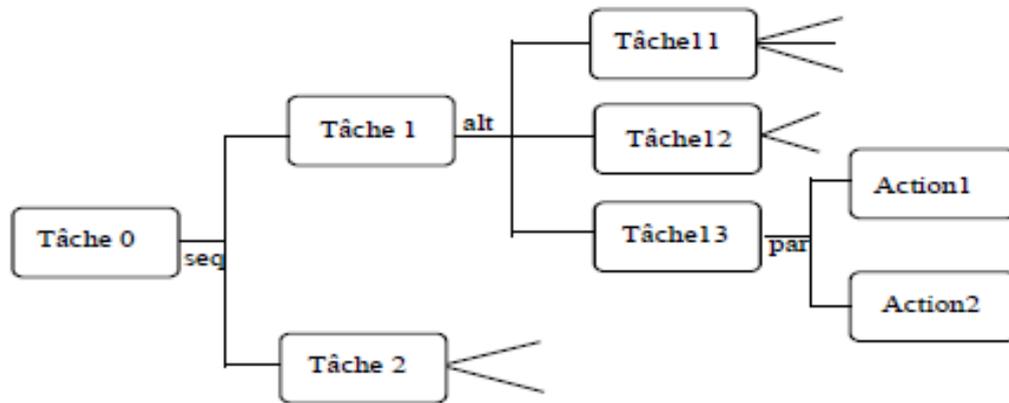


Figure 1.8 : Une arborescence de tâches MAD

Afin d'illustrer les apports de la psychologie cognitive, nous avons proposé deux concepts clés à savoir le concept de modèle de l'opérateur humain et celui d'analyse de la tâche humaine. Il importe, à présent, de parler de l'apport primordial de l'ergonomie cognitive dans la conception des IHM. [Amalberti et al, 98] [Jacko et al., 03]

1.2.2 L'ergonomie cognitive dans la conception des IHM

Avant d'aborder la question d'ergonomie cognitive (Human Factors), revenons d'abord sur l'origine du mot ergonomie. L'ergonomie est un mot qui vient du grec (ergo : travail ; nomie : règles, lois). C'est donc la science des règles de travail. Elle est définie comme étant le rassemblement des connaissances sur le fonctionnement de l'homme en activité afin de les appliquer à la conception des tâches, des machines, des outillages, des bâtiments et des systèmes de production.

Pour ce qui est de la conception des SHM, il s'agit de concevoir les postes de travail, au sens large ; en fonction des caractéristiques physiologiques et psychologiques de l'OH et de son comportement en situation de travail, [Bastien, 96] [Scapin and Bastien, 97][Bastien et Scapin, 01]

L'ergonomie cognitive pour la conception et l'évaluation des IHM, peut être considérée comme une approche légère de conception venant en complément à celle de la psychologie cognitive.

C'est une approche principalement expérimentale qui tente de s'opérationnaliser en se basant sur la transformation de l'expérience acquise dans divers domaines en règles ergonomiques applicables [Vanderdonckt, 99], [Smith, 86], [Nielsen, 93], [Shneiderman, 98], [Grammenos et al., 99]. Ces règles peuvent être groupées en huit classes de critères comme suit [Scapin, 89][Bastien, 96] [Reed et al., 99] :

1- Le guidage : c'est l'ensemble des moyens permettant de conseiller, orienter, informer et conduire l'utilisateur lors de ses interactions avec l'ordinateur (messages, alarmes, labels, etc.).

2- La charge de travail : c'est l'ensemble des éléments de l'interface qui ont pour rôle de réduire la charge perceptive ou mnésique des utilisateurs et d'augmenter l'efficacité du dialogue.

3- Le contrôle explicite : c'est la prise en compte par le système des actions explicites des utilisateurs tout en leur laissant le contrôle sur le traitement de leurs actions. Il intègre donc l'anticipation des actions utilisateur et l'offre des options appropriées.

4- L'adaptabilité : c'est la flexibilité du système et sa capacité à réagir selon le contexte, les besoins, les préférences et le niveau d'expérience des utilisateurs.

5- La gestion des erreurs : c'est l'ensemble des moyens permettant d'une part d'éviter ou de réduire les erreurs, et d'autre part de les corriger lorsqu'elles surviennent en intégrant des messages d'erreur brefs avec des termes aussi spécifiques que possible.

6- L'homogénéité et la cohérence : c'est la façon avec laquelle les choix de conception de l'interface sont conservés pour des contextes identiques, et sont différents pour des contextes différents (présenter toujours la même information au même endroit, utiliser toujours le même format de champs d'entrée de données,...).

7- La signifiante des codes et les dénominations : c'est l'adéquation entre l'objet ou l'information affichée ou l'entrée et son référent pour faciliter le rappel et la reconnaissance.

8- La compatibilité : c'est l'accord pouvant exister entre les caractéristiques des utilisateurs (mémoire, perceptions, habitudes, compétences, attentes, âge, etc.) et des tâches, d'une part, et l'organisation des sorties, des entrées et du dialogue d'une application donnée, d'autre part. Ça concerne également le degré de similitude entre divers environnements ou applications.

Dans la pratique, l'exploitation des connaissances ergonomiques se fait selon trois approches principales : le recours à un expert humain, l'utilisation de guides ergonomiques et enfin le recours à des systèmes informatisés.

Ces systèmes informatisés mettent en œuvre des recommandations ergonomiques formalisées provenant d'experts humains et/ou de guides de style. L'objectif étant d'automatiser leurs applications dans le processus de conception des IHM. Cette approche consiste à faire appel à des techniques de l'intelligence artificielle pour mettre en place des systèmes à base de connaissances (SBC), prenant la forme de « Tools For Working With Guidelines » (TFWWG) [Vanderdonckt, 00][Iwc, 99][Iwc,00]. Nous pouvons citer à ce sujet, comme exemple, le système SYNOP [Kolski et al., 91][Kolski et al., 96], ou encore le système à base de connaissances ERGO-CONCEPTOR [Moussa, 92][Moussa, 00]. Nous reviendrons, sur ce point, plus en détails au niveau du chapitre 5.

Ayant présenté, jusqu'ici, les concepts primordiaux de l'interaction homme-machine à savoir : la modélisation de l'OH, la modélisation de la tâche humaine et la prise en considération des connaissances ergonomiques, il s'avère nécessaire d'introduire à ce niveau, des exemples représentatifs d'approches et de modèles spécifiques pour la conception des IHM. Mais avant cela, nous commençons par donner un bref aperçu de certains modèles du génie logiciel enrichis sous l'angle de l'IHM.

1.2.3 Les cycles de vie Génie Logiciel « enrichis » dans la conception des IHM

L'approche traditionnelle de génie logiciel distingue généralement six phases dans la vie d'un logiciel : la phase d'étude préalable, la phase de spécification, la phase de conception, la phase d'implémentation, la phase de test et la phase de maintenance. On retrouve ces phases dans les divers cycles de vie classiques proposés en génie logiciel tels que le modèle en cascade [Boehm, 88], le modèle en V [McDermid et al., 84], le modèle en spirale [Boehm, 88] ou encore le modèle par incréments.

L'ensemble de ces modèles classiques de génie logiciel, offre un cadre général très utile pour les concepteurs. Cependant, les IHM n'y sont pas citées même si la démarche les sous-entend. L'analyse et la modélisation des utilisateurs et des tâches humaines ne sont pas préconisées et sont laissées à l'appréciation des concepteurs. Afin de remédier à ces lacunes, d'autres modèles enrichis pour les IHM ont été mis au point pour le développement des applications hautement interactives.

L'idée d'enrichissement des cycles de vie pour les IHM, repose sur l'intégration, d'un point de vue méthodologique, des aspects fondamentaux de l'interaction homme-machine comme la modélisation des tâches humaines, la réalisation itérative des prototypes ou l'évaluation des systèmes interactifs. Nous avons choisi de présenter ici trois de ces modèles : le modèle de Long, le modèle en étoile, et le modèle □ (Nabla). D'autres modèles enrichis sont décrits dans [Kolski et al., 01].

1.2.3.1 Modèle de Long

Ce modèle [Long et al., 90] est proche du modèle en cascade du génie logiciel classique (figure 1.8). L'IHM est positionnée dans l'étape de conception tout en insistant sur l'importance de l'évaluation et des itérations lors du projet.

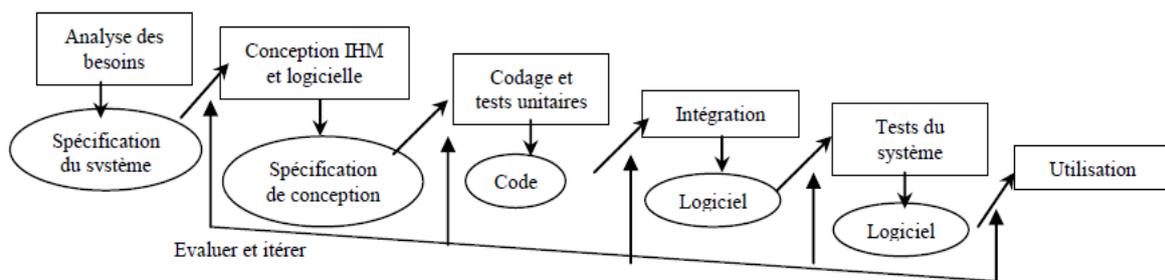


Figure 1.9 : Modèle proposé par Long et al.

Ce modèle, proche d'un modèle classique, est loin d'être parfait. Il a toutefois le mérite d'être incitateur sous l'angle des interactions homme-machine.

1.2.3.2 Modèle en étoile

Le modèle proposé par Hartson, [Hartson et al., 89], appelé modèle en étoile (figure 1.9) situe l'évaluation au centre même du cycle complet. Il préconise des interactions/itérations entre l'évaluation et chacune des autres étapes. L'étape d'évaluation est vue comme une étape intermédiaire permettant de protéger l'équipe de développement d'un rejet terminal.

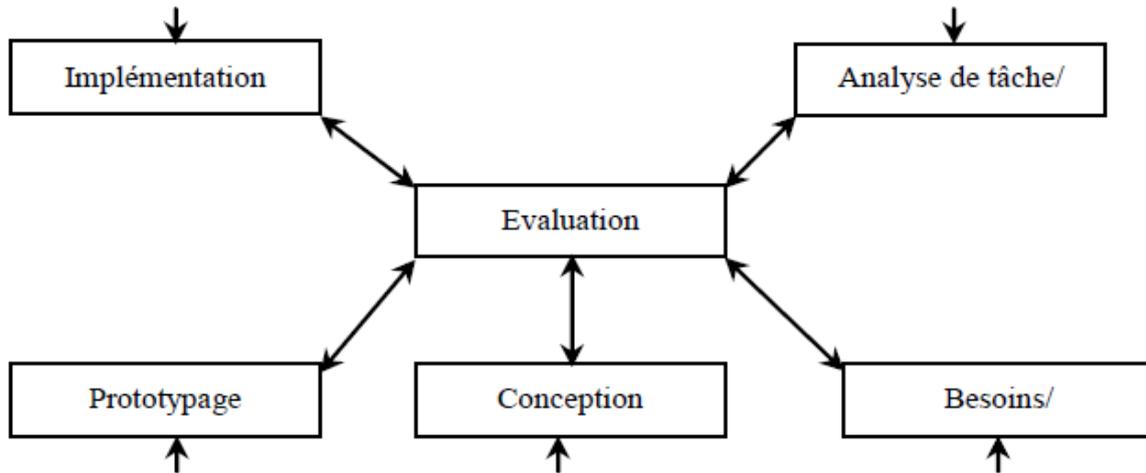


Figure 1.10 : Modèle en étoile

Le modèle en étoile n'impose pas d'ordre a priori dans l'accomplissement des étapes du processus, bien qu'en pratique, les activités de développement soient reportées en fin de cycle. Il sous-entend une conception participative visant la détection précoce de problèmes d'utilisabilité, requérant une forte adhésion de l'utilisateur par cette implication centrale.

1.2.3.3 Modèle Δ (Nabla)

Le modèle Δ [Kolski, 97] (figure 1.10) a pour objectif de situer les différentes étapes du génie logiciel nécessaires pour développer un système interactif, tout en différenciant l'interface proprement dite (partie gauche du modèle) des modules applicatifs ou d'aide éventuellement accessibles à partir de ceux-ci (partie droite). Une des caractéristiques marquantes du modèle est de positionner des étapes, inexistantes dans les modèles classiques du génie logiciel, où les facteurs humains doivent être considérés par l'équipe de développement.

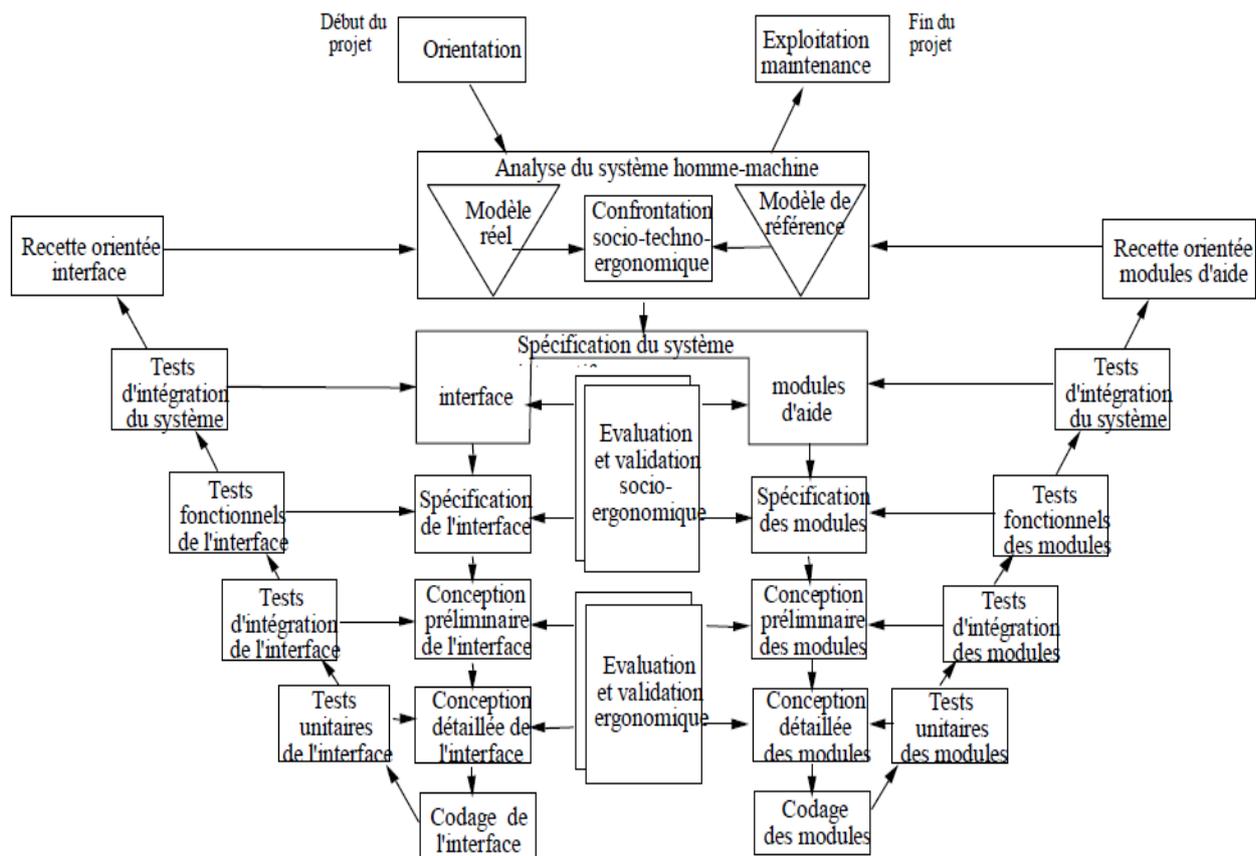


Figure 1.11 : Modèle Δ (Nabla)

Comme nous l'avons vu jusqu'ici, la tâche de conception des IHM constitue un processus assez complexe, plus ou moins facilitée par les cycles de vie proposés, qu'ils soient classiques ou enrichis. Nous relevons dans la littérature plusieurs autres démarches, considérées comme spécifiques pour la conception des IHM, pouvant être suivies comme cycle de vie. Nous en proposons ci-dessous un recueil non exhaustif.

1.2.4 Approches et modèles spécifiques de la conception des IHM

L'objectif n'étant pas de lister d'une manière exhaustive et complète toutes les approches et méthodes disponibles dans la littérature, nous proposons, ci-dessous, un recueil de certaines approches et modèles spécifiques au domaine de la conception des IHM. Ceux-ci nous paraissent les plus proches de notre problématique et offrent, donc, un cadre de réflexion et de comparaison fort intéressant. Un tableau récapitulatif sera proposé à la fin de cette section.

1.2.4.1 Travaux de Palanque et Bastide : le modèle ICO

Palanque et Bastide [Palanque, 97] [Palanque et al., 97] proposent de modéliser les interfaces des applications interactives en utilisant le formalisme ICO (Interactive Cooperative Objects). Ce formalisme est basé sur une combinaison de techniques à objets et des réseaux de Petri à objet. Il permet une spécification semi-formelle de l'interface et de son comportement. Cette spécification facilite l'analyse fonctionnelle de l'interface pour procéder à sa validation avant son implémentation.

L'approche proposée hérite des avantages des approches objets tels que la réutilisabilité et la modularité. Cependant, la validation de modèles basés sur les réseaux de Petri à objets n'est pas évidente. En effet, afin de pouvoir valider un tel modèle, il est absolument nécessaire de préciser les règles et les conditions permettant la transition d'un réseau de Petri à objets vers un réseau de Petri ordinaire sur lequel la vérification des propriétés pourra être menée. Ce qui n'apparaît pas clairement dans cette approche [Palanque, 97]. De plus, la méthode n'explique pas le principe d'identification des objets de l'interface. Elle laisse cette tâche au bon sens du concepteur de l'interface et ne lui fournit, à notre connaissance, aucun guide pratique.

