

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :

N° de série :

Faculté des Sciences et Technologie

Département des Sciences et Technologie

Projet de fin d'étude présenté en vue de l'obtention du diplôme de

LICENCE

Domaine : Science et Technologie

Filière : Génie électrique

Spécialité : Maintenance en instrumentation industrielle

THEME:

Instrumentation médicale

Presenter par:

DOUDOU Brahim

Jury:

M^r: TOUAFEK Khaled.

Maître-Assistant A UNIV. Ghardaïa

Encadreur

M^r: BENCHAAABANE Achour

Maitre-Assistant A UNIV. Ghardaïa

Examineur

ANNEE UNIVERSITAIRE: 2014/2015.

Remerciements

Je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage et la volonté et d'avoir exaucé mon vœu de réaliser ce projet de fin d'études.

Je remercie énormément Monsieur TOUAFEK Khaled d'avoir accepté de m'encadrer et je lui suis très reconnaissant pour ces précieuses aides pendant les moments difficiles de ma recherche.

Je remercie aussi mon oncle Doudou BAKIRE qui m'a permis d'apprendre les livres et de recherche sur Web pendant mon préparation de mémoire à la bibliothèque de KHECHARE BALHAJE.

Ainsi, je tiens à remercier :

Mr S. Mohamed et h. Karim pour leurs encouragements et aides.

Je tiens énormément à remercier mes amis et camarades de promotion : 3^{ème} année génie électrique pour leurs encouragements et leurs aides,

Sans oublier ma mère Saliha et mon père Mohamed, et mes collages : ZAKIE, Brahim, Samir, Abdallah et tous les sportifs du club ELWIHDA-BONOURA pour les précieux moments qu'on a passé.

Enfin, je voudrais dédies cette thèse a toute personne ayant participé de loin ou de prés a la réalisation de ce travail.

Liste des figures

• **Chapitre I :**

1. Figure 4.1 : Schéma bloc d'un système d'instrument de mesure.
2. Figure 4.2: Schéma bloc d'un système de capture.
3. Figure 4.3 : le schéma bloc d'un système de mesure.
4. Figure 4.4:le rôle de filtre sur un signal.
5. Figure 5.1 : montage à Amplificateur opérationnel (idéal).
6. Figure 5.2 : origine de la tension de mode commun.
7. Figure 6.1 : phases de traitement de l'information.
8. Figure 6.2 : schéma représente le principe de la chaîne d'acquisition.
9. Figure 6.3 : étendue de mesure d'un capteur.

• **Chapitre III :**

10. Figure 3.1 : La radiographie.
11. Figure 3.2 : Image d'un scanner.
12. Figure 3.3 : La troisième génération de scanner.
13. Figure 3.4: Le tube et les détecteurs tournent autour du patient.
14. Figure 3.5 : Principe du détecteur solide.
15. Figure 4.1: L'échelle de Hounsfield.
16. Figure 5.1 : Synoptique de la chaîne d'acquisition d'un ECG-HR. C.A.N.:
convertisseur Analogique/numérique.
17. Figure 5.2 : diagramme d'un électrocardiogramme.
18. Figure 5.3 : Tracé d'un électrocardiogramme.
19. Figure 5.4 : Image d'électroencéphalographie EEG.
20. Figure 5.5 : Exemple de Mesure de l'électrocardiogramme (ECG).
21. Figure 6.1: Exemple d'une salle d'opération moderne intégrant toutes les nécessités et
les spécificités de la Celio chirurgie.
22. Figure 6.2: Colonne de cœlioscopie (1-7) et générateur pour l'électrochirurgie (8).
23. Figure 7.1 : exemple d'un Échographie.
24. Figure 8.1: L'endoscope à commande vocale AESOP.
25. Figure 8.2 : le système d'un robot ORTODOC.
26. Figure 9.1: Le système chirurgical DA VINCI.
27. Figure 9.2: Un robot chirurgical révolutionnaire.

- 28. Figure 9.3: un robot de Moselle aux HP Metz
- 29. Figure 9.4 : Le robot Neuro mate.

Liste des tableaux

Tableau 1 : l'instrumentation de la chirurgie générale.

Tableau 2 : l'instrument médical de laboratoire.

Tableau des matières

• <u>Introduction</u> :.....	5
• <u>Chapitre I</u> : généralités sur l'instrumentation électrique	
1. Introduction :.....	7
2. L'Instrument électrique :.....	7
3. Généralités d'Instrumentation électrique :.....	7
4. Le système d'instrumentation de mesure :.....	9
4.1. L'instrument de mesure :.....	9
4.2. le capteur :.....	9
4.3. Conditionnement et électronique de mesure :.....	10
4.4. Le signal :.....	11
4.4.1. Signal et bruit :.....	11
4.5. Traitement des signaux :.....	11
4.5.1. Filtrage :.....	11
5. Amplificateur d'instrumentation :.....	12
5.1. Montage à Amplificateur opérationnel (idéal) :.....	12
5.1.1. Importance de la réjection de mode commun :.....	12
6. Structure d'une chaîne d'acquisition :.....	13
6.1. Paramètres de dimensionnement d'une chaîne d'acquisition :.....	13
6.2. Etendue de mesure :.....	14
6.3. Précision :.....	14
6.4. Sensibilité :.....	15
6.4.1. La sensibilité d'un capteur :.....	15
6.5. Hystérésis :.....	15
6.6. Grandeurs d'influences :.....	15
• <u>Chapitre II</u> : médecine et électronique (L'instrumentation médicale : passé, présent et futur)	
1. Historique :.....	16
2. La lente introduction de la mesure en médecine :.....	17
3. La révolution micro-électrique :.....	18
3.1. La réalisation de capteurs à semi-conducteurs :.....	19
3.2. La réalisation des microprocesseurs :.....	19
4. Technologie médicale, art ou palliatif :.....	20
5. Systèmes d'aide à la décision :.....	21
6. Les environnements virtuels :.....	21
7. Evaluation :.....	22