1.2.4.2 Travaux de De Rosis : le formalisme XDM

Le formalisme nommé XDM (pour conteXt sensitive Dialogue Modelling) a été proposé par De Rosis et Pizzutilo [De Rosis et al., 98] pour la description formelle et l'évaluation des IHM. Le formalisme est basé sur une extension des Réseaux de Petri. Le formalisme proposé permet : (1) la description des différents aspects statiques et dynamiques de l'interaction dans les différents contextes de fonctionnement du système, (2) et une évaluation pré-empirique de l'interface.

Le formalisme XDM proposé permet la modélisation du dialogue homme-machine en précisant les propriétés statiques et dynamiques de l'interface et la simulation de son comportement dans les différents contextes de fonctionnement possibles. Il permet, la vérification de quelques propriétés de l'interface telle que la complétude, l'absence d'ambiguïté, la consistance et la complexité de l'interface. Afin d'évaluer ce dernier critère, les auteurs proposent d'intégrer au formalisme la théorie des opérateurs KLM (Keystrokes-Level-Model) proposée par Card [Card et al., 83]. Le modèle KLM est un modèle donnant la prédiction de la durée d'une tâche à exécuter selon un scénario donné. Cependant, la manière d'identifier les besoins informationnels des opérateurs et la répartition de ceux-ci au niveau

des places du réseau n'apparaît pas clairement dans l'approche. Le choix des objets graphiques pour la constitution de l'interface est laissé au concepteur sans fournir aucun guide particulier. En outre, la modélisation du comportement intrinsèque des objets graphiques de l'interface n'est pas prise en considération. On se demande, donc, si la validation, à un haut niveau d'abstraction, de l'interface sans prise en compte du comportement des objets graphiques peut être considérée comme irréfutable.

1.2.4.3 Travaux de Mahfoudhi et Tabary : la méthode TOOD

La méthode TOOD (pour Task Object Oriented Description) propose une approche de conception des IHM basée sur une décomposition hiérarchique du SHM en tâches modélisées par réseaux de Petri à Objets (RdPO) [Mahfoudhi, 97] [Tabary et al., 98] [Tabary, 01] [Abed, 01].

TOOD est fondée sur la représentation que l'utilisateur a de la tâche en dehors des considérations de traitement informatique [Tabary, 00]. Elle utilise l'approche objet et les réseaux de Petri objets pour décrire, d'une part les aspects fonctionnels et la dynamique des tâches utilisateur, et d'autre part les aspects comportementaux de l'IHM et de l'utilisateur pour spécifier comment s'effectuent les tâches. Son formalisme vise à couvrir la totalité du cycle de développement de l'analyse de l'existant jusqu'à la conception détaillée et l'implémentation (figure 1.11).

TOOD profite des avantages de l'approche orientée objet pour définir des objets tâches exploitant la notion d'événement. Ils utilisent pour cela un format extension de SADT pour représenter l'objet tâche intégrant une structure de contrôle de la tâche appelée TCS (Task Control Structure) modélisée par les Réseaux de Petri à Objets.

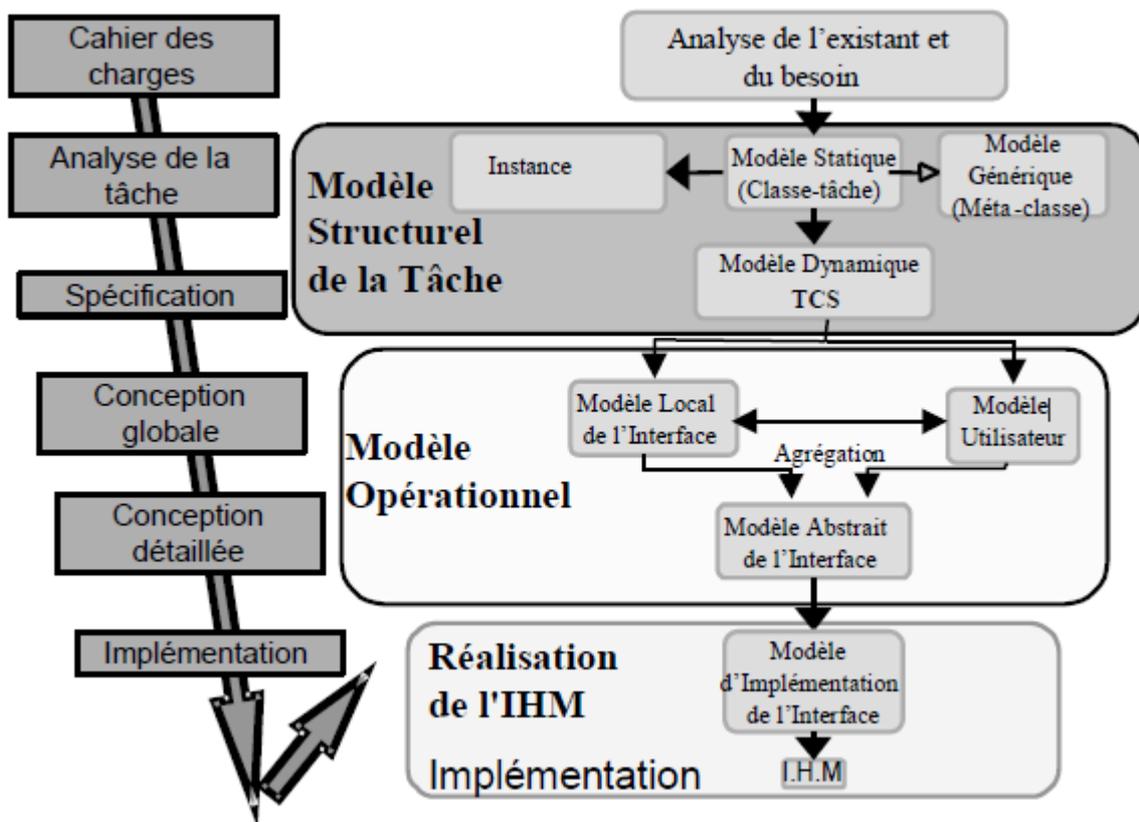


Figure 1.12 : Cycle de développement de TOOD.

Dans cette approche, certains problèmes pour la génération de l'interface restent encore non résolus : la méthode ne montre pas clairement comment procéder pour spécifier les vues graphiques ni comment elles sont générées. En outre, TOOD ne considère pas l'aspect des dysfonctionnements dans la partie analyse des SHM ce qui rend l'analyse de la tâche dissociée des différents contextes de fonctionnement du système. De même, similairement à ICO, la vérification des propriétés des réseaux de Petri à objets mérite de plus amples approfondissements.

1.2.4.4 Travaux de Ait Ameer : la méthode B

Ait-Ameer, [Ait-Ameer et al., 98] vise à exploiter la méthode B pour la spécification des systèmes interactifs. La méthode B est basée sur une description formelle du modèle tout comme les méthodes Z [Spivey, 89] et VDM [Bjorner,87]. Ces méthodes consistent en effet à définir un modèle du système utilisant des attributs de variables caractérisant le système, des invariants que le système devrait satisfaire et les différentes opérations altérant ces variables. La méthode permet de supporter des spécifications à travers des machines abstraites aussi bien que les raffinements et l'implémentation. Avec cette méthode, il est possible d'assurer

tout le développement dans un langage commun avec la même sémantique et les mêmes preuves techniques. Elle fournit ainsi une approche uniforme pour la description des programmes de développements.

Cette approche consiste, donc, à fournir une méthode « indépendante du modèle » qui pourra par la suite être adaptée (ou personnalisée) aux modèles spécifiques d'IHM. Le point fort de la méthode B est sa capacité de raffinement. En effet, la possibilité qu'offre cette méthode pour dériver des programmes concrets à partir des spécifications abstraites est très importante.

Cependant, cette méthode n'explique pas la manière à suivre pour constituer les besoins informationnels de l'opérateur (BIO) ni comment décider des objets de l'interface. La génération effective de l'interface nécessite aussi plus de développement. Notons aussi que la principale critique apportée aux techniques telles que la méthode B, Lustre ou Lotos concerne la difficulté qu'on rencontre dans la lecture et la manipulation de leurs notations.

1.2.4.5 Travaux de Rodriguez : le projet ALACIE

F.Gamboa-Rodriguez propose dans ses travaux de recherche un Atelier Logiciel d'Aide à la Conception d'Interfaces Ergonomiques (ALACIE) s'appuyant sur une méthodologie de conception cyclique fondée sur la modélisation de la tâche et le principe de prototypage des interfaces [Gamboa-Rodriguez, 98]. Le projet ALACIE se base sur deux modèles complémentaires :

- Un modèle MAD* (une extension du modèle MAD de Scapin [Gamboa-Rodriguez et al., 97], intégrant la notion de temps et la gestion des interruptions pour la modélisation de la tâche utilisateur ainsi que sa simulation,
- Un modèle SSI (Spécification Sémantique de l'Interface) permettant la spécification sémantique abstraite de l'interface et ce, en traduisant les éléments des tâches principales en éléments sémantiques de l'interface et en assignant une représentation physique à chacun de ces éléments.

F.Gamboa-Rodriguez a cherché principalement dans ses travaux à apporter des solutions à la problématique de l'intégration de l'analyse de la tâche dans les cycles de conception des interfaces. L'apport des ergonomes dans l'approche ALACIE représente une ouverture

intéressante, quoique empirique, à la fluidité du passage de l'Analyse de la Tâche à la spécification des IHM. Néanmoins l'étape délicate de l'extraction des caractéristiques importantes et des BIO à partir des résultats de l'analyse de la tâche reste non formalisée.

1.2.4.6 Travaux de Bodart : le projet TRIDENT

TRIDENT (Tools foR Interface Développement Environnement), [Bodart et al., 95] apporte une méthodologie de développement des systèmes interactifs et fournit un environnement de génération automatique des interfaces. Il a été défini dans le cadre de la conception d'une méthodologie de développement d'applications interactives de gestion. Le but est de fournir une structure générale couvrant différents styles d'interaction (menus de sélection, langage de commande, manipulation directe, etc.) et différentes structures de dialogue (synchrone/asynchrone, etc.). Cette structure générale sera, ensuite, spécialisée en structures affinées selon les classes de problèmes rencontrés (figure 1.12).

Dans TRIDENT, la spécification de l'interface utilisateur se base sur l'analyse de la tâche, à partir de laquelle on identifie les besoins informationnels et fonctionnels ainsi que le graphe d'enchaînement des activités pour pouvoir définir par la suite les objets de l'interface. Cependant, cette approche ne fournit pas de méthode permettant l'identification des BIO à partir de l'analyse de la tâche, ni le processus permettant l'identification des objets de l'interface à partir de ces BIO. Ce passage délicat de l'analyse de la tâche à la spécification de la présentation reste flou, aucune indication ou règle n'est donnée à ce sujet.

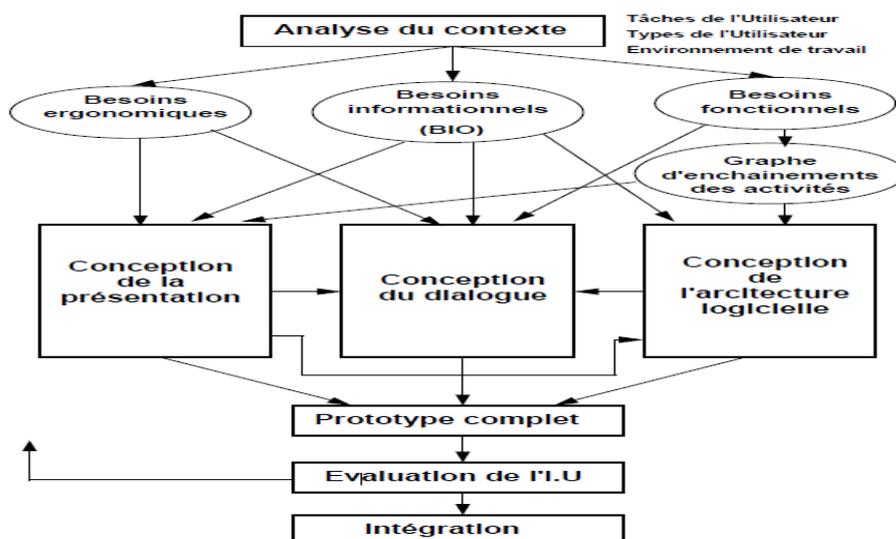


Figure 1.13 : Structure Méthodologique de TRIDENT

1.2.4.7 Travaux de Moussa : le système Ergo-Conceptor

Concernant le domaine particulier des applications industrielles, le système Ergo-conceptor présente une approche ergonomique de conception des IHM [Moussa, 92]. La démarche suivie par Ergo-Conceptor a pour objectif de fournir des spécifications utiles à la génération semi-automatique des vues graphiques. Ces spécifications sont déduites à partir : (voir figure 1.13):

- des données techniques du système complexe dont on veut construire les interfaces de supervision et de ses objectifs,
- ainsi que des résultats issus de l'analyse de la tâche et des facteurs ergonomiques, utiles à la génération des vues.

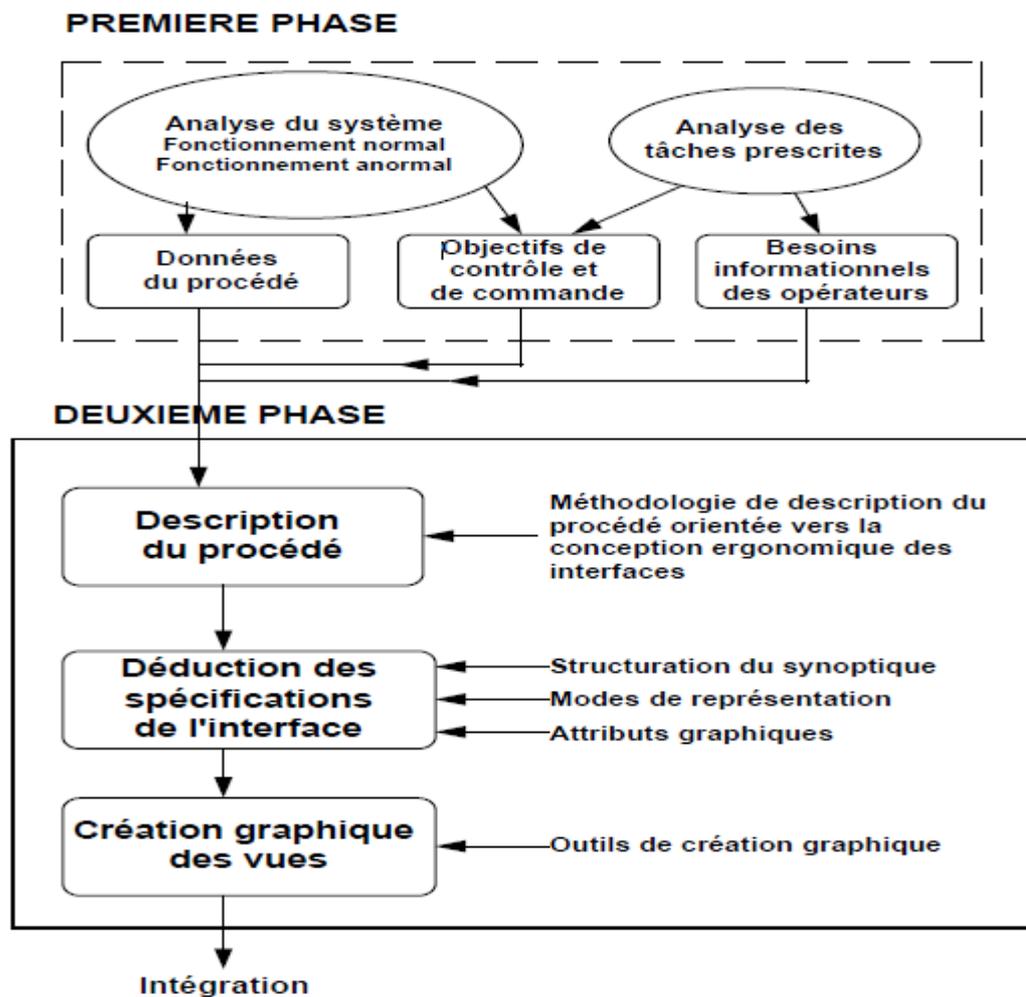


Figure 1.14 : Démarche d'Ergo-Conceptor

Bien que représentant une alternative assez originale dans le domaine de la conception des interfaces, ce système a aussi démontré certaines limites pour ce qui est de sa première version. (ayant fait l'objet de ma thèse). En effet, Ergo-Conceptor ne génère que des vues statiques, en ce sens que ces vues ne gèrent pas le dialogue homme-machine mais plutôt l'impact des variables de contrôle et de commande du système par rapport à l'interface. En outre, la méthodologie utilisée pour la description du procédé ne permet pas de gérer certains aspects fonctionnels importants tels que le parallélisme ou encore la synchronisation et ne permet pas non plus de valider mathématiquement le modèle de l'interface décrit vu son aspect assez informel. De tels constats ont été pris en considération dans le cadre de nos recherches pour étendre la démarche suivie par Ergo-Conceptor.

Chapitre 2

Les indicateurs de

Santé

INTRODUCTION

Aborder un problème de santé se fait sous un angle différent selon que l'investigateur de l'étude est un patient, un professionnel de soins, un responsable financier, un décideur politique etc. L'interprétation des chiffres fournis se fera donc toujours prudemment.

La mesure de l'état de santé d'une population implique plusieurs notions :

- La connaissance de la population ;
- La connaissance des outils.

Son appréciation permet :

- D'identifier les problèmes de santé de la population (apparition d'une épidémie, accroissement de la fréquence d'une pathologie...);
- D'orienter la recherche étiologique ;
- De préciser les priorités (en fonction de la fréquence, de la gravité, de l'impact social.) ;
- D'évaluer les résultats des actions et des interventions réalisées (campagne de vaccination ; mise en service d'un hôpital...).