- **Chapitre III : Instrumentation médicale**
- 1. Introduction :..... 23
- 2. Le Dispositif médical :..... 23
- 3. La radiographie et le scanner :..... 23
 - 3.1. Principe général :..... 24
 - 3.2. Les différentes générations de scanner :..... 24
 - 3.3. Formation de l'image :..... 25
 - 3.3.1. Détecteurs solides :.....25
- 4. L'imagerie médicale 26
 - 4.1. Principe de fonctionnement :..... 26
- 5. Électrocardiographie :..... 27
 - 5.1. Principe de fonctionnement :..... 27
 - 5.2. Appareillage :..... 27
 - 5.2.1. Chaîne d'acquisition de l'ECG par Micro-ordinateur:..... 27
 - 5.2.2. Electronique associée :..... 28
 - 5.3. Utilisation médicale :..... 29
 - 5.3.1. L'appareil de L'électroencéphalographie EEG :..... 29
- 6. Salle d'opération :..... 30
- 7. Échographie :..... 31
 - 7.1. L'échographie Doppler : 31
 - 7.2. Doppler :..... 31
- 8. Les robots « médico-chirurgicaux » :..... 32
 - 8.1. L'endoscope à commande vocale..... 32
 - 8.2. Robot pour la chirurgie orthopédique :..... 33
- 9. Les robots dédiés à la chirurgie Mini Invasive :..... 33
 - 9.1. Le robot chirurgical DA VINCI 33
 - 9.2. Un robot chirurgical révolutionnaire :..... 34
 - 9.3. Le 1^{er} robot chirurgical de Moselle aux HP Metz 35
 - 9.4. Le robot Neuro mate :..... 36
- 10. Ensemble d'instruments :..... 38
- **Conclusion** :..... 39
- **Bibliographique** : 41

Introduction

Nous présentons dans ce mémoire les travaux réalisés au cours de cette dernière année pour l'obtention du diplôme de la licence en spécialité de Maintenance en l'instrumentation industrielle; Cette courte introduction expose la démarche générale que nous avons suivie, qui sous-tend l'organisation de ce document.

Le point de départ de ces travaux est un problème pratique récurrent dans le domaine d'activité médical pour lesquels le traitement de l'information et l'utilisation de l'instrument électrique occupe une large place. Donc, tandis que ces domaines connaissent des avancées techniques importantes, le développement des moyens que celles-ci mettent en œuvre des médecines gérées leurs technologies dans le domaine médical.

Le domaine de l'acquisition de donnée et le traitement des signaux physiologiques est prendre une large place dans le domaine médical sur toutes les spécialités. Tout d'abord la grande quantité et la variété des signaux physiologiques nécessitent d'être gérées de manière efficace. Ensuite, l'information que ces signaux contiennent, très riche doit être traitée et analysée et synthétisée en des termes accessibles et exploitables par des médecins en routine.

Enfin, les techniques d'acquisition et de visualisation des signaux s'améliorant, le potentiel d'obtention d'éléments diagnostiques croît et doit donc être exploitable au mieux par les médecins chercheurs.

Bien que les médecins concernés soient demandeurs de ces nouvelles techniques d'analyse, l'investissement qui leur est demandé pour savoir les manipuler est tel qu'ils se contentent bien souvent de méthodes triviales, faciles à appréhender et dont ils maîtrisent les résultats.

Notre travail s'est basé sur l'instrumentation médical est marché avec une source d'énergie électrique et l'acquisition des donnée et le traitement des signaux, par exemple le nouvellement acquise par le laboratoire d'automatique, Elle permet à la fois l'acquisition ou la restitution de signaux analogiques ou digitaux et le contrôle ou la commande des robots d'opération médical, et nous nous sommes attachés et à savoir l'acquisition et le traitement de signaux physiologiques. D'après l'utiliserons le logiciel SIMULINK de MATLAB et les différents compilateurs C appropriés pouvoir associer quelques notions de filtrage numérique.

Notre mémoire composé de trois chapitre ; Dans le premier chapitre nous présentons les généralités sur l'instrumente électrique avec ces composent, le système de capteur et le traitement des signaux et l'importance de l'amplification et du filtrage des signaux et la Structure générale des chaînes d'acquisition.

Dans le deuxième chapitre nous parlons a l'histoire de médecine et électronique, et on a détail le développement de L'instrumentation médicale en passé en présent et en futur.

Le troisième chapitre nous présentons les principales fonctions de quelque instrument électrique médical comme le scanner et l'IRM..., avec la structure électrique de l'appareil de mesure et de diagnostic. Les robots d'opération chirurgie et quelque instrument de laboratoire médicale.

Chapitre I : généralités sur l'instrumentation électrique.

1. Introduction :

L'instrumentation est l'ensemble des appareils de mesure de certains paramètres physiques et le contrôle sont lentement évolués au fil des ans, l'industrie a trouvé une nécessité pour les mesures de meilleure qualité, plus précise et plus cohérente pour les processus de resserrement contrôlé. La première impulsion réelle à développer de nouveaux instruments et systèmes de contrôle a avec la révolution industrielle, et les Guerres Mondiales I et II sont ajoutés aux impulsions de commande de processus. Un asservissement est apparu le développement du gouverneur volley-ball pour le contrôle du moteur à vapeur, et le concept de proportionnalité, le contrôle dérivé et intégral au cours de la Première Guerre mondiale Seconde Guerre mondiale a vu le début de la révolution dans l'industrie de l'électronique, qui a à peu près la révolution de tout le reste. Le processus de contrôle industriel est aujourd'hui très raffiné avec les contrôles informatisé, automatisation, et la précision des capteurs à semi-conducteurs [1].

2. L'Instrument électrique:

Est le nom de tous différents types d'appareils pour indiquer ou mesurer des grandeurs ou des conditions physiques, la performance, la position, la direction et ainsi de suite.

En sciences, l'instrumentation est une technique de mise en œuvre d'instruments de mesure, d'actionneurs, de capteurs, de régulateurs, en vue de créer un système d'acquisition de données ou de commande.

3. Généralités sur l'instrumentation électrique :

Précision absolue d'un instrument : est l'écart (déviation) de la vraie expression comme nombre.

Précision d'un instrument ou d'un appareil : est la différence entre la valeur indiquée et la valeur réelle.

Actionneurs : sont des dispositifs qui contrôlent la réponse d'une variable d'entrée à un signal à partir d'un contrôleur.

Automatisation : est un système où la plupart des processus de production, d'organisation et d'inspection des matériaux sont effectuées automatiquement par des équipements des tests spécialisés, sans intervention de l'opérateur.

Variable contrôlée ou mesurée : est la grandeur de sortie contrôlée par un Processus, où la valeur du paramètre de sortie est normalement maintenue contrôlée dans les limites indiquées serrés.

Contrôleurs : sont des dispositifs qui contrôlent les signaux des capteurs et de garder le procédé à l'intérieur de limites spécifiées par l'activation et le contrôle des actionneurs nécessaires, selon un programme prédéfini.

Convertisseurs : sont des dispositifs qui modifient le format d'un signal sans modifier la forme d'énergie (par exemple, à partir d'une tension à un signal de courant).

Signal de correction : est le signal qui commande l'alimentation de l'actionneur pour régler le niveau de la grandeur d'entrée.

Dérive : est la variation de la lecture d'un instrument d'une grandeur fixe, ayant temps.

Signal d'erreur : est la différence entre la valeur de consigne et l'amplitude de la grandeur de mesure.

Boucle de rétroaction : est le trajet de signal de la sortie vers l'entrée, qui est utilisé pour corriger toute différence entre le niveau de sortie et le niveau de consigne.

Linéarité : est la mesure de la proportionnalité entre la valeur réelle d'une variable mesurée et la sortie de l'instrument sur son gamme de fonctionnement

Variable manipulée : est la variable d'entrée ou un paramètre de processus qui est modifiée par un signal de commande provenant du processeur à un actionneur.

Compenser (Offset) : la lecture de l'instrument à zéro entrée.

Gamme d'un instrument : sont les lectures minimales et maximales qu'il peut mesurer.

Précision de lecture : est la déviation par rapport à vrai valeur au point de la lecture est prises, et est exprimé en pourcentage.

Reproductibilité : est la capacité d'un instrument à répéter lire le même signal plusieurs fois et de donner le même résultat dans les mêmes conditions.

Résolution : est la plus petite variation d'une variable à laquelle l'instrument répondra.

Capteurs : sont des dispositifs qui permettent de détecter les variables physiques.

Point de consigne : est la valeur souhaitée du paramètre de sortie ou variable surveillée par un capteur; tout écart (déviation) par rapport à cette valeur génère un signal d'erreur.

Envergure d'un instrument : est sa gamme entre la valeur minimale et maximale de l'échelle.

Transducteurs : sont des dispositifs qui peuvent changer une forme d'énergie en une autre.

Transmetteurs : sont des dispositifs qui amplifient et prétraitent les signaux, de sorte qu'ils sont adaptés à la transmission sur des longues distances avec une perte minimale de zéro ou informations. [2]

La Rapidité : La chaîne d'acquisition est rapide quand elle est à même de suivre les évolutions de la grandeur d'entrée. On doit connaître la plage de variation de fréquence du mesurable.

4. Le système d'instrumentation de mesure :

Un système d'instrumentation de mesure comprend un ensemble d'éléments importants, tel que montré en Figure 4.1. La grandeur physique à mesurer (appelée mesurable) est une valeur analogique qui n'est généralement pas exploitable directement.

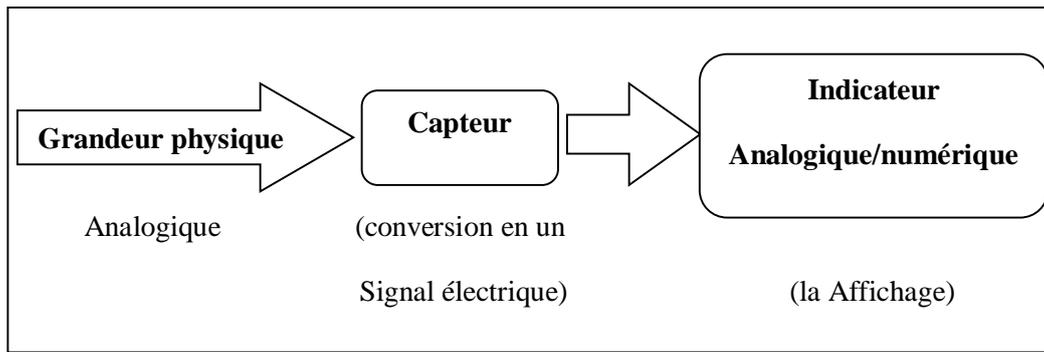


Figure 4.1 : Schéma bloc d'un système d'instrument de mesure.