2.1 Les indicateurs de performance : éléments de définition

2.1.1 Le concept d'indicateur

La racine étymologique du mot indicateur est issue du latin « indico » qui signifie indiquer, dénoncer, révéler une chose ou quelqu'un. Dans un contexte contemporain, le terme indicateur peut être utilisé de façons différentes, ce qui signifie que plusieurs définitions existent. Selon le Robert (2011), il existe cinq significations différentes :

- «– Personne qui se met à la solde de la police pour la renseigner ;
- Livre servant de guide ou d'horaire ;
- Instrument fournissant une indication sur une mesure ;
- Corps qui change de couleur après une réaction chimique ;

– Variable (économique) dont certaines valeurs sont significatives d'un état ou d'un phénomène. »

Dans le domaine des sciences et des techniques, les indicateurs sont des instruments qui servent à fournir diverses indications physiques : indicateur de vitesse, indicateur de niveau, indicateur de pression, etc. (Le Robert, 2011). Dans le domaine de l'électronique, une analogie peut être faite entre indicateur et capteur. Sur les systèmes linéaires bouclés (exemple : une chaudière avec un système d'asservissement pour l'obtention d'une température précise), le capteur a pour but de mesurer le ou les résultats obtenus en fin de processus ou de fonction. Cette mesure permet d'évaluer les écarts par rapport à la consigne et ainsi d'obtenir le niveau d'erreur du système. Les organes de traitement de l'information du système ont pour but de minimiser cette erreur en effectuant toutes les corrections nécessaires. Ils agissent sur les actionneurs afin de minimiser cette ou ces erreurs et ainsi tendent vers l'objectif défini par la consigne.

En économie, les indicateurs sont des statistiques construites afin de mesurer certaines dimensions de l'activité économique et leurs évolutions (Larousse, 2012). Ils peuvent regrouper plusieurs catégories d'indicateurs : indicateurs de production, indicateurs financiers, indicateurs de population, etc.

De manière très générale, l'indicateur peut être défini comme un élément, une information qui fournit des indications, des renseignements sur la valeur d'une grandeur mesurée (Larousse, 2012). L'information quant à elle, est une donnée ou un ensemble de données articulées de façon à construire un message qui fasse sens (Pesqueux, 2005). Elle implique un émetteur et un récepteur mais aussi un moyen de communication ou de diffusion : le média. Ce moyen de communication dont la nature est loin d'être neutre permet à une information de porter un sens particulier.

Plus globalement, dans les systèmes de gestion opérant dans des environnements sociaux-techniques complexes, les informations fournies par les indicateurs mesurent les écarts entre les résultats obtenus et les objectifs visés en termes de management. Ils facilitent ainsi la compréhension des situations observées et la prise de décision pour la mise en place ou non d'actions appropriées dans le cas de situations déviantes aux situations attendues. L'indicateur permet donc une représentation de l'état d'un système en son tout ou bien en partie et contribue à l'appréciation d'une situation par le ou les décideurs.

Un indicateur n'est jamais muet. Il est construit à la manière d'un schéma stimulus/réponse, traduisant une prise de décision de la part du décideur. Dans le cas de situations sous contrôle ou jugées « normales », la décision peut être de ne rien faire. Il s'agit là d'une démarche active et non passive, l'indicateur portant une signification à l'action zéro (Fernandez, 2007).

Toujours selon A. Fernandez, un indicateur peut être une information pouvant être étudiée selon deux facettes en se rapprochant de la notion linguistique du "signifiant" et du "signifié". Le signifiant concerne le signe en lui-même de l'indicateur, sa représentation (voir 1.2.3). Le signifié correspond au contenu sémantique, au concept ou bien encore à la représentation mentale de l'information délivrée. Par exemple, un indicateur sur le nombre de formations obligatoires en sécurité suivi par les salariés au sein d'une organisation peut être construit à partir de différents supports matériels (signifiants) exprimant le sens de l'information (le signifié). Les supports de communication peuvent être sous forme numérique (valeur absolue ou relative) ou bien graphique (histogrammes, courbes, etc.) ou encore selon différents codes couleurs. Le moyen d'expression ou de représentation correspond donc au signifiant de l'information véhiculée.

Les indicateurs permettent donc de mieux apprécier l'atteinte des objectifs d'un système. L'atteinte ou non des objectifs définis conduit à s'intéresser aux concepts de performance et d'indicateurs de performance.

2.1.2 Le concept de performance

Il existe plusieurs définitions de ce qu'est la performance. Une première définition de Lorino (1995) assimile la performance d'une entreprise au couple valeur / coût ; la valeur correspondant au montant de revenu que les clients sont prêts à sacrifier pour bénéficier d'un bien et les coûts aux ressources « détruites » pour assurer la production d'un bien. Cette première définition est similaire au concept d'efficience. L'efficience est un néologisme issu de l'anglicisme du terme « efficiency », et peut être définie comme l'évaluation de la qualité d'un rendement permettant de réaliser un objectif avec l'optimisation des moyens engagés. Lorino propose une seconde définition plus générale sur ce qui peut être caractérisé de performant : « tout ce qui, et seulement ce qui, contribue à atteindre les objectifs définis ». L'évaluation de la performance, quant à elle, peut incorporer une certaine part de subjectivité étant donné qu'elle est relative aux objectifs définis et qu'elle ne représente qu'une certaine

part de la réalité observée. Cette évaluation de performance se concrétise par la construction d'indicateurs de performance.

2.1.3 Le concept d'indicateur de performance

Selon le degré d'importance accordé à un indicateur ou un groupe d'indicateurs dans le système de gestion, ces derniers pourront être qualifiés d'indicateurs de performance « clés » (Key Performance Indicator). Ce sont les indicateurs prépondérants dans le système de suivi et de contrôle de la performance et qui nécessitent le plus d'attention de la part des gestionnaires.

A partir de cela, l'indicateur de performance peut être défini comme une information devant aider un « décideur », individuel ou plus généralement collectif, à conduire le cours d'une action vers l'atteinte d'un objectif ou devant lui permettre d'en évaluer le résultat.

Selon Lorino (2001), la pertinence et la qualité des indicateurs de performance s'évaluent selon trois dimensions : Premièrement, la pertinence stratégique de l'indicateur : l'indicateur doit être associé à un objectif stratégique à atteindre. Il informe du bon déroulement ou non d'une action qui participe à l'atteinte des objectifs. Un indicateur inadapté à l'objectif visé peut être contre-productif et peut engendrer des dérives. Par exemple, si l'objectif est de réaliser des réunions « sécurité » et que l'indicateur mesure le nombre de réunions « sécurité », une dérive possible serait d'organiser des réunions dépourvues de tout contenu afin d'améliorer la « mesure » et de tendre vers l'objectif défini. Deuxièmement, la qualité d'un indicateur repose sur sa capacité cognitive. L'indicateur doit permettre de « faire signe », de facilement orienter l'acteur, ou plus généralement le groupe d'acteurs, à agir et comprendre les facteurs de réussite ou d'échec. A sa lecture, le ou les décideurs doivent être en capacité de pouvoir et inciter à agir. Par exemple, un indicateur sur le pourcentage de conformité des équipements de protection individuel permet, dans le cas où ce dernier est très bas, de mettre en œuvre des plans d'actions. Enfin, le dernier critère d'évaluation de la qualité d'un indicateur est sa pertinence opérationnelle. Cela consiste à vérifier que les mesures effectuées soient les résultats d'un type d'action précis et identifié, que les données utilisées soient dignes de confiance. La pertinence opérationnelle d'un indicateur concerne donc la validité des résultats. La relation entre indicateur et action se doit d'être unidirectionnelle : de l'action vers

l'indicateur. L'indicateur est déduit à partir du choix de l'action (l'indicateur n'a d'utilité que pour piloter l'action et son résultat) et non l'inverse.

Les indicateurs de performance interagissent donc avec trois composantes : les objectifs induits par la stratégie, les acteurs qui sont les destinataires des informations, et les actions mises en place par les acteurs pour l'atteinte des objectifs (Figure 1).

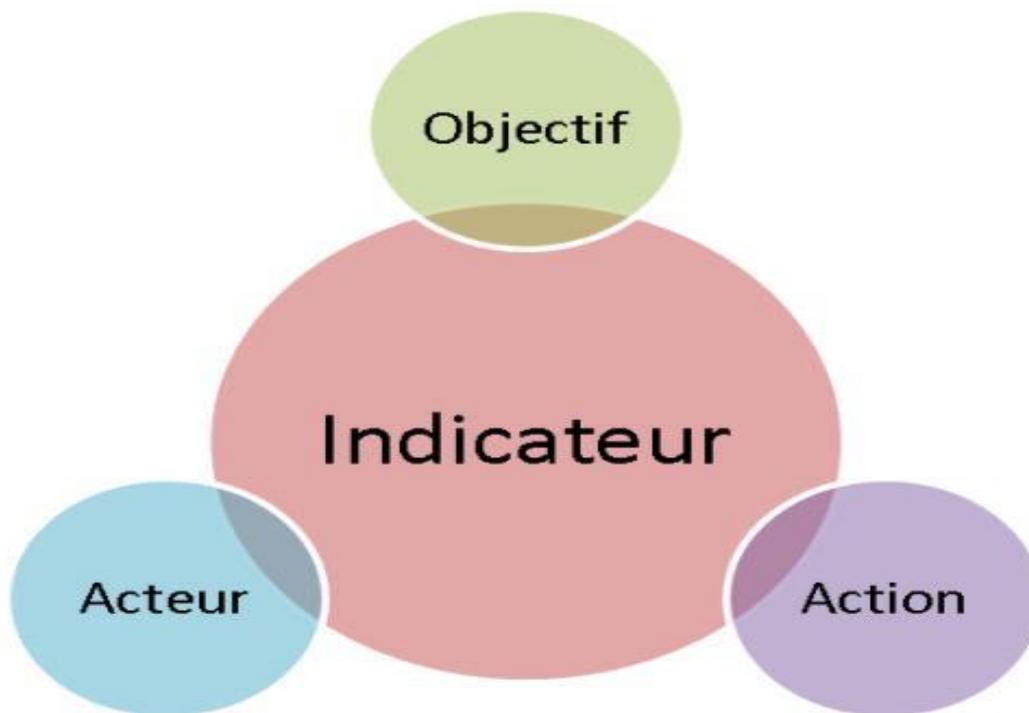


Figure 2.1 : Le « triangle » de l'indicateur : stratégie traduite en objectif, processus d'action et acteur collectif (Lorino, 2001)

Fernandez (2005) complète cette liste de caractéristiques avec trois autres critères :

- Un indicateur de performance doit être facile à construire, aucune difficulté majeure ne doit handicaper sa réalisation.
- La construction d'un indicateur de performance doit être réalisée à un coût acceptable. Le coût de réalisation et de construction doit toujours être comparé à la valeur décisionnelle du message porté.

- Les informations délivrées doivent être actualisées selon un cycle qui est propre et adapté à chaque indicateur de performance pour permettre une prise de décision réellement efficace.

Les systèmes de gestion ont tous un temps de latence entre la mise en place d'actions et les résultats obtenus. Ainsi, dans le cadre d'un SMS (Système de Management de la Santé-Sécurité au Travail), les actions permettant un meilleur aménagement des postes de travail n'auront des impacts positifs sur le niveau de performance des indicateurs liés aux TMS (Troubles Musculo Squelettique) des salariés qu'à moyen ou long terme. Dans cet exemple, la chaîne entre la cause (actions d'aménagement des postes de travail) et les effets (réduction du nombre et de la gravité des TMS) est une relation causale avec un délai important. Pour cette raison, les mises à jour des informations doivent elles aussi se réaliser avec des coûts inférieurs à la valeur créée par l'actualisation des données. Par exemple, dans le cadre de la gestion des formations obligatoires et périodiques à la sécurité, si les plans d'actions ont été bâtis pour le semestre à venir, il n'est pas pertinent et utile de mesurer mensuellement le niveau de formation des salariés.

2.2 l'intérêt des indicateur de santé

Les indicateurs de santé sont utiles pour :

1. Connaître l'état de santé de la population à une date donnée ;
2. Appréhender de façon la plus exacte possible l'offre des soins hospitaliers ;
3. Apprécier l'évolution de la consommation médicale ;
4. Prévenir la maladie ;
5. Promouvoir la santé ;
6. Planifier la santé.
7. Estimer l'importance d'un phénomène de santé
8. Estimer l'impact d'un problème de santé

.2.3 Les différents types d'indicateurs de santé

Les indicateurs peuvent selon l'ANAES être de plusieurs types :

Indicateurs d'activité, en fonction des objectifs poursuivis, tel le nombre de séjours ;

Indicateurs de structure : ils représentent les ressources humaines et matérielles permettant de soigner les patients (nombre de médecins, d'appareils d'IRM...);

Indicateurs de processus, renvoyant aux différentes étapes de prise en charge d'un patient (délai d'attente pour obtenir un rendez-vous en consultation...);

Indicateurs de résultat. On distingue les résultats intermédiaires, donnant une mesure de la qualité de l'activité à des étapes intermédiaires du processus de prise en charge (par exemple le taux d'infection nosocomiales du bloc opératoire) des résultats finaux en terme de santé. Ces derniers sont le plus souvent négatifs, tels les indicateurs de morbidité ou de mortalité, car l'amélioration de l'état de santé est bien plus difficile à mesurer que son contraire

Les indicateurs sentinelles permettent d'anticiper sur un phénomène.

2.4 Les principales caractéristiques d'un indicateur sont :

- La pertinence : il porte sur des enjeux cohérents avec les objectifs poursuivis
- L'appropriation. Il doit être reconnu par les professionnels de santé, comme fournissant une description conforme de la réalité. La conséquence est qu'il doit résulter d'une concertation ;
- La fidélité. L'indicateur retrace bien le sens et l'importance du phénomène qu'il décrit ;
- L'économie. Le coût pour l'établir doit être raisonnable et en rapport avec son utilité ;
- La fiabilité. L'indicateur ne peut être manipulé et sa fabrication est le produit de procédures documentées et contrôlées ;
- La ponctualité. L'indicateur doit être disponible en temps voulu (et en général rapidement) ;
- La lisibilité. L'indicateur doit être compréhensible par un non spécialiste ;

- La finalisation. Pour chaque indicateur, une valeur-cible doit être présente, qui permet de mesurer l'écart entre les réalisations et les objectifs attendus ;
- La comparabilité et la pérennité. L'indicateur doit permettre les comparaisons dans le temps et dans l'espace ;
- La contrôlabilité. L'indicateur évalue un domaine sur lequel l'utilisateur du tableau de bord a une réelle possibilité d'action ;
- Le caractère anticipateur. L'indicateur anticipe sur les résultats positifs et négatifs et permet d'agir en conséquence.

Bien entendu, aucun indicateur n'arrive à réunir toutes ses qualités en même temps et il est important de faire des choix.

Enfin, de façon idéale, un tableau de bord s'accompagne d'une notice méthodologique, donnant pour chaque indicateur la formule de calcul, la source d'information et la périodicité.

2.5 La construction d'indicateurs

Pour favoriser la prise de décision, les indicateurs doivent délivrer des informations pertinentes. Les données de l'entreprise sont traitées et valorisées pour être mises en forme (**figure2.2**) Généralement, ces étapes se réalisent en concertation avec l'ensemble des bénéficiaires de l'indicateur.

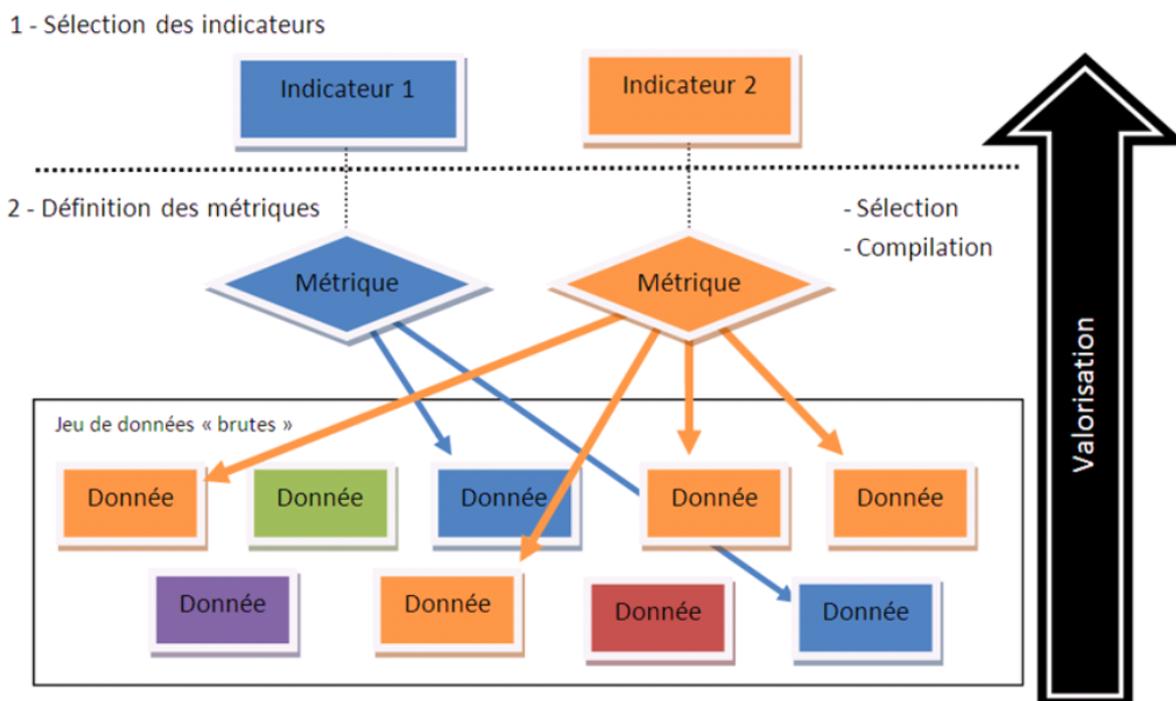


Figure 2.2 : Processus de création d'indicateurs

Les données pertinentes sont préalablement identifiées et sélectionnées parmi le jeu de données brutes disponibles. Si les données nécessaires ne sont pas présentes, des mesures devront être réalisées. La métrologie est une science qui comprend tous les aspects théoriques et pratiques des mesurages. La mesure est l'opération qui consiste à donner une valeur à une observation ou bien encore qui consiste à quantifier quelque chose que l'on peut observer. Dans le cas de mesurages de façon expérimentale, une méthode pour augmenter la fiabilité de la mesure est de multiplier le nombre d'expériences afin d'obtenir une série de mesures. Plus le nombre d'éléments de la série sera élevé, moins l'erreur de la mesure moyenne sera importante.