4.1. L'instrument de mesure :

Un instrument de mesure est désigné généralement sous le nom de capteur, sert à transformer une grandeur physique à mesurer (mesurable) en un signal de mesure (réponse). Cette transformation se fait par l'utilisation de divers principes de la physique. Idéalement, il faudrait que la réponse de l'élément de mesure ne dépende que du mesurable. Malheureusement, en pratique, les grandeurs d'influence viennent perturber le fonctionnement du capteur et entraînent souvent des erreurs de mesure. Les principales grandeurs d'influence sont : la température, la pression, les vibrations, les chocs, le temps (vieillessement). L'acquisition de la grandeur physique est réalisée par un capteur qui traduit la grandeur à acquérir en une grandeur électrique $V(m)$. [3]

Celle-ci est ensuite traitée (amplification et filtrage) par une structure électronique adaptée afin de délivrer le signal $V(t)$. Puis, ce signal sera converti sous forme numérique, traité et exploité

4.2. le capteur :

Le capteur est caractérisé par sa fonction (dans la Figure 4.2), $s = \mathbf{F}(m)$ où s est la grandeur de sortie ou la réponse du capteur.

La mesure de (S) doit permettre, avec ou sans traitement, de « rendre accessible » la valeur de (m).

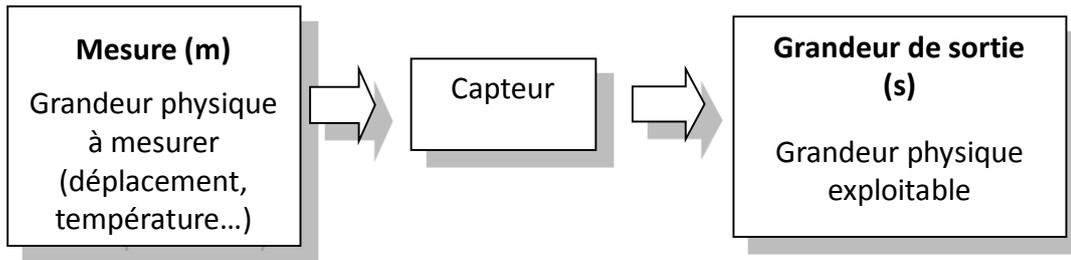


Figure 4.2: Schéma bloc d'un système de capture.

La mesure de (S) doit permettre, avec ou sans traitement, de rendre accessible la valeur de (m).

4.3. Conditionnement et électronique de mesure :

Les signaux électriques issus de capteurs (thermocouples, ponts, jauges de contrainte...) sont généralement de faible niveau. Il est donc nécessaire de les amplifier pour atteindre des valeurs compatibles avec les outils de mesure modernes (chaîne de mesure numérique).

La mesure du signal électrique doit se ramener à une tension continue, seule grandeur matériellement prise en compte, par sa fonction dans la Figure 4.3.

La mesure ne doit pas perturber le phénomène étudié (modification électrique, modification thermique...)

La mesure doit être significative, même en environnement perturbé (perturbations électriques, thermique, lumineuse, autre grandeur d'influence...). La technique de conditionnement peut participer au rejet des perturbations et grandeurs d'influence [4].

Les capteurs actifs fournissent un signal électrique par définition même.

Les grandeurs usuelles sont :

- tension généralement de millivolts.
- courant en μA ou mA.
- charge électrique.

La mesure est une conversion de la grandeur en tension sans perturbation du phénomène source Les capteurs passifs demandent une source d'excitation (continue ou alternative) pour mettre en évidence la propriété électrique (variation de résistance, de capacité, d'inductance.

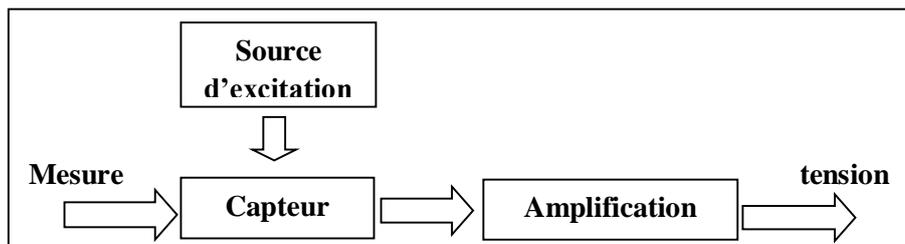
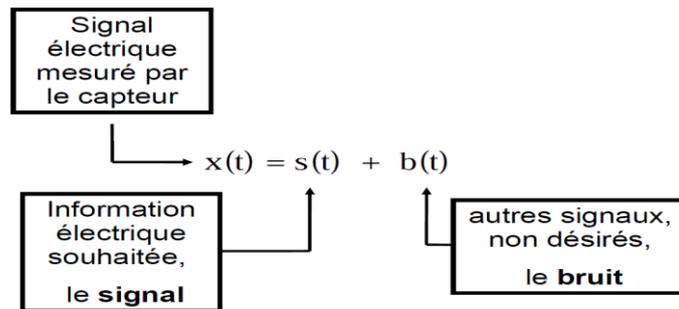


Figure 4.3 : le schéma bloc d'un système de mesure.

4.4. Le signal :

- Les signaux périodiques.
- Les Signaux non périodiques.

4.4.1. Signal et bruit :



Bruit = autres signaux physiologiques + parasites.

Parasites = installations électriques, appareillage voisin, ondes électromagnétiques.

4.5. Traitement des signaux :

4.5.1. Filtrage :

Les filtres permettent de "nettoyer" le signal d'un capteur en supprimant (complètement ou partiellement) le bruit qui y est superposé. Ce bruit peut provenir de différentes sources:

- Sensibilité du capteur à des signaux parasites
- Couplage avec d'autres signaux (interférences)
- Bruit inhérent aux fluctuations des composantes

Pour qu'un filtrage puisse améliorer le rapport signal sur bruit (SNR), le contenu fréquentiel du bruit doit être distinct de celui du signal d'intérêt. [5]

Exemple :

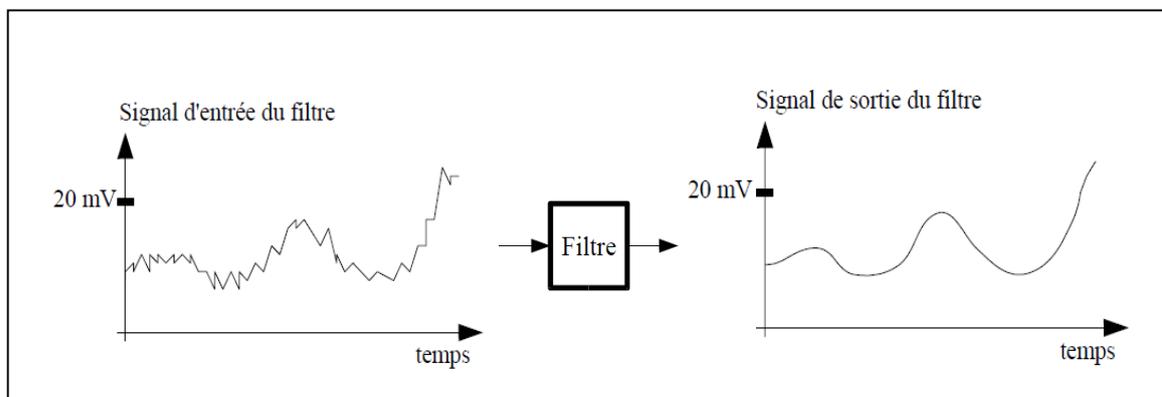


Figure 4.4:le rôle de filtre sur un signal. [6]

5. Amplificateur d'instrumentation :

L'amplificateur d'instrumentation est l'amplificateur différentiel idéal. Caractéristiques souhaitées :

- mesure de la différence de potentiel pour une forte étendue de mode commun.

$$V_s = A_{diff}(V^+ - V^-)$$

- impédance d'entrée infinie pour ne pas perturber le circuit à mesurer

- impédance de sortie nulle (pas d'affaiblissement du signal sous l'effet d'une charge de sortie)

- taux de réjection de mode commun infini (en valeur ou en dB)

- Gain différentiel réglable pour un moyen simple (choix d'une résistance, liaison numérique...)

La réalisation de l'amplificateur d'instrumentation est souvent basée sur un ou plusieurs amplificateurs opérationnels. [7]

5.1. Montage à Amplificateur opérationnel (idéal) :

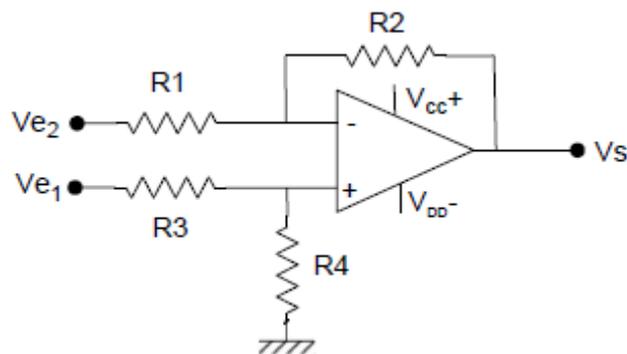


Figure 5.1 : montage à Amplificateur opérationnel (idéal).

Pour avoir le même gain sur les deux entrées, on choisit $R1=R3$ et $R2=R4$.

D'où :

$$V_s = \frac{R_2}{R_1}(V_{e1} - V_{e2})$$

5.1.1. Importance de la réjection de mode commun :

En milieu industriel c'est à dire dans un milieu parasité par des bruits électromagnétiques, une tension différente de celle délivrée par le capteur vient se superposer à celle délivrée par le capteur.

La tension qui se superpose peut avoir plusieurs origines (Figure 5.2):

- Quand les câbles de liaison entre le capteur et l'amplificateur sont placés à proximité d'un fil secteur un couplage capacitif génère cette tension supplémentaire à l'état (a).
- Quand le câble de liaison est sujet à des parasites d'origine magnétique à l'état (b).

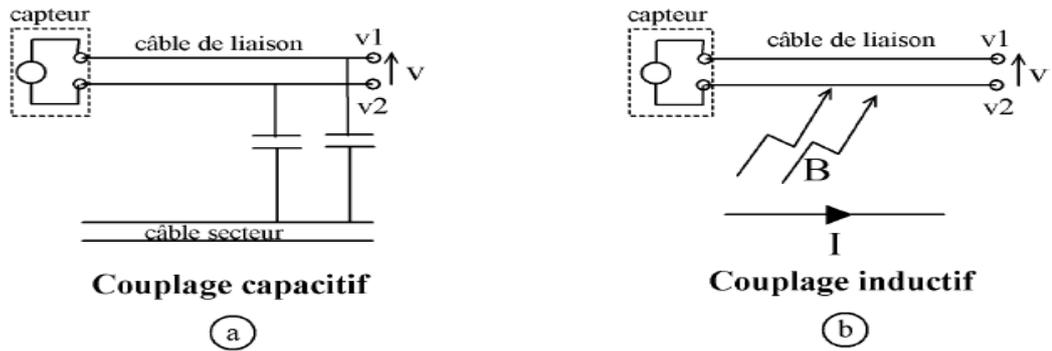


Figure 5.2 : origine de la tension de mode commun.

6. Structure d'une chaîne d'acquisition :

La suite des phases de traitement des signaux dans une chaîne d'acquisition suit le synoptique de la Figure 6.1. La chaîne d'acquisition de données convertie le signal analogique de sortie du capteur en signal numérique et après traitement du signal numérique délivre un signal analogique.