A partir de ce jeu de données, les métriques sont établies. Le terme métrique vient de l'anglicisme du mot *metric* et se réfère aux méthodes de mesures et de construction d'indicateurs. Cela consiste à rassembler l'ensemble des mesures afin de faciliter les quantifications selon des caractéristiques particulières. La définition de la métrique est un élément clé dans la construction d'un indicateur, puisqu'elle définit l'unité de mesure, les méthodes de compilation de données ou encore le seuil d'acceptabilité de la fiabilité de la mesure.

La compilation des données pour la construction d'indicateurs est une opération de mise en forme qui se réalise avec l'utilisation de règles de construction. Ces règles sont généralement un traitement statistique ou bien mathématique (moyenne, somme, écart types, etc.) et se définissent collectivement entre les utilisateurs, qui pourront à tout instant modifier, supprimer ou bien ajouter de nouvelles règles. Ces modifications et évolutions sont fonction de l'apprentissage de l'équipe pour l'enrichissement de la base commune (Fernandez, 2007).

Les métriques et in fine les indicateurs ainsi construits ne représentent pas un état en soit, mais plutôt une certaine vision ou représentation de la réalité, sous forme de données statistiques. Ils fournissent une représentation synthétique (mais partielle) de l'ensemble des données sélectionnées.

Par abus de langage et par manque de clarté dans la terminologie, il n'est pas rare dans la littérature anglo-saxonne que les termes métriques, indicateurs, mesures et KPI (Key Performance Indicateur) soient abusivement inter-changés dans leur emploi tout en ayant la même signification. Le niveau de justesse de l'emploi des termes « justes » est cependant très lié au langage adopté par une entreprise ou un secteur d'activité.

Des indicateurs composites, également appelés indicateurs synthétiques, sont des agrégats d'indicateurs individuels valorisés (Jaulent, 2007). L'indicateur composite est une valeur calculée à partir d'une combinaison de divers indicateurs et d'un modèle mathématique théorique. Il a pour but de synthétiser les différentes dimensions qui peuvent entrer en considération pour le calcul d'un niveau de performance plus global. L'agrégation et le calcul de la valeur de l'indicateur composite se réalise en pondérant chacun des indicateurs individuels considérés et est représenté par la Formule 1.

$$CI_n = W_1Y_{1n} + W_2Y_{2n} + \dots + W_pY_{pn} = \sum W_iY_{in}$$

CI_n correspond au score du composite dans l'unité n ,

Y_{in} correspond à l'indicateur individuel pour l'attribut i dans l'unité n ,

W_i spécifie le poids attaché à l'attribut i

Formule 1 : Méthode linéaire de calcul d'une valeur composite

2.6 Représentations graphiques des indicateurs

Indépendamment de la nature et de la typologie des indicateurs, le sens des informations communiquées peut prendre des formes diverses et s'appuyer sur des dispositifs techniques variés. Il s'agit ici de décrire les principaux types de représentations graphiques qui peuvent faciliter la communication de l'information selon le type de messages à transmettre.

La matérialisation numérique d'un indicateur peut prendre diverses formes. Pour augmenter la capacité cognitive des indicateurs, ces derniers sont généralement représentés à l'aide de dispositifs graphiques. La représentation est en quelque sorte une matérialisation graphique de ce que l'indicateur veut indiquer. Une mauvaise représentation peut altérer le message à transmettre et la diffusion de signaux auprès des gestionnaires et par conséquent leur capacité à agir ou réagir.

En la matière, il n'existe pas de règle absolue et une même information peut être délivrée aux travers de représentations graphiques et symboles différents. Néanmoins, quelques règles sémiologiques et pratiques courantes peuvent être établies. Ci après sont listés de façon non-exhaustive les d'éléments graphiques et de représentation pouvant servir dans la restitution des indicateurs.

Les indicateurs de type binaire (« tout ou rien ») ou bien ayant un certain nombre d'état de sortie connues (données qualitatives) sont représentés selon plusieurs dispositifs.

L'utilisation de codes couleur peut faciliter l'identification des situations normales et anormales par les gestionnaires. Selon le principe d'un feu tricolore (voir **Figure 2.3**) et par habitude, la couleur verte est généralement associée à une situation normale, alors que la couleur rouge est utilisée pour les situations anormales ou dégradées, qui nécessitent une intervention. Entre ces deux états, la couleur orange est utile pour requérir la vigilance du décideur sans pour autant nécessiter forcément une action immédiate.

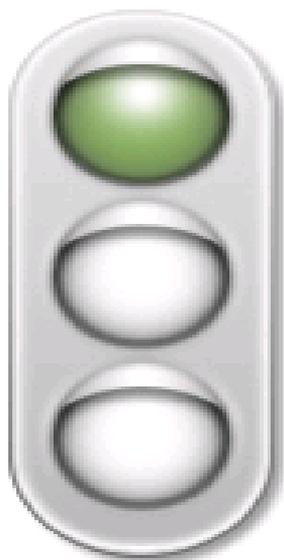


Figure 2.3 : Exemple de représentation sous forme de feu tricolore

Selon cette même logique, des pictogrammes ou symboles sont employés pour caractériser l'information. Par exemple des smileys⁵ représentent une situation selon différents niveaux de satisfaction (**voir Figure 2.4**). L'emploi de flèches colorées facilite la lecture de tendance sur les évolutions des résultats de mesure.

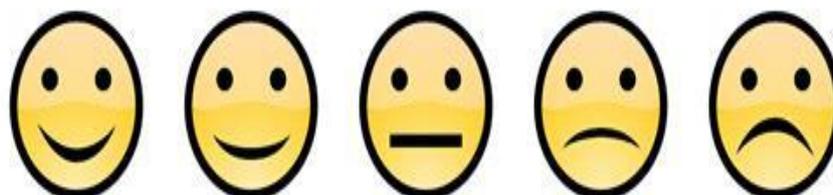


Figure 2.4 : Exemple de représentation graduelle sur des niveaux de satisfaction descendants

Les indicateurs de mesures quantitatives sont représentés sous diverses formes graphiques. Que les mesures soient relatives (pourcentage, ratio, etc.) ou bien absolues et que cela soit sous forme de graphiques courbes, de segments colorés, ou bien encore de jauges (ou bien tachymètre) ou de cadrans (**Figure 2.5 et Figure 2.6**), ces types de représentations permettent bien souvent de juxtaposer les valeurs mesurées et les objectifs désirés afin de mieux apprécier les écarts et les actions à mettre en œuvre. Ils permettent aussi de définir plusieurs seuils intermédiaires afin de discrétiser les mesures, et ainsi passer d'une mesure quantitative à une mesure qualitative. Ainsi, une information numérique pourra être classée selon différents

seuils et catégories. Par exemple, le niveau d'accomplissement d'une tâche peut être représenté sous forme numérique avec un pourcentage d'accomplissement, mais aussi graduellement selon plusieurs libellés (par exemple : intolérable, non satisfaisant, passable, satisfaisant, très satisfaisant) ou bien encore selon différents codes couleur. Cette étape de discrétisation de la mesure consiste en la codification de la connaissance. Elle est réalisée en application des connaissances collectives du groupe d'utilisateurs destinataires de l'indicateur. L'échelle de traduction du quantitatif au qualitatif, qu'elle soit textuelle ou bien graphique, est subjective. La présentation qualitative, plus que quantitative, sera ainsi parfois plus proche du sens et de l'interprétation de l'information portée (Fernandez, 2007).



Figure 2.5 : Exemples de représentation de mesures respectivement à l'aide d'une jauge et d'un cadran

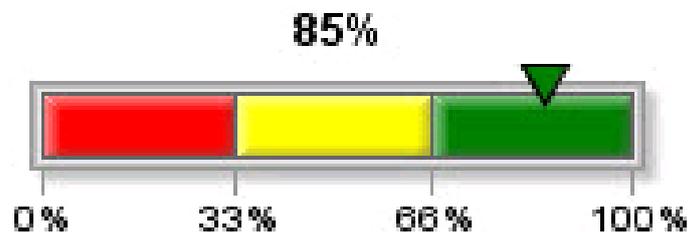


Figure 2.6 : Exemple de représentation graphique avec catégorisation des valeurs selon différentes catégories de couleurs

Selon le type d'aide à l'analyse que l'on souhaite établir, certains types de représentations sont plus à même d'être utilisés.

Ainsi, les graphiques courbes semblent les plus adaptés pour une visualisation de l'évolution de résultats au cours du temps à des fins de comparaison. Ces types de graphiques offrent une large palette de possibilités et variantes : juxtaposition de plusieurs courbes, mise en exergue de l'écart par rapport aux objectifs, etc.

Le graphique ci-dessous (**figure2.7**) présente l'évolution du nombre d'accidents déclarés par millions d'heures travaillées pour le groupe Total entre les années 2008 et 2011 (Total, 2010 et 2011). Ces indices sont affichés selon les différentes divisions de la société (Chimie, Raffinage-Marketing, etc.). Cet indicateur souligne qu'indépendamment de la division du groupe, le nombre d'accidents déclarés par millions d'heures travaillées est en baisse permanente depuis 2008.

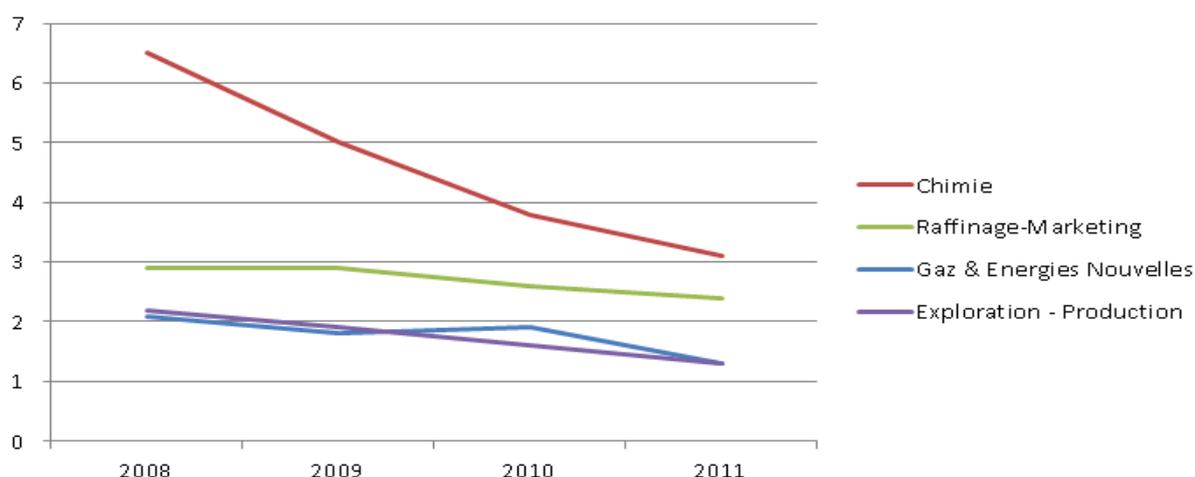


Figure 2.7 : Représentation de l'évolution des indices des accidents de travail déclarés avec un graphique de courbes

Ces mêmes indices d'accidents peuvent être affichés selon une représentation alternative. Le graphique des courbes en aires cumulées voire (**figure2.8**) permet de visualiser les variations des indices d'accidents au cours du temps et d'apprécier la part de chacune des divisions du groupe. Contrairement au graphique courbe « simple » (**figure2.7**) ce graphique permet de voir rapidement sans opération de calcul mental, l'évolution de l'indice global d'accidents déclarés pour l'ensemble du groupe Total. On constate que le résultat global du groupe s'est amélioré puisque l'indice global est passé de 13,7 en 2008 à 8,1 en 2011.

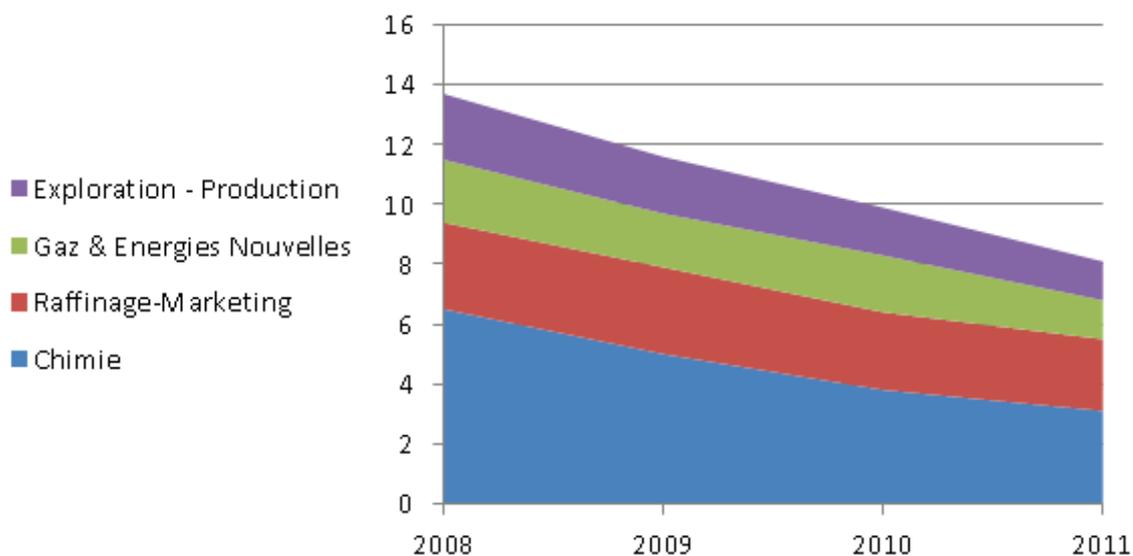


Figure 2.8 : Représentation de l'évolution des indices des accidents de travail déclarés à l'aide un graphique de courbes en aires

Les indicateurs sur les indices d'accidents déclarés du groupe présentés préalablement (**Figure 2.7** et **Figure 2.8**) peuvent aussi être représentés sous forme d'un histogramme. Les graphiques en histogramme illustrent les variations des données sur une période ou favorisent la comparaison des différentes catégories. Les catégories sont en général indiquées sur l'axe horizontal et les valeurs sur l'axe vertical. Les séries de données sont affichées de façon groupées (**Figure 2.9**) ou bien sous forme cumulées (**Figure 2.10**).