Le filtrage de sortie réduit les effets de modification du signal suite à la numérisation.

Le filtre analogique limite la bande passante du capteur et évite ainsi la détérioration du rapport signal à bruit.

L'étage d'échantillonnage et de maintien prélève un échantillon du signal et le maintient constant pendant la phase de conversion.

La conversion analogique numérique (CAN) traduit le signal analogique maintenu constant en grandeur numérique quantifiée sur n bits. Après traitement numérique, le signal est converti en analogique par un convertisseur numérique analogique (CNA).

Cette opération n'est pas obligatoire puisqu'il existe des actionneurs qui peuvent admettre un signal numérique.

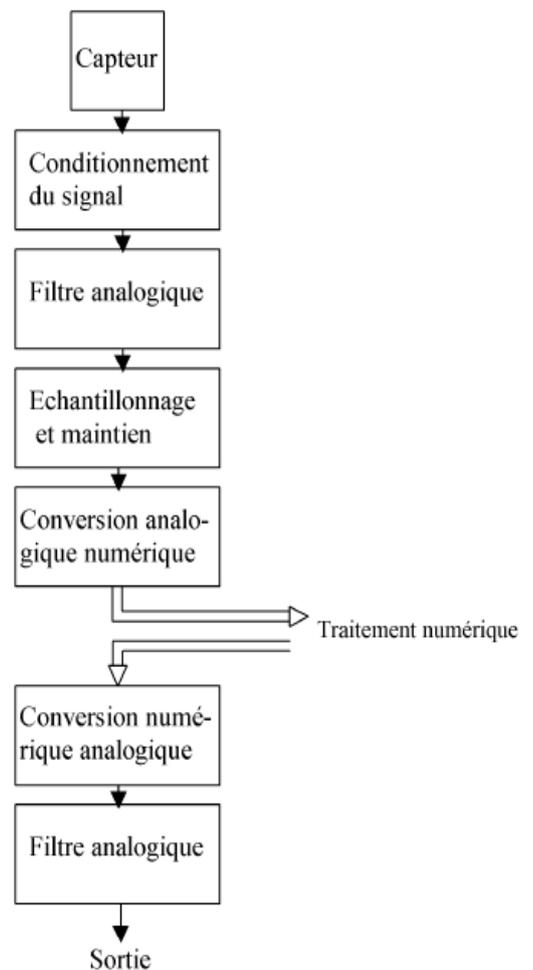


Figure 6.1 : phases de traitement de l'information.

6.1. Paramètres de dimensionnement d'une chaîne d'acquisition :

Nous rappelons les différentes caractéristiques nécessaires à prendre en compte lors de la conception de dispositifs d'instrumentation, à la figure 6.2.

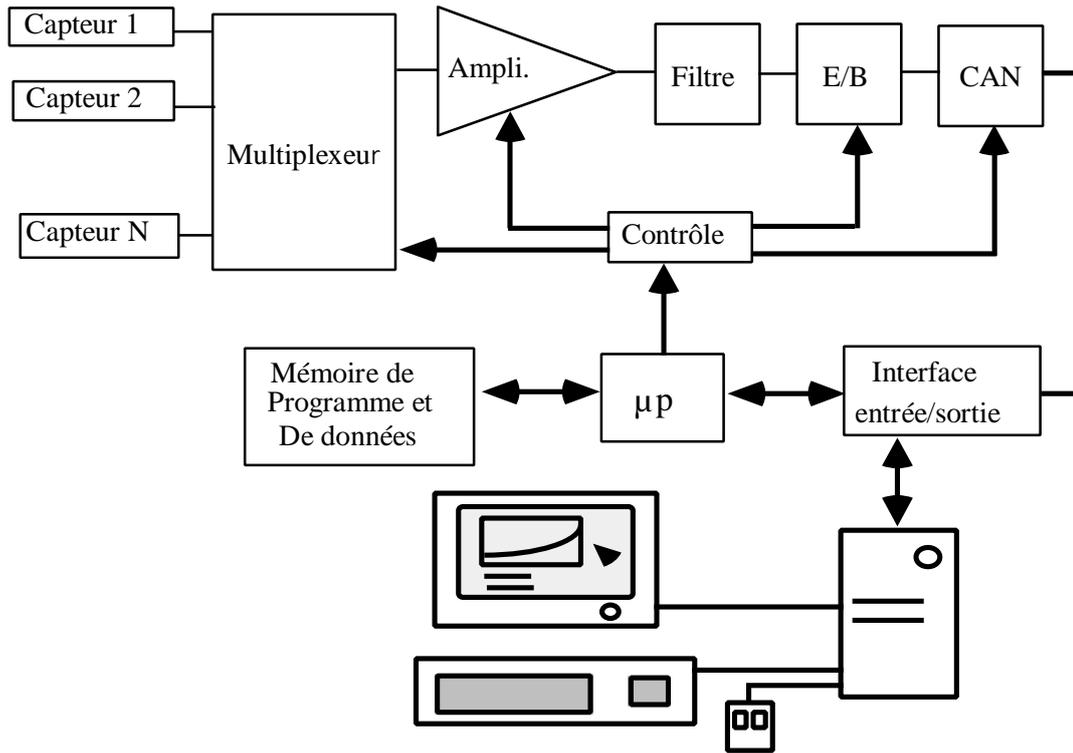


Figure 6.2 : schéma représente le principe de la chaîne d'acquisition. [8]

6.2. Etendue de mesure :

C'est la différence algébrique entre les valeurs extrêmes pouvant être prises par la grandeur à mesurer, pour laquelle les indications d'une capture ne doivent pas être entachées d'une erreur supérieure à la valeur maximale tolérée. La Figure 6.3 présente la caractéristique typique d'un capteur linéaire.

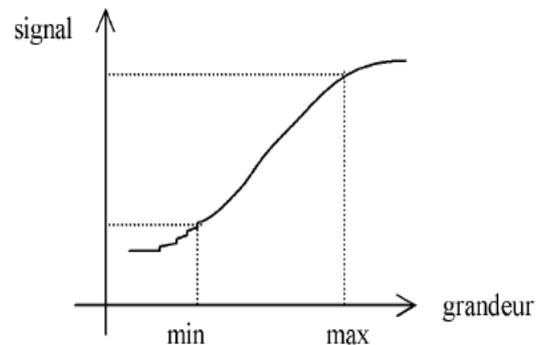


Figure 6.3 : étendue de mesure d'un capteur.

Cette caractéristique est donnée pour mesure mais elle doit être stable dans le temps et non affectée de dérives. La dérive exprime la lente variation du signal de sortie en fonction du temps

6.3. Grandeurs d'influences :

La relation $E=F(m)$ entre mesure et grandeur électrique n'est de cette forme que dans le cas idéal. En réalité, beaucoup d'éléments autres que la mesure peuvent modifier la grandeur E . La relation est de la forme : $E= F (m, g_1, g_2,)$ où les g_i sont les grandeurs d'influence.

6.4. Précision :

La Précision de la chaîne de mesure est d'autant meilleure que e est faible. La précision dépend de la précision variation d'offset et de gain en fonction de la température des capteurs et des amplificateurs.

L'erreur de précision est donnée par :

$$\varepsilon = \frac{\delta M}{M_{\max} - M_{\min}}$$

Avec : $M - \delta M \leq M \leq M + \delta M$

On désigne par résolution la plus petite variation de l'entrée se traduisant par un changement en sortie :

$$\text{résolution} = \frac{M_{\max} - M_{\min}}{\delta M}$$

6.5. Sensibilité :

La sensibilité s'exprime par le quotient de la variation de la grandeur de sortie à la variation correspondante de la grandeur mesurée

6.5.1. La sensibilité d'un capteur :

C'est la pente de la portion linéaire de la caractéristique. On peut généraliser la définition de la sensibilité statique aux portions de la caractéristique non linéaires par la dérivée instantanée. Dans ce cas, il faut préciser pour quelle valeur de la mesure on a calculé la sensibilité.

$$S(m) = \frac{\Delta E}{\Delta m} = \frac{dE}{dm}$$

6.6. Hystérésis :

La réversibilité caractérise l'aptitude d'un capteur à fournir la même indication lorsqu'on atteint une même valeur de la grandeur mesurée par variation croissante et continue ou par variation décroissante et continue de la grandeur. En cas de différences, on parle d'erreur d'hystérésis, qu'on exprime aussi en pourcentage de l'étendue de mesure. [9]

Par exemple : la variation de température sera un phénomène assez lent à comparer par l'acquisition d'une tension.

Chapitre II : médecine et électronique (L'instrumentation médicale : passé, présent et futur)

Les capteurs et les instruments permettent d'approcher la connaissance de la vie d'une façon qui serait impossible avec nos sens. Il reste cependant à comprendre ce que nous indiquent ces instruments de mesure.

1. Historique :

Au XVIII^e siècle le physicien genevois Jean Galvani, utilisant une machine électrostatique produisant des étincelles constate que l'électrisation en des points précis des différents muscles est capable de produire des contractions isolées de ces muscles. En 1748, il parvient à obtenir une amélioration notable en dirigeant l'arc électrique sur les muscles extenseurs de l'avant-bras, chez un patient ayant un bras paralysé ^[1], bien que le caractère durable de cette amélioration soit ensuite contesté par l'abbé Nollet. En août 1783, Jean-Paul Marat se voit décerner le prix de l'Académie de Rouen pour son Mémoire sur l'électricité médicale. Pour atténuer les douleurs produites chez ses patients par les décharges électriques administrées durant les séances (celles-ci pouvant durer jusqu'à trois heures), il a l'idée de distraire l'attention de ses malades en faisant intervenir un conteur [10].

Les procédures électriques à visée thérapeutique furent introduites pour la première fois en médecine moderne par Christian Bischoff (1781-1861), un professeur de pharmacologie à l'Université d'Iéna. Il les utilisa chez l'homme dans le traitement de certaines maladies neurologiques. Bischoff fut de 1818 jusqu'à sa mort professeur de pharmacologie et pharmacologiste d'État à Bonn. Il utilisa un dispositif électro thérapeutique composé d'électrodes en argent pour guérir l'« organe paralysé » d'une de ses patientes [11].

En 1855 Guillaume Duchenne (1806-1875), qui est souvent considéré comme le père de l'électrothérapie, constate la supériorité du courant alternatif sur le courant continu pour déclencher une contraction musculaire^[5]. Ce qu'il appelle l'« effet chauffant » du courant continu était irritant pour la peau et aux tensions nécessaires à l'obtention d'une contraction des muscles provoquaient l'apparition de vésicules (à l'anode) et d'ulcérations (à la cathode).

2. L'introduction de la mesure en médecine :

Il est bien difficile de préciser quel fut le premier instrument qui a influencé la médecine de façon déterminante. Dès la Renaissance, un mouvement de libération des idées préconçues fait que des médecins s'adonnent à l'observation scientifique du corps humain et à la compréhension de son fonctionnement. Ils sont mus par un esprit de recherche scientifique dans le but d'améliorer la thérapeutique. Cette ouverture d'esprit conduit des médecins à s'intéresser à des problèmes fondamentaux, et plus particulièrement à la physique. A titre d'exemple, l'anglais Gilbert (1544-1603), médecin de la reine Elisabeth puis du roi Jacques I, s'intéressa aux propriétés magnétiques des corps et fut le premier à introduire le mot électron dans son œuvre principale " De magnéto, magnéto cor oribus et de magnox magnéto tellure " en 1600.