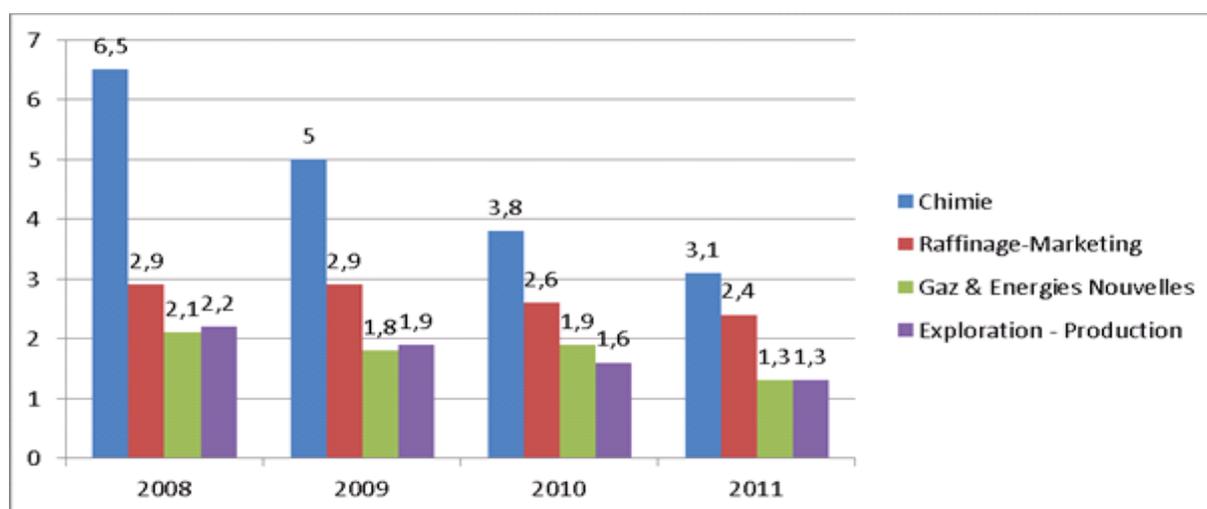


Figure 2.9 : Représentation de l'évolution des indices des accidents de travail déclarés avec des histogrammes regroupés

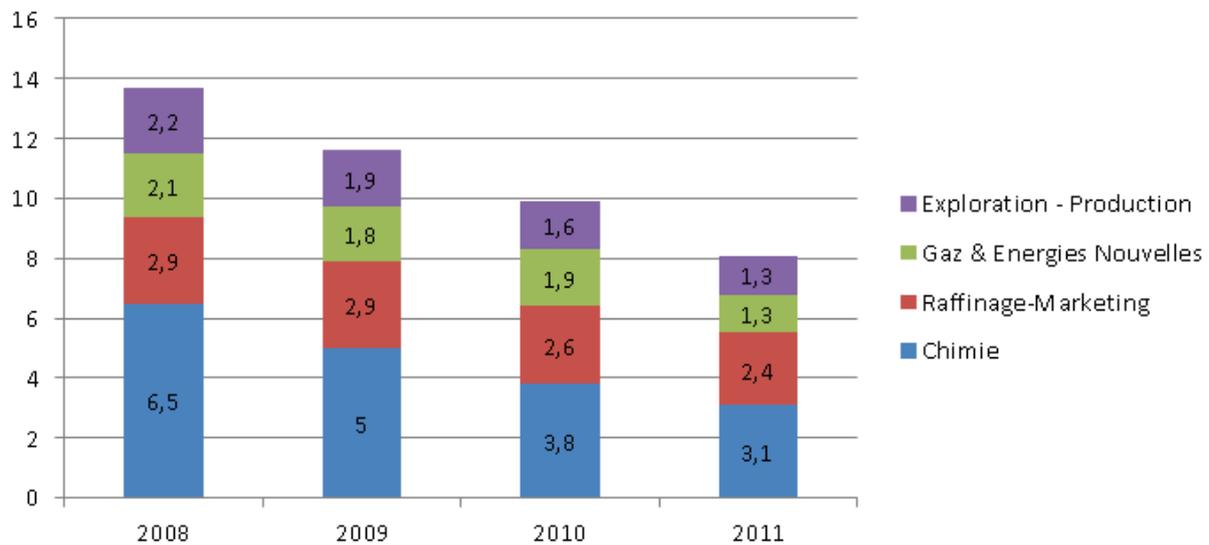


Figure 2.10 : Représentation de l'évolution des indices des accidents de travail déclarés avec histogrammes cumulés

Un autre type de représentation communément utilisé est le graphique en radar ou en « toile d'araignée ». Ce type de graphique permet de tracer les valeurs de chaque catégorie le long d'un axe distinct qui commence au centre du graphique et se termine sur l'anneau extérieur (**Figure 2.11**). Il intègre autant d'axes que de catégories. Ces dernières peuvent représenter différents axes de mesure ou bien les périodes d'un cycle complet (afin de visualiser une évolution au cours du temps). Les valeurs des séries sont reliées entre elles en formant un polygone. Plusieurs séries de valeurs peuvent être présentées sur un même graphique afin de mieux visualiser et comparer les écarts entre les différentes séries de données selon les différentes catégories. Le graphique en (**Figure 2.11**) présente une partie des résultats obtenus lors d'un travail de recherche sur la mise en œuvre d'une méthodologie pour l'évaluation du niveau de performance des systèmes de management (Cambon, 2007). Ce graphique en radar présente une partie des résultats d'une évaluation d'une escale aéroportuaire selon la méthode TRIPOD Delta (Groeneweg, 2002) sur le niveau de performance d'un SMS selon les différents principes de management. La méthodologie proposée par Cambon (2007) propose d'évaluer les SMS selon trois dimensions : le degré de formalisation, de mise en œuvre et d'appropriation par les acteurs. Le graphique en (**Figure 2.11**) présente les scores obtenus lors de l'expérimentation sur le niveau d'appropriation du SMS par les acteurs. Ce type de représentation facilite la visualisation des points forts en terme de principes de management

(formation, compétence et habilitations spécifiques, documentation, etc.) et des différents axes d'amélioration (identification des dangers, et évaluation des risques, politique SST, etc.).

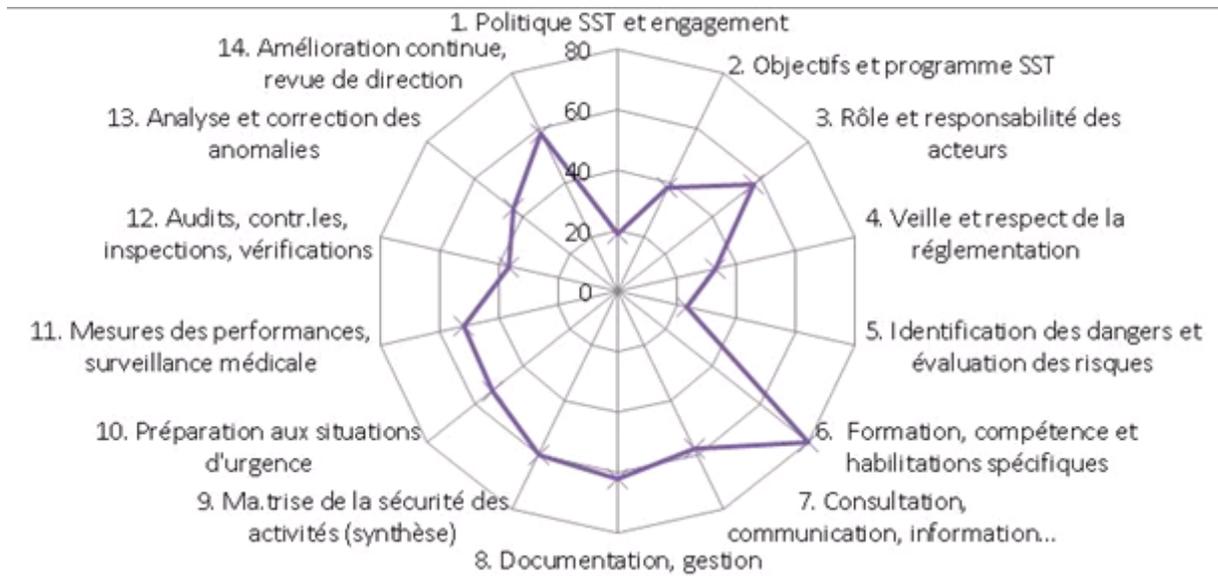


Figure 2.11 : Exemple de graphique en radar présentant le niveau d'appropriation d'un SMS (Cambon, 2007)

Les graphiques en secteurs ou en « camembert » se construisent à partir d'une série unique de données. Chacun des secteurs représente la taille de l'élément de la série par rapport à la somme total de la série. Les valeurs affichées peuvent être soit sous forme absolue soit sous forme relative en pourcentage. Le graphique ci-après (**Figure 2.12**) présente la part des indices de chacune des divisions du groupe Total pour le nombre d'accidents déclarés par millions d'heures travaillées. Ainsi, on constate que la division liée aux activités de « chimie » représente la plus grande part dans le nombre d'accidents déclarés et que les activités « d'exploration – production » représentent la part la plus faible.

2011

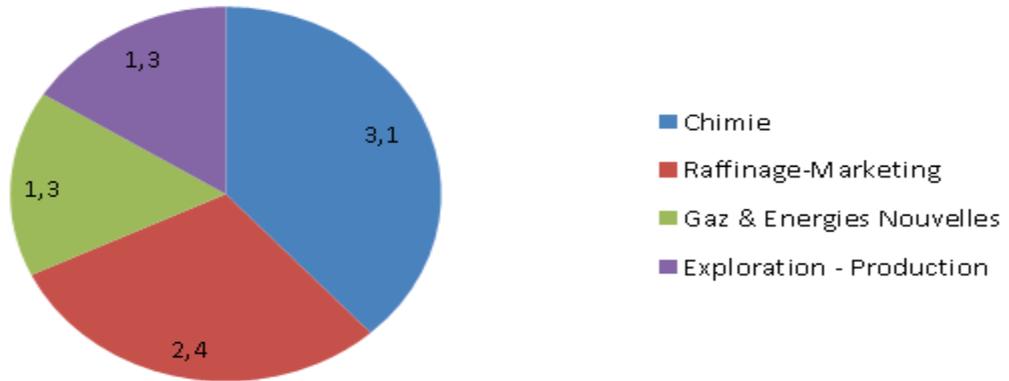


Figure 2.12 : Exemple de graphique en secteurs représentant la part du nombre d'accidents déclarés par millions d'heures travaillées selon les divisions d'une organisation

Les graphiques en bulles présentent l'avantage de représenter une troisième dimension sur un même graphique (**figure 2.13**). L'axe horizontal et l'axe vertical sont des axes de valeurs représentant les deux premières séries de valeurs. La troisième série est elle représentée par la taille de chacune des bulles. Ces types de graphiques en bulles sont souvent utilisés pour souligner de manière visuelle des valeurs spécifiques. Ainsi, le graphique en bulle en (**Figure 2.13**) présente le nombre de décès en 2010 selon les secteurs d'activité et le nombre de salariés par secteur. On s'aperçoit ici que le nombre de décès dans le secteur du BTP est très important par rapport au nombre de total de salariés y travaillant.

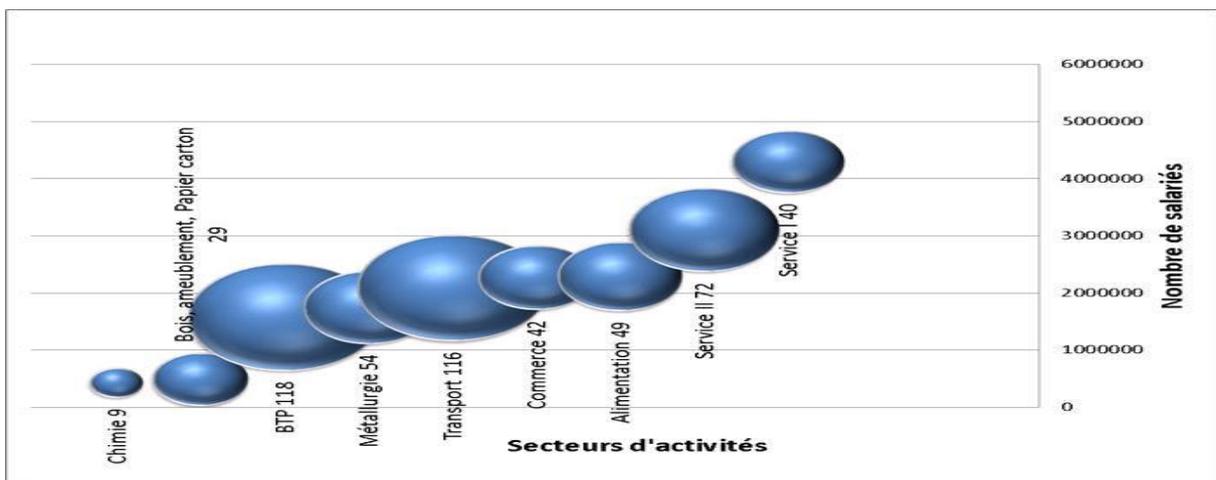


Figure 2.13: Représentation graphique en bulles du nombre de décès en France par secteurs d'activités et effectifs (2010 - Source INRS)

Chapitre03
Développement d'une
interface de
supervision de suivi
du taux d'occupation
dans un service
hospitalier

Introduction

Dans ce chapitre nous allons exposer les différentes étapes de conception de l'interface graphique de suivi des taux d'occupation dans un service hospitalier en fonction des arrivées et sorties de patients. Pour se faire, nous avons utilisé le logiciel EXCEL, les expressions de calcul des différents taux sont les suivantes :

$$\text{Taux d'occupation instantané \%} = \frac{\text{Nombre d'arrivée patients} - \text{Nombre de sorties patients}}{\text{capacité d'accueil}}$$

$$\text{Taux d'occupation journalier \%} = \frac{\text{Nombre de chambres occupées}}{\text{nombre de chambres disponible}} * 100$$

$$\text{Taux d'occupation mensuel \%} = \frac{(\text{nombre de chambre occupées} * 30)}{(\text{nombre de chambre disponible} * 30)} * 100$$

3.1 Indicateur de Jauge

Le graphique jauge (ou compteur de vitesse) Excel est l'un des types de graphiques les plus populaires qui attirent les gestionnaires. En plus d'être facile à comprendre, il permet de visualiser la réussite ou le taux de croissance de manière créative. Une jauge est un appareil pour mesurer la quantité ou la taille de quelque chose, par exemple, une jauge de carburant, de pluie, de température ...

Il existe différents scénarios où une jauge est utilisée :

Pour mesurer la température d'une personne, un thermomètre est utilisé.

Pour mesurer la vitesse d'une automobile, un indicateur de vitesse est utilisé.

Pour évaluer les performances d'un élève, une feuille de notation est utilisée.

En effet, des graphiques de jauge ont été utilisés pour visualiser les performances par rapport à un objectif défini. Les graphiques de jauge sont basés sur le concept de compteur de vitesse des automobiles. Ceux-ci sont devenus les graphiques les plus préférés des dirigeants, pour savoir en un coup d'œil si les valeurs se situent dans une valeur acceptable (vert) ou une valeur acceptable externe (rouge).

Parmi les différentes façons de représenter et de visualiser les données, un graphique jauge peut montrer comment une seule mesure se compare à une norme définie. Excel ne propose pas de graphique de jauge prêt à l'emploi, alors voici comment nous pouvons créer un par nous-même.

3.1.1 Qu'est-ce qu'un graphique jauge et comment l'utiliser ?

Un graphique jauge est une combinaison de graphique en anneau et graphique en secteurs dans un seul graphique. En effet, Il ressemble à un indicateur de vitesse que nous pouvons trouver dans les voitures, les vélos, les véhicules électriques, etc. C'est ainsi que nous pouvons également l'appeler un graphique compteur de vitesse. Ce type de graphique utilise un pointeur ou une aiguille pour afficher des informations sous forme de lecture sur un cadran. Un graphique jauge montre le minimum, le maximum et la valeur actuelle décrivant à quelle distance du maximum nous sommes. Alternativement, vous pouvez avoir deux ou trois plages entre les valeurs minimale et maximale et visualiser dans quelle plage la valeur actuelle tombe.

Un graphique de jauge ressemble au graphique ci-dessous (Figure 3.1) :

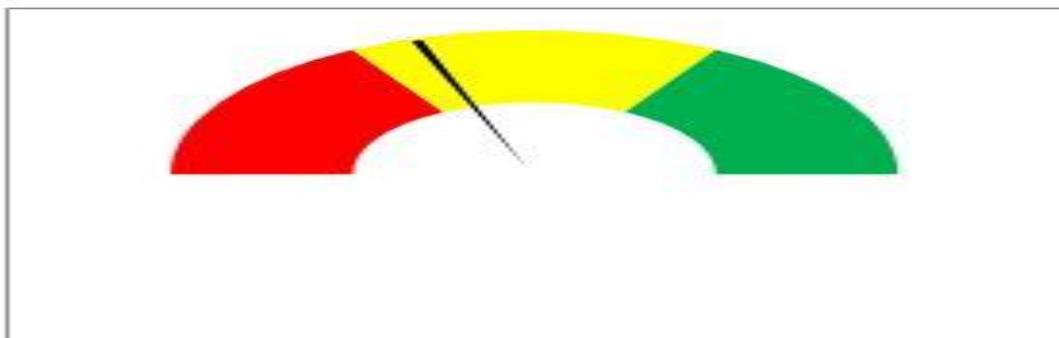


Figure 3.1. Composition d'une jauge

Le graphique jauge peut nous offrir une visualisation interactive pour présenter les performances de santé des patients. Dans Excel, il existe des plusieurs moyens pour créer le graphique ; nous montrons ci-dessous les conceptions qui sont construites sur le graphique circulaire et le graphique en anneau.

La jauge créée pourrait être un instrument utile non seulement pour la santé, mais également pour d'autres champs comme la visualisation entre l'objectif et les valeurs réelles. Avec une petite modification, elle est capable d'afficher non seulement la plage de 0 à 100%, mais également d'autres valeurs arbitraires sur le graphique du compteur de vitesse.

3.1.2 Avantages des graphiques de jauge

Les graphiques de jauge peuvent être utilisés pour afficher une valeur relative d'une à trois plages de données. Ils sont couramment utilisés pour visualiser les éléments suivants :

- Travail terminé par rapport au travail total.
- Ventes par rapport à un objectif.
- Tickets de service qui sont fermés par rapport au total des tickets de service reçus.
- Bénéfice par rapport à l'objectif fixé.

3.1.3 Inconvénients des graphiques de jauge

- Bien que les graphiques de jauge soient toujours les préférés de la plupart des cadres, ils présentent certains inconvénients. Ils :
- Sont de nature très simple et ne peuvent pas représenter le contexte.
- Peuvent souvent induire en erreur en omettant des informations clés, ce qui est possible dans les besoins actuels de visualisation du Big Data.
- Gaspillent de l'espace au cas où plusieurs graphiques devraient être utilisés. Par exemple, pour afficher des informations concernant différentes voitures sur un seul tableau de bord.
- Ne sont pas adaptés aux daltoniens.

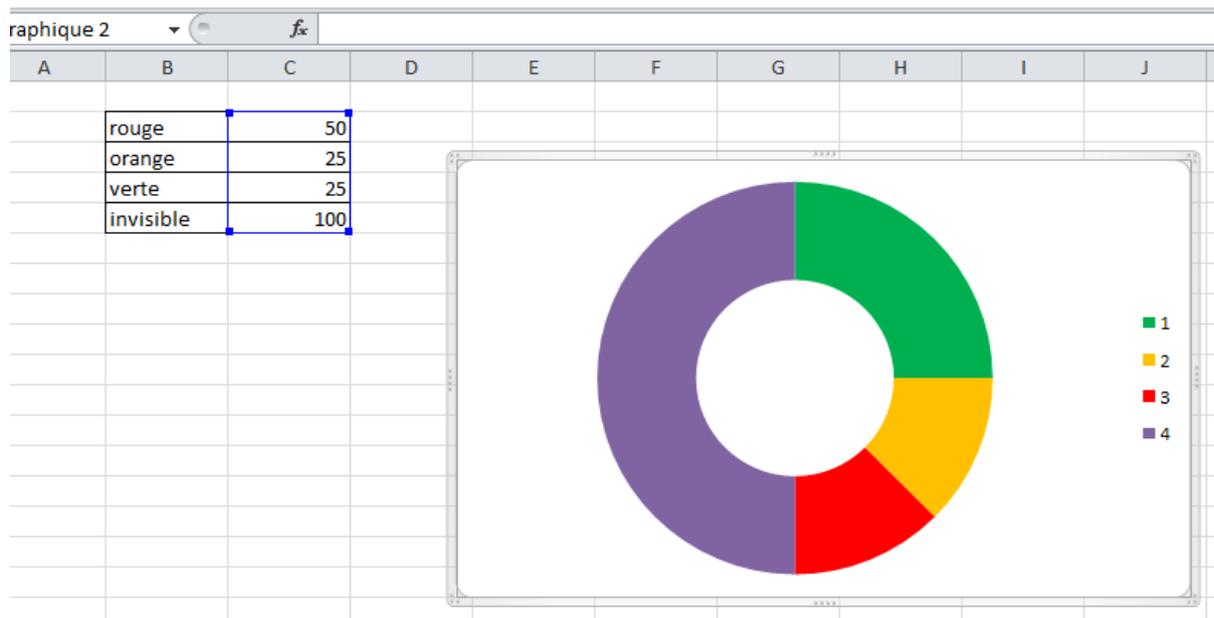


Figure 3.3. Apparence du Graphique en anneau

Maintenant on fait un clic droit sur notre graphique, ensuite dans « Mettre en forme des séries de données », entrons 270° dans « Angle du premier secteur » et nous appuyons sur Entrée. Nous obtenons le graphique de la figure 3.4.

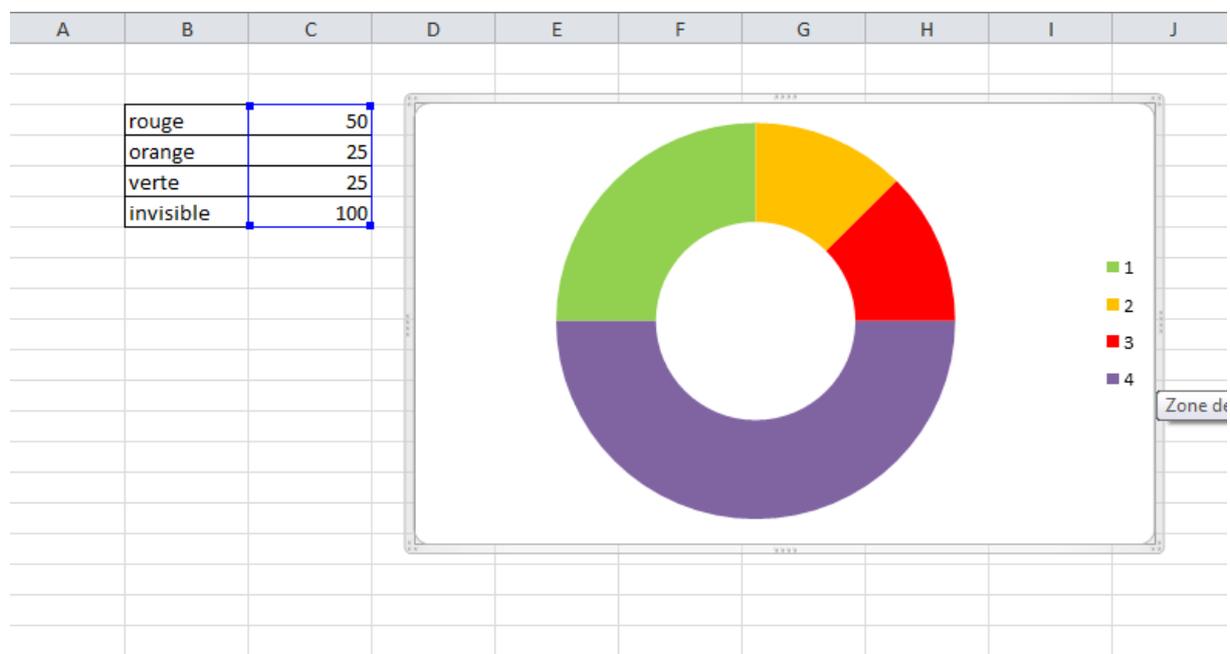


Figure 3.4. Apparence du Graphique en anneau

Après cela, nous devons masquer la moitié inférieure du graphique :

Nous faisons un clic droit uniquement sur cette partie du graphique, nous sélectionnons «Remplir» et choisissons «Aucun remplissage» Pour y parvenir, nous devons insérer deux graphiques en anneau et un graphique en secteurs. Mais avant tout, nous devons organiser les données dans des tableaux de données. Nous utilisons 3 couleurs différentes (vert, orange et rouge). À ce stade, nous aurions un graphique comme celui ci-dessous (Figure 3.5).

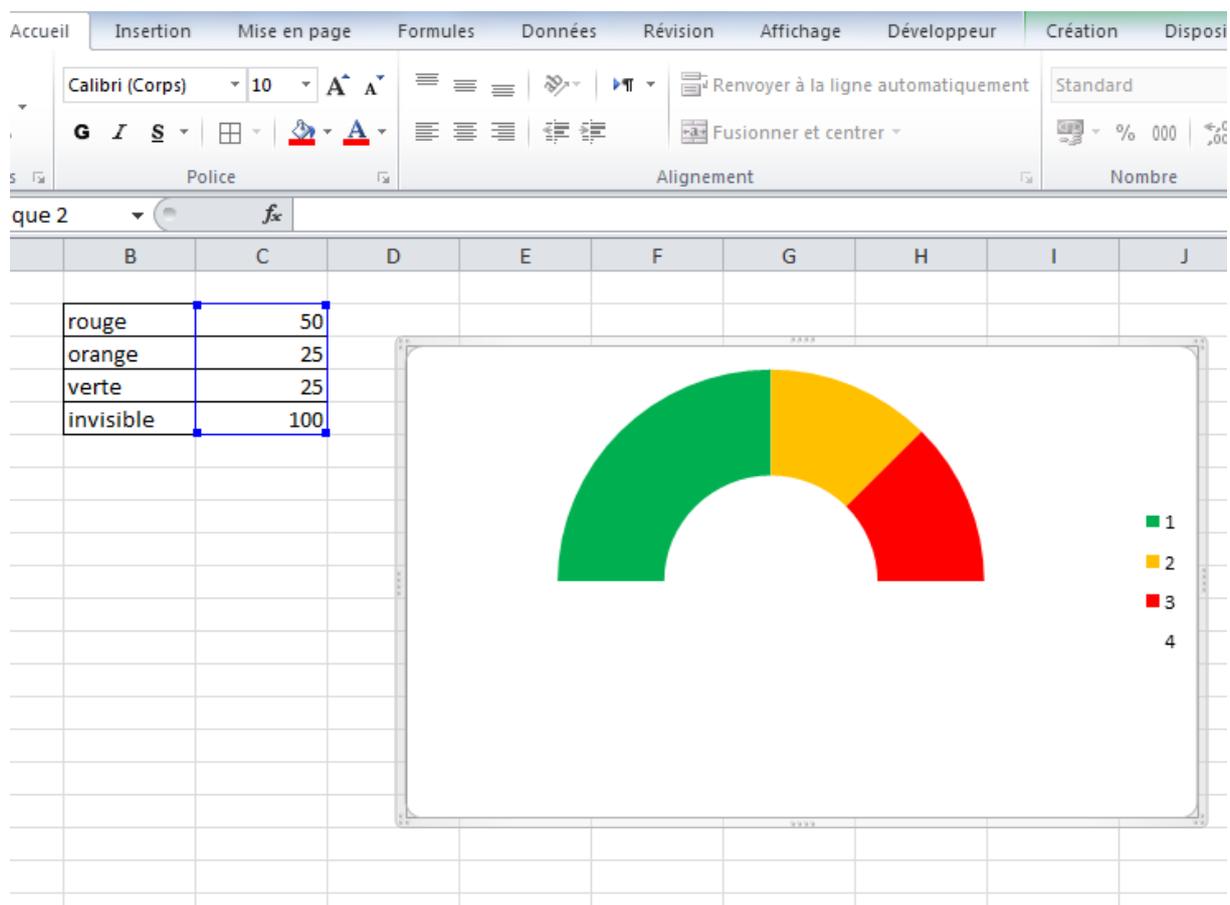


Figure 3.5. Apparence du Graphique en anneau

Maintenant, il nous reste de créer un graphique à secteurs avec un deuxième tableau de données pour ajouter l'aiguille.

Nous faisons un clic droit sur le graphique puis nous cliquons sur « Sélectionner les données ».

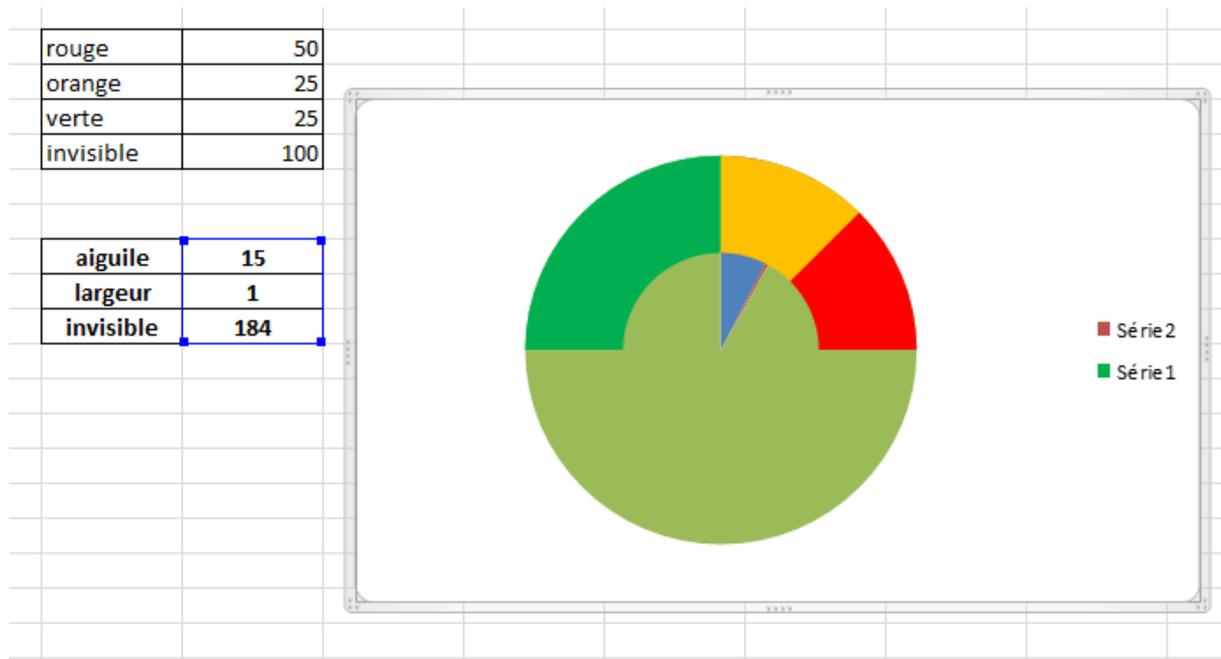


Figure 3.7. Apparence du Graphique en anneau

Maintenant nous faisons un clic droit sur notre graphique. Dans « Mettre en forme des séries de données », nous entrons 270° dans « Angle du premier secteur » et appuyons sur Entrée.

Ensuite sur tracer la série avec cliquant sure «axe secondaire» (Figure 3.8).

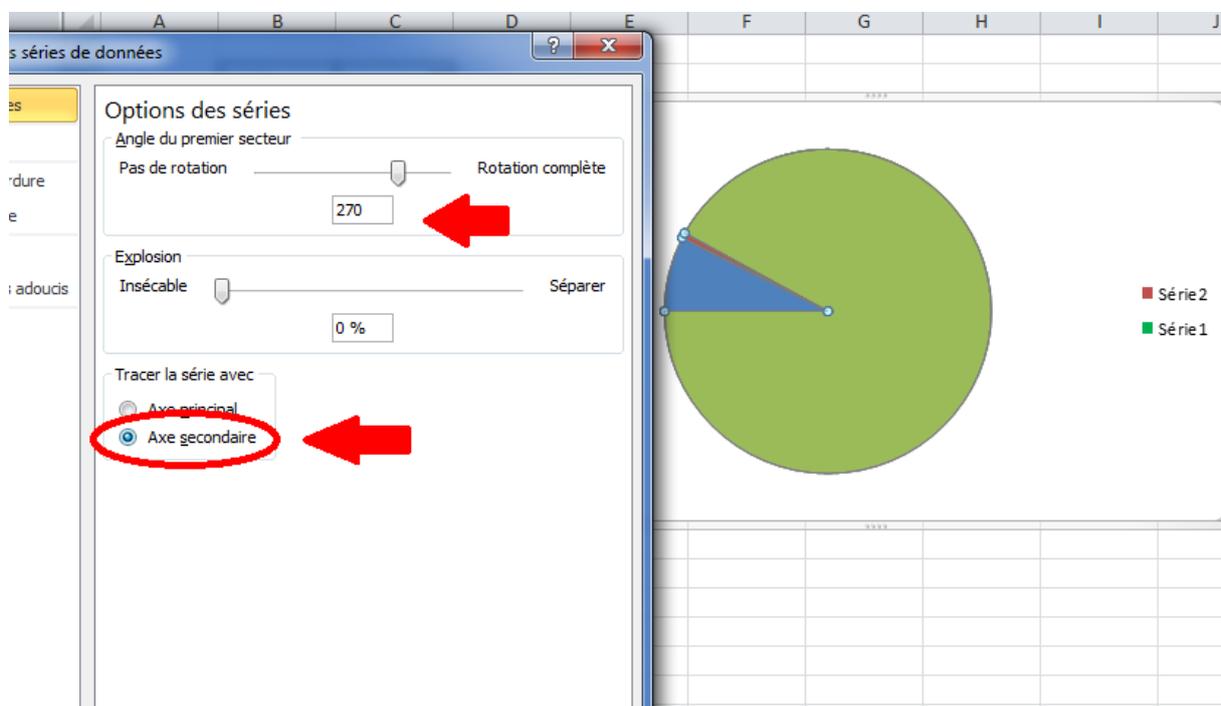


Figure 3.8. Apparence du Graphique en anneau

Ensuite, nous sélectionnons les deux grandes parties de données du graphique et nous n'appliquons aucune couleur de remplissage pour les masquer (Figure 3.9).

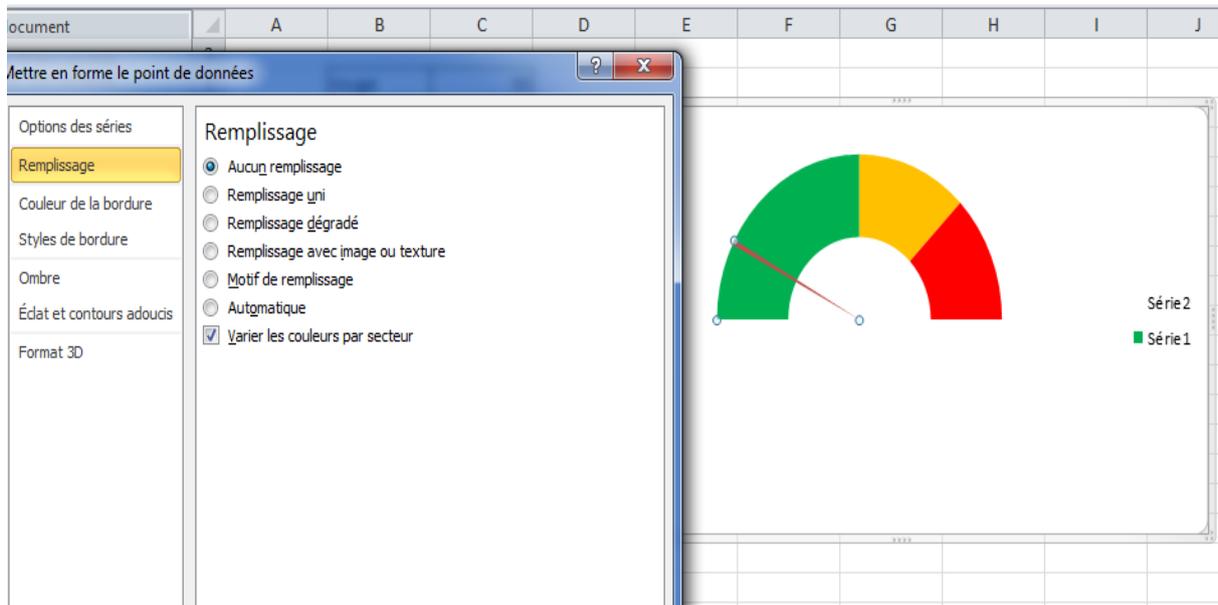


Figure 3.9. Apparence du Graphique en anneau

Et maintenant, il nous reste plus que la petite partie dans le graphique à secteurs qui sera l'aiguille pour le graphique jauge, après nous avons colorié la partie aiguille en noir (Figure 3.10)

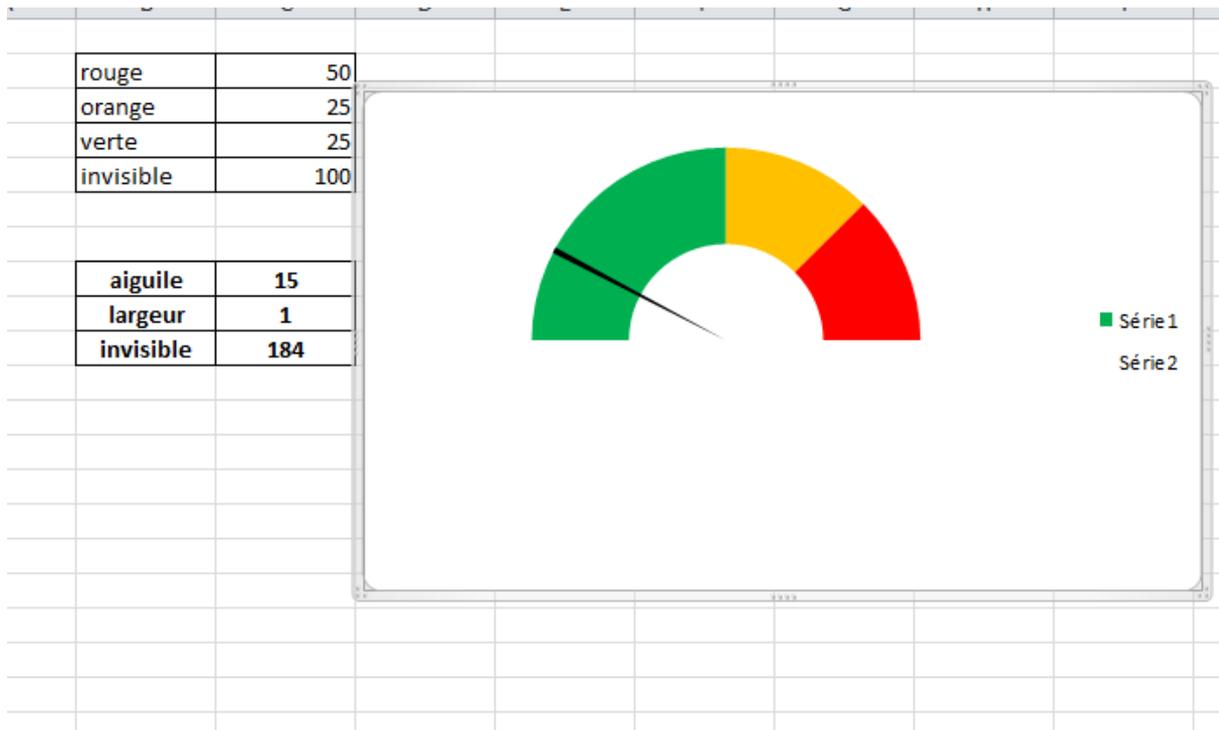


Figure 3.10. Apparence du Graphique en anneau

À ce stade, nous avons un graphique jauge prêt à l'emploi (comme celui ci-dessous).

Pour afficher la valeur numérique du pourcentage indiqué par l'aiguille, nous avons ajouté un nouveau tableau qui restitue la valeur dans la jauge (Figure 3.11)

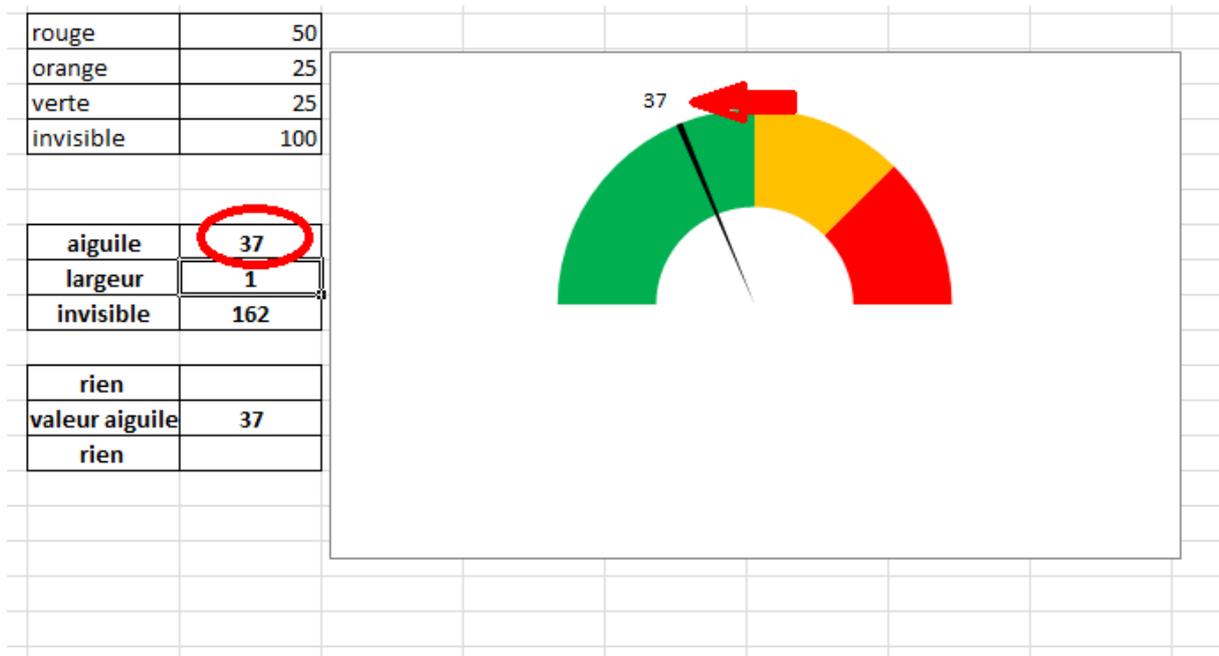


Figure 3.11. Apparence du Graphique en anneau

Dernier chose pour nous pouvons afficher la valeur de l'aiguille avec pourcentage « % »

et pour personnaliser notre aiguille nous allons sure la « **barre de formule** »

et taper « =C9&"%" » après nous cliquons sur entrée, qui va afficher le symbole %, comme le montre la figure 3.12.

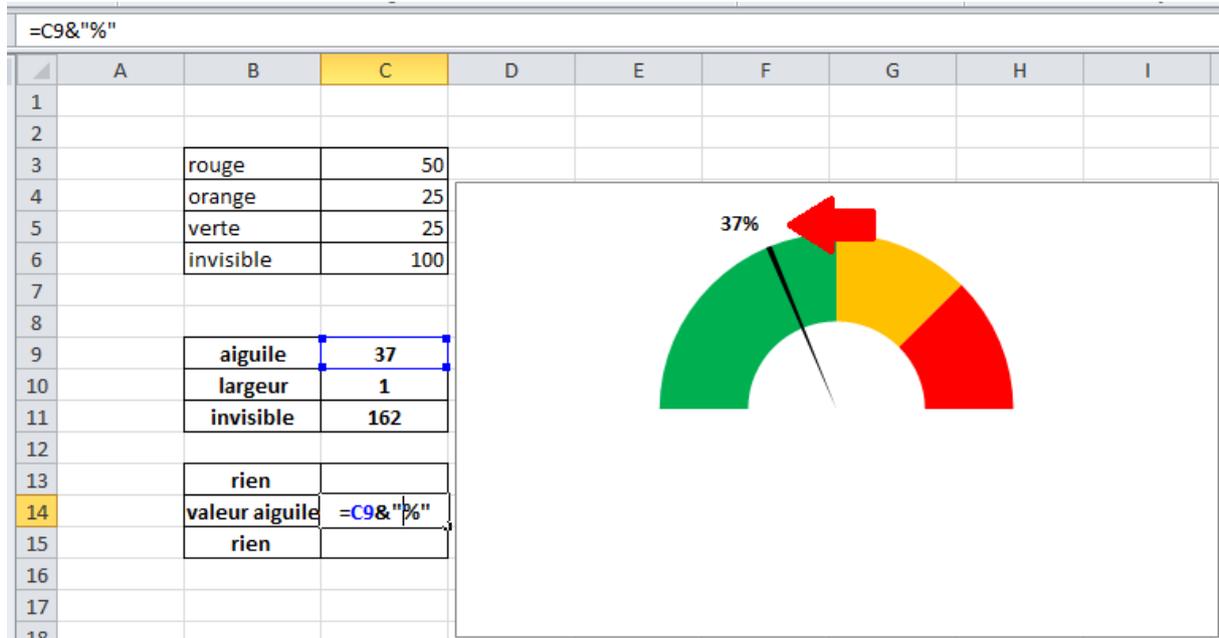


Figure 3.12. Apparence du Graphique en anneau

3.3 Saisi des données

Les données nécessaires pour représenter les taux d'occupation sont : les arrivées de patients et les sorties de patients du service en fonction de l'horaire. La figure 3.13 donne le format de saisi des données.

Dans un deuxième temps, nous créerons un tableau dans lequel nous résumons les données que nous avons obtenues auprès de l'Etablissement Hospitalier Universitaire d'Oran, « EHU Oran ».

Ces sont des données qui représentent le nombre de patients qui arrivent et ceux qui sortent, dans un laps de temps déterminé (heures, mois,...)

Dans notre cas, nous afficherons le nombre de patients entrants et sortants d'un service, selon une période d'une demi-heure, de huit heures du matin à quatre heures du soir.

	heure	arrivée		heure	sortie
3	08:00	5		08:00	0
4	08:30	8		08:30	3
5	09:00	11		09:00	9
6	09:30	21		09:30	11
7	10:00	29		10:00	23
8	10:30	30		10:30	24
9	11:00	45		11:00	36
10	11:30	46		11:30	43
11	12:00	50		12:00	46
12	12:30	59		12:30	57
13	13:00	61		13:00	60
14	13:30	70		13:30	65
15	14:00	72		14:00	70
16	14:30	78		14:30	75
17	15:00	86		15:00	83
18	15:30	97		15:30	96
19	16:00	103		16:00	103

Figure 3.13. Format des données

Ces données nous permettent de calculer le taux d'occupation instantané dans la salle d'attente du service qui a une capacité maximum de 10 places.

nous avons enregistré le nombre d'entrées et de sorties du patients chaque demi-heure à partir de 8:00 jusqu'à 16 :00 C'est ce que représente le tableau ci-dessus.

pour calculer le taux d'occupation on faisons «(le nombre de patients entrant - le nombre de patients sortant) / la capacité »

La figure 3.14, représente la vue principale du tableau de bord, après l'intégration des données à la jauge. Notons que la valeur affichée sur la jauge correspond à la moyenne du taux d'occupation au cours de la journée.

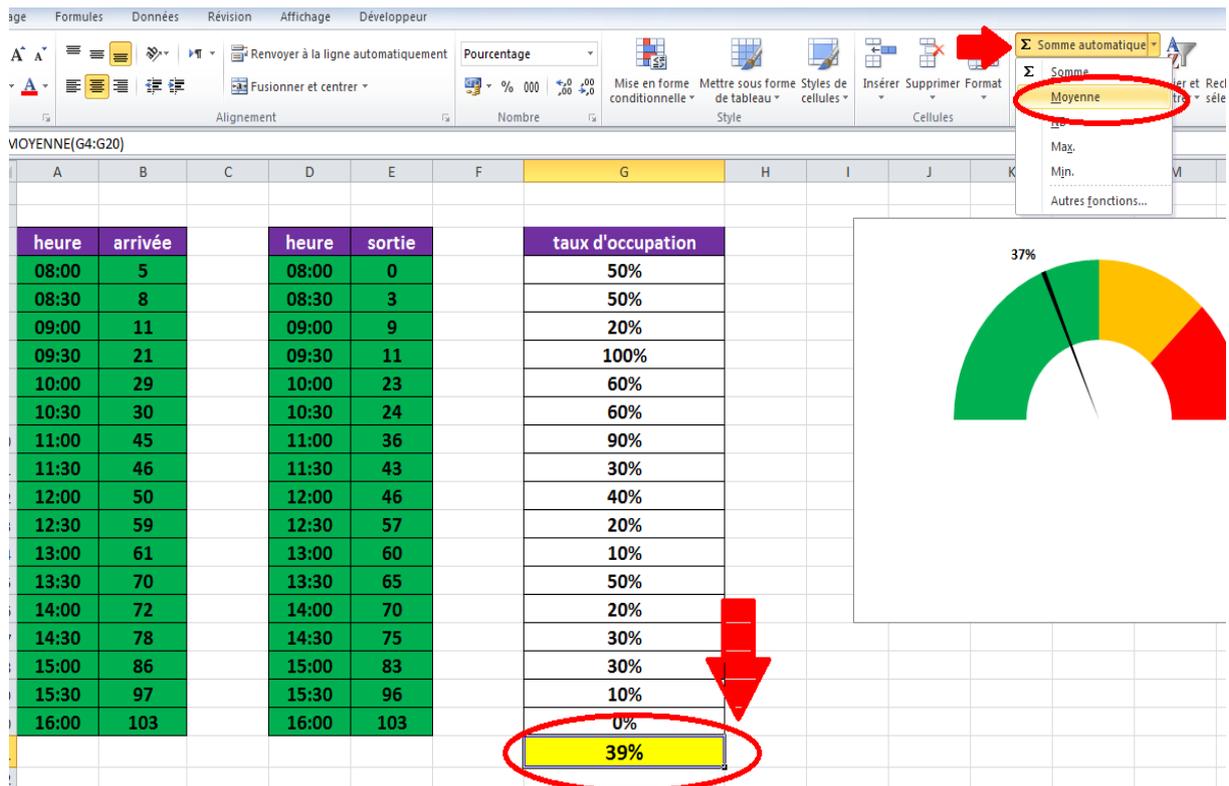


Figure 3.14. Vue principale du tableau de bord

3.4 Barre de défilement

Pour saisir le nombre de patients arrivés et le nombre de patients sortis, nous utilisons le composant « Barre de défilement » qui permet de sélectionner le nombre de patients en glissant uniquement la barre.

Ce dernier Permet de faire défiler une plage de valeurs lorsque nous cliquons sur les flèches de défilement ou que vous faites glisser la case de défilement. Nous pouvons faire défiler une page (intervalle prédéfini) de valeurs en cliquant dans la partie de la barre située entre la case de défilement et l'une ou l'autre flèche de défilement. L'utilisateur peut généralement taper une valeur de texte directement dans la cellule ou dans la zone de texte correspondante.

Une barre de défilement ressemble au graphique ci-dessous (Figure 3.15)

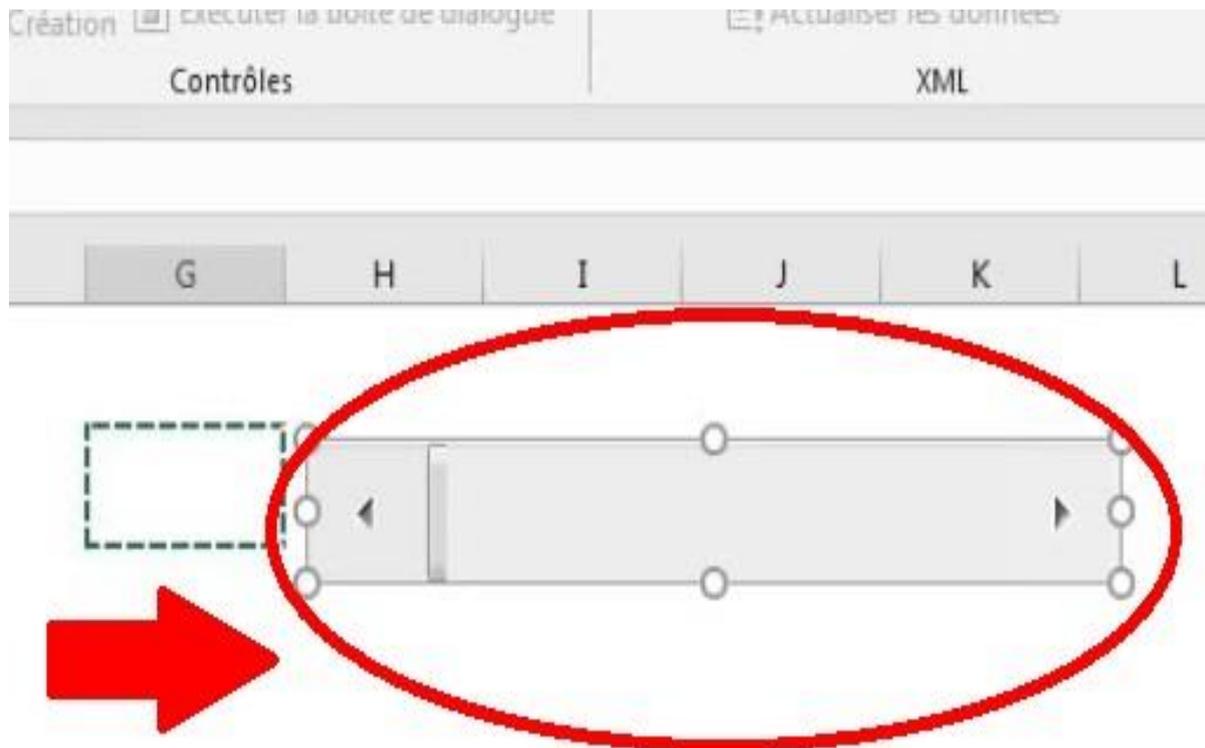


Figure 3.15. Barre de défilement

3.4.1 Ajouter une barre de défilement (Contrôle de formulaire)

Sous l'onglet développeur, dans le groupe contrôle, nous cliquons sur insérer, puis sous contrôle de formulaire, nous cliquons sur la barre de défilement.

Nous avons créé une barre de défilement dans chacune des cellules, représentant le nombre d'arrivées et de sorties de patients. La figure 3.16 montre l'interface après ajout des différentes barres de défilement.

heure	arrivée		heure	sortie	
08:00	0	◀ ▶	08:00	0	◀ ▶
08:30	8	◀ ▶	08:30	3	◀ ▶
09:00	11	◀ ▶	09:00	9	◀ ▶
09:30	21	◀ ▶	09:30	11	◀ ▶
10:00	29	◀ ▶	10:00	23	◀ ▶
10:30	30	◀ ▶	10:30	24	◀ ▶
11:00	45	◀ ▶	11:00	36	◀ ▶
11:30	46	◀ ▶	11:30	43	◀ ▶
12:00	50	◀ ▶	12:00	46	◀ ▶
12:30	59	◀ ▶	12:30	57	◀ ▶
13:00	61	◀ ▶	13:00	60	◀ ▶
13:30	70	◀ ▶	13:30	65	◀ ▶
14:00	72	◀ ▶	14:00	70	◀ ▶
14:30	78	◀ ▶	14:30	75	◀ ▶
15:00	86	◀ ▶	15:00	83	◀ ▶
15:30	97	◀ ▶	15:30	96	◀ ▶
16:00	103	◀ ▶	16:00	103	◀ ▶

Figure 3.16. Ajout de barres de défilement

3.5 La fonction SI sur EXCEL :

La fonction « SI » est l'une des plus populaires dans Excel. Elle permet d'établir des comparaisons logiques entre une valeur et le résultat attendu. Une instruction SI peut donc avoir deux résultats. Le premier résultat est appliqué si la comparaison est vérifiée, sinon le deuxième résultat est appliqué.

Dans notre cas nous avons utilisé la fonction «SI » pour afficher des message pour 3 cas du taux d'occupation (**faible**<50% , **moyen** entre 50% et 75% , et **forte** >75%).

Nous avons utilisé cette fonction pour colorier les cellules (vert, orange et rouge vs. faible, moyen et fort). La figure 3.17 montre le tableau des taux d'occupations après le coloriage conditionnel des cellules.

taux d'occupation	
0%	faible
50%	moyene
20%	faible
100%	forte
60%	moyene
60%	moyene
90%	forte
30%	faible
40%	faible
20%	faible
10%	faible
50%	moyene
20%	faible
30%	faible
30%	faible
10%	faible
0%	faible
36%	faible

Figure 3.17. Coloriage conditionnel des cellules

Ainsi nous obtenons le tableau de bord final montré par la figure 3.18.



Figure 3.18. Vue principale du tableau de bord

CONCLUSION GENERALE

Le tableau de bord est un instrument qui permet d'instaurer une dynamique permanente d'évaluation et d'amélioration, en analysant les écarts entre les objectifs fixés et la réalité.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à la conception et développement d'une interface homme-machine de supervision dans un service hospitalier. L'objectif était de développer un tableau de bord permettant de saisir le flux de patients (entrées, sorties) en fonction du temps et la visualisation en temps réel des taux d'occupation journaliers.

Pour se faire, nous avons utilisé le logiciel EXCEL, pour créer les différents composants de saisi et de visualisations des données. Dans ce contexte, le logiciel EXCEL s'est montré adapté à cet impératif, en offrant plusieurs outils de développement utilisés dans la conception des tableaux de bord.

Le tableau de bord développé, est convivial et interactif et permet au gestionnaire de suivre les taux d'occupation sous forme facile et efficace.

En revanche, pour une meilleure opérabilité, les données concernant le flux de patients doit être gérés d'une façon automatisée par exemple par un système de suivi par code-barres ou RFID (Radio Frequency Identification).

Ce travail nous a permis de se familiariser avec la conception des tableaux de bord et le logiciel EXCEL, en ayant un focus sur le domaine de la santé et la mise en œuvre des indicateurs de suivi propres à ce secteur.

Comme perspective aux futurs étudiants, nous proposons la réalisation d'un système de suivi de patients basé sur la technologie RFID en essayant de l'intégrer à l'interface développée sous EXCEL.

Bibliographie

- [**Johannsen, 82**] G. Johannsen. Introduction et contexte des systèmes homme-machine. Actes Conférence internationale de l'IFAC sur la conception analytique et l'évaluation des systèmes homme-machine, Baden-Baden, République fédérale d'Allemagne.
- [**Norman, 86**] D.A. Norman. Ingénierie cognitive, In D.A. Norman & S.W. Draper (Eds), Conception de systèmes centrés sur l'utilisateur : nouvelles perspectives sur l'interaction homme-machine. Hillsdale N.J., Elbraum, 1986.
- [**Rasmussen, 86**] J. Rasmussen. Aide à la décision intelligente dans les environnements de processus. Un cadre pour l'analyse cognitive des tâches dans la conception de systèmes. Dans : Hollnagel, E., Mancini, G., Woods, D.D. (Eds.). Série OTAN ASI. Vol. F21. Springer-Verlag, Berlin (1986).
- [**Richard et al., 90**] J.F. Richard, C. Bonnet, R. Guiglione (Fds.). Traité de Psychologie Cognitive, le traitement de l'information symbolique. Paris, 1990. Dunod.
- [**Kolski, 95**] C. Kolski. Méthodes et modèles de conception et d'évaluation des interfaces homme-machine. Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, Janvier, 1995.
- [**Swain, 63**] A.D. Swain. Une méthode pour effectuer une analyse de fiabilité des facteurs humains. Monographie SCR, 685, Sandia corporation, 1963.
- [**Swain, 64**] A.D. Swain. THERP, laboratoire Sandia, Albuquerque, W, Représentant mexicain SCR 64-1338, 1964.
- [**Swain et al., 81**] A.D. Swain, H.G. Guttman. Manuel d'analyse de la fiabilité humaine en mettant l'accent sur les applications des centrales nucléaires. Rapport technique de la commission de réglementation nucléaire américaine NUREG/CR 1278, 1981.

- [Embrey, 86]** D. Embrey. Une approche systématique de la réduction et de la prédiction des erreurs humaines, dans le cadre d'une réunion thématique internationale sur les progrès des facteurs humains dans les systèmes électronucléaires. Knoxville Tennessee, États-Unis, 1986.
- [Card et al., 83]** S.K. Carte, T.P. Moran et A. Newell. La psychologie de l'interaction homme-machine. Hillsdale, New Jersey. Erlbaum, 1983.
- [Rasmussen, 80]** J. Rasmussen. L'humain en tant que composant du système. En H.T. Smith et T.R.G. Green (Eds.), Human Interaction With Computer, London Academic Press. 1980.
- [Hoc et Amalberti, 95]** J.M. Hoc, R. Amalberti. Diagnostic : Quelques questions théoriques soulevées par la recherche appliquée. Psychologie actuelle de la cognition, 14 (1), pp. 73-101, 1995.
- [Nigay, 94]** L. Nigay. Conception et modélisation logicielles des systèmes interactifs : application aux interfaces multimodales. Thèse de l'Université de Joseph Fourier. Grenoble I. Mars, 1994.
- [Tarby, 93]** C. Tarby. Gestion automatique du dialogue homme-machine à partir des spécifications conceptuelles. Thèse de doctorat en informatique. Université de Toulouse I. Septembre 1993.
- [Bodart et al., 95]** F. Bodart, A. Hennebert, J.M. LeHeureux, I. Provot, J. Vanderdonckt et G. Zuchinetti. Activités clés pour une méthodologie de développement d'applications interactives. Chapitre 4 dans Problèmes critiques dans l'ingénierie des systèmes d'interface utilisateur. D. Benyon et Ph. Palanque (Eds), Springer-Verlag, 1995.
- [Palanque, 97]** P. Palanque. Spécifications formelles et systèmes interactifs : vers des systèmes basés et utilisables. Habilitation à diriger des recherches, Université de Toulouse I, 1997.

- [Robert et al., 97]** J.M. Robert, F Aubin, S. Jagannath. Des tâches génériques aux interfaces génériques. IHM'97, 9ème journées sur l'ingénierie de l'interaction homme-machine, 10-12 septembre 1997, France, pp. 39-45.
- [Sheridan, 97]** T.B. Sheridan. Analyse des tâches, répartition des tâches et contrôle de supervision. Dans Handbook of Human-Computer Interaction, Helander M.G., Landauer T.K., Prabhu P. (Eds), North Holland, Amsterdam, pp. 87-105, 1997.
- [Berger, 98]** A. Berger. L'ETS comme cadre d'analyse des tâches. Ergonomie, vol 41, n°11, 1998, pp. 1537-1552.
- [Terwilliger et al., 97]** R.B. Terwilliger, P.G. Polson. Relations entre les représentations des tâches d'interface utilisateursband, CHI'97, 22-27 mars 1997, pp. 99-106.
- [Diaper et al., 01]** D. Diaper et N. Stanton (Eds). Le manuel d'analyse des tâches pour l'interaction homme-machine. Lawrence Erlbaum Associates, Londres 2001.
- [Abed et al., 01]** M. Abed. Modélisation des tâches dans la conception et l'évaluation des systèmes interactifs : la méthode SADT/Petri. Dans Kolski C. (Ed.), Analyse et Conception de l'IHM. Interaction Homme Machine pour les SI, Tome 1, pp. 145-174. Paris : Éditions Hermès, 2001.
- [Abed, 01]** M. Abed. Méthodes et modèles formels et semi-formels pour la conception et l'évaluation des systèmes homme-machine. Habilitation à diriger des recherches. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, France, mai 2001.
- [Mahfoudhi, 97]** A. Mahfoudhi. TOOD : Une méthodologie de description orientée objet des tâches utilisateur pour la spécification et la conception des IHM : Application au contrôle du trafic aérien. Thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, France, 1997.

- [**Tabary, 01**] D. Tabary. Contribution à TOOD, une méthode à base de modèles pour la spécification et la conception des systèmes interactifs. Thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, France, décembre 2001.
- [**Paterno, 01**] F. Paterno. Vers un UML pour les systèmes interactifs. Proc. Ing. Conférence sur l'interaction homme-machine, HCI'01, pp. 175-185, 2001.
- [**Mori et al., 02**] G. Mori, F. Paterno, C. Santoro. CTTE : Support au développement et à l'analyse de modèles de tâches pour la conception de systèmes interactifs, Transactions IEEE sur le génie logiciel, vol. 28, n° 9, septembre 2002.
- [**Hix et Hartson, 93**] D. Hix, H. R. Hartson. Développement de l'interface utilisateur : Assurer la convivialité à travers le processus Produit. John Wiley Sons, New York, 1993.
- [**Scapin et al., 01**] D.L. Scapin, J.M.C. Bastien. Analyse des tâches et aide ergonomique à la conception : l'approche MAD*. Dans Kolski C. (Ed.), Analyse et Conception de l'IHM. Interaction Homme Machine pour les SI, Tome 1, pp. 85-116. Paris : Éditions Hermès, 2001.
- [**Scapin et al., 89**] D.L, Scapin et C. Pierret-Golbreich. MAD : une Méthode Analytique de Description des Tâches, Actes du Colloque sur l'Ingénierie des Interfaces Homme-Machine, Sophia-Antipolis, 24-26 Mai, 1989.
- [**Amalberti et al., 98**] R. Amalberti, J.M. Hoc. Analyse des activités cognitives en situation dynamique : pour quels maiss ? Commenter ? Le travail humain vol 61, n°3, 1998, pp. 209-234.
- [**Jacko et al., 03**] J. A. Jacko et A. Sears (Eds.) : The human-computer interaction handbook : fondamentaux, évolution des technologies et applications émergentes (facteurs humains et ergonomie). Lawrence Erlbaum Associates, 2003.

- [Bastien, 96]** J.M.C. Bastien. Les critères ergonomiques : un pas vers une aide méthodologique à l'évaluation des systèmes interactifs. Thèse de doctorat d'ergonomie cognitive, Paris, France, 1996.
- [Vanderdonckt, 99]** J. Vanderdonckt. Jalons de développement vers un outil pour travailler avec des lignes directrices. *Interagir avec les ordinateurs* 12, 2 (1999) 81-118.
- [Smith, 86]** S.L. Smith et J.N. Mosier. Lignes directrices pour la conception d'un logiciel d'interface utilisateur. Rapport EDS-TR-86-278, The MITRE Corporation, Bedford, MA, 1986.
- [Nielsen, 93]** J. Nielsen. Ingénierie de l'utilisabilité. Presse académique, 1993.
- [Shneiderman, 98]** B.S. Shneiderman. Concevoir les interfaces utilisateurs : stratégies pour une interaction homme-machine efficace. Troisième édition, Reading MA, Addison Wesley, 1998.
- [Grammenos et al., 99]** D. Grammenos, D. Akoumianakis, C. Stephanidi. Support intégré pour travailler avec des lignes directrices : le système de gestion des lignes directrices. *Interagir avec les ordinateurs*, 12, 2, 1999, pp. 281-311.
- [Bastien, 96]** J.M.C. Bastien. Les critères ergonomiques : un pas vers une aide méthodologique à l'évaluation des systèmes interactifs. Thèse de doctorat d'ergonomie cognitive, Paris, France, 1996.
- [Reed et al., 99]** P. Reed, K. Holdaway, S. Isensee, E. Buie, J. Fox, J. Williams et A. Lund. Directives et normes d'interface utilisateur : progrès, enjeux et perspectives, *Interacting With Computers*, 12, 2, 1999, pp. 119-142.
- [Vanderdonckt, 00]** J. Vanderdonckt. A small Knowledge-Based System for select interaction styles, *Proceedings of international workshop on Tools for Working with Guidelines*, TFWWG-2000, Biarritz, 7-8 octobre 2000, Springer-verlag, Londres, pp. 247-262, 2000.

[IWC, 99] Interagir avec les ordinateurs. Numéro spécial, Volume 12, 2, 1999

[IWC, 00] Interagir avec les ordinateurs. Numéro spécial, tome 12, 3, 2000, 2000.

[Kolski et al., 91] C. Kolski et P. Millot. Une approche à base de règles pour l'évaluation ergonomique de l'interface graphique homme-machine. International Journal of Man-Machine Studies, 35, pp. 657-674, 1991.

[Kolski et al., 96] C. Kolski et F. Moussa. Deux exemples d'outils pour travailler avec des directives pour le domaine du contrôle de processus : Synop et ERGO-CONCEPTOR. Third Annual Meeting of the International Special Interest Group on « Tools for working with guidelines », J. Vanderdonckt (Ed.), Namur, Belgique, 4 juin 1996.

[Moussa, 00] F. Moussa. Exemple de développement d'un outil d'ingénierie pour la conception d'interface : ERGO-CONCEPTOR, dans Ingénierie des interfaces homme-machine : conception et évaluation. C. Kolski. Hermès, 2ième édition 2000. Chapitre 13, pp. 289-335.

[Moussa, 92] F. Moussa. Contribution à la conception ergonomique des interfaces de supervision dans les procédés industriels, application au système ERGO-CONCEPTOR. Thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 1992.

[Boehm, 88] B.W. Boehm. Un modèle en spirale de développement et d'amélioration de logiciels. Ordinateur mai 1988.

[McDermid et al., 84] J. McDermid, K. Ripkin. Support du cycle de vie dans l'environnement ADA, University Press Cambridge, 1984.

[Kolski et al., 01] C. Kolski, H. Ezzedine, M. Abed. Développement du logiciel : des cycles classiques aux cycles enrichis sous l'angle de l'IHM. In C. Kolski (Ed.), Analyse et

- conception de l'IHM : Interaction Homme-Machine pour les SI 1, Editions Hermès, Paris, 2001.
- [Long et al., 90]** J.B. Long, I. Denley. Évaluation pour la pratique. Tutoriel, conférence annuelle de la société d'ergonomie, 1990.
- [Hartson et al., 89]** H.R. Hartson, D. Hix. Développement d'interface homme-machine : concepts et systèmes pour sa gestion. ACM : enquêtes informatiques, vol 21, numéro 1. p. 5-92, 1989.
- [Kolski, 97]** C. Kolski. Interfaces homme-machine, application aux systèmes industriels complexes. Editions Hermès, Paris, 1997.
- [Palanque, 97]** P. Palanque. Spécifications formelles et systèmes interactifs : vers des systèmes basés et utilisables. Habilitation à diriger des recherches, Université de Toulouse I, 1997.
- [Palanque et al., 97]** P. Palanque et F. Paterno (Eds.). Méthodes formelles dans l'interaction homme-machine, Springer Verlag, 1997.
- [De Rosis et al., 98]** P. De Rosis. Description formelle et évaluation des interfaces adaptées à l'utilisateur. Int. Journal of Human-Computer Studies, vol. 49, 1998, p. 95-120.
- [Card et al., 83]** S.K. Carte, T.P. Moran et A. Newell. La psychologie de l'interaction homme-machine. Hillsdale, New Jersey. Erlbaum, 1983.
- [Tabary, 00]** D. Tarby. L'approche orientée objet et les réseaux de Petri pour la spécification formelle des tâches. RJCIIHM, 2000.
- [Ait-Ameur et al., 98]** Y. Ait-Ameur, P. Girard et F. Jambon. Une approche uniforme pour la spécification et la conception de systèmes interactifs : la méthode B. Actes DSV-IS'98, Coesner's House, Abingdon, Royaume-Uni, 3-5 juin 1998, pp. 333-352.

- [**Spivey, 89**] J.M. Spivey. La notation Z : un manuel de référence, Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, 1989.
- [**Björner, 87**] D. Björner. VDM : une méthode formelle au travail. En Proc. Symposium VDM Europe'87, Springer-Verlag, 1987.
- [**Gamboa-Rodriguez, 98**] F.Gamboa Rodriguez. Spécification et implémentation d'ALACIE : atelier logiciel d'aide à la conception d'interfaces ergonomiques, thèse en informatique, Université Paris sud XI, octobre 1998.
- [**Gamboa-Rodriguez et al., 97**] F. Gamboa-Rodriguez et D. L. Scapin. Modification des descriptions de tâches MAD* pour la spécification des interfaces utilisateur, tant au niveau sémantique qu'au niveau de la présentation. Dans Actes DSV-IS '97, 4e Atelier Eurographique International sur la Conception, la Spécification et la Vérification des Systèmes Interactifs (Grenade, Espagne, 4-6 juin 1997).
- [**Bodart et al., 95**] F. Bodart, A. Hennebert, J.M. LeHeureux, I. Provot, J. Vanderdonckt et G. Zuchinetti. Activités clés pour développer une méthodologie d'applications interactives. Chapitre 4 dans Problèmes critiques dans l'ingénierie des systèmes d'interface utilisateur. D. Benyon et Ph. Palanque (Eds), Springer-Verlag, 1995.
- [**Moussa, 92**] F. Moussa. Contribution à la conception ergonomique des interfaces de supervision dans les procédés industriels, application au système ERGO-CONCEPTOR. Thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 1992.