Le point de départ d'une véritable méthode scientifique en médecine fut assurément l'introduction du concept de mesure. " Observer pour connaître, mesurer pour comprendre ", c'est ainsi que Galilée (1564-1642) résumait toute démarche scientifique. C'est par l'application de ce précepte que William Harvey, un contemporain de Galilée, put démontrer le mécanisme de la circulation sanguine. Observant par vivisection les mouvements du cœur chez plusieurs espèces animales, étudiant la disposition des vaisseaux sanguins, puis mesurant la fréquence cardiaque et (après immolation) le volume sanguin et le volume des cavités cardiaques, il put décrire le mécanisme circulatoire avec précision.

Les connaissances techniques acquises par les médecins, leurs relations avec des physiciens et des mathématiciens sont à la base de la création au XVIIe siècle de la physiologie. Cette nouvelle discipline veut expliquer le fonctionnement du corps humain. Sanctorius, Professeur à l'Université de Padoue, inventa un thermomètre médical et passa une partie de sa vie sur une balance pour mettre en évidence la sudation invisible.

L'usage des instruments de mesure présenta un nouvel intérêt au début du dix-neuvième siècle avec l'introduction des enregistreurs... ces instruments qui écrivaient leurs résultats avec " leurs propres langages ". Ces nouveaux langages, ces signes qui prenaient la place des langages traditionnels furent appelés graphes, courbes ou enregistrements. [12]

C'est à cette époque que Borelli, mathématicien, analysa la mécanique musculaire, que Descartes, Galilée et Newton s'intéressèrent à la vision. Mais, il y a plus de cent cinquante ans, le premier instrument à révolutionner l'environnement humain fut le microscope qui fut de plus en plus utilisé pour le diagnostic histologique et bactériologique quotidien. La lampe à fente pour l'examen de l'*œil*

a étendu les applications de cet appareil à l'ophtalmologie et la microchirurgie a accru encore son rôle déterminant dans la médecine moderne. L'invention de l'ophtalmoscope par Helmholtz en 1851 et la construction du miroir pour la vessie par NITZE en 1879, qui marqua le début de l'endoscopie en médecine clinique, sont sans doute les précurseurs de l'ère technologique de la médecine.

Deux nouvelles sciences, l'acoustique et la physiologie expérimentale, furent grandement aidées par des instruments qui pouvaient détecter et enregistrer des phénomènes au-delà des possibilités des sens humains. Edouard- Léon Scott de Martin ville fabriqua son " phono autographe, qui aidait les sons à s'écrire eux-mêmes dans l'air ". Etienne Jules Marey, un pionnier de la physiologie, appelait, au siècle dernier, ses graphes un nouveau langage universel pour décrire la physiologie. Il attira l'attention sur l'importance fondamentale d'utiliser les outils les plus récents de la physique et de la technologie pour étudier les phénomènes associés aux organismes vivants. Il écrit, en 1878, " Dans le domaine d'une expérimentation rigoureuse, toutes les sciences se donnent la main. Quel que soit l'objet de ses études, celui qui mesure une force ou un mouvement, un courant électrique ou une température, qu'il soit physicien, chimiste ou physiologiste, il a recourt à la même méthode et emploie le même instrument

Trois découvertes, au début de notre siècle, vont révolutionner la médecine :

- en 1895, Roentgen constata que les rayons X, ainsi nommés par ce qu'on ne connaissait rien à leur sujet, permettaient de voir à travers le corps.
- en 1896, Becquerel mettait en évidence la radioactivité, puis Pierre et Marie Curie isolaient le radium, donnant ainsi le départ aux espoirs de la radiothérapie.
- en 1902, l'utilisation du galvanomètre à fils pour l'enregistrement de l'activité électrique du cœur par Einthoven (1902) allait initier l'électrocardiographie, qui permet d'enrichir l'exploration cardiaque, d'une façon jusqu'alors inimaginable. L'enregistrement de l'activité cérébrale s'est fait attendre 20 ans. Berger, à Iéna, observa, à l'aide d'un galvanomètre à cadre, sur des malades présentant des troubles consécutifs à une trépanation des oscillations qui ne pouvaient être produites que par les courants du cerveau. L'incompréhension de ses collègues et des difficultés techniques dans la fabrication des amplificateurs s'opposèrent au développement de l'électroencéphalographie. Ce n'est qu'après la deuxième guerre mondiale que l'électroencéphalographie devint un examen pratiqué. [13]

3. La révolution micro-électrique :

Mais il fallut attendre les progrès considérables réalisés en technologie à l'occasion de l'envoi de l'homme sur la lune pour que, dans le domaine médical, les appareillages conçus pour capter,

enregistrer et analyser des signaux physiologiques dans le but de déterminer la pathologie d'un organe, se modifient et s'adaptent aux exigences d'une mesure sur l'homme. Un grand nombre de signaux physiologiques importants sont de nature électrique et leur captage nécessite de simples électrodes, mais l'acquisition de certains autres signaux physiologiques fait intervenir la transduction sous forme électrique de variables telles que la pression, le volume, la température, la concentration, etc.

Les circuits intégrés, par leur miniaturisation et leur faible consommation, ont permis l'élaboration de capteurs et de systèmes de mesure sophistiqués dont l'impact en médecine a été considérable et s'est matérialisé principalement dans 2 directions :

3.1. La réalisation de capteurs à semi-conducteurs :

La réalisation de capteurs à semi-conducteurs, sensibles aux forces, aux pressions, aux ions, ou émetteurs et récepteurs de lumière. Quand un signal physiologique est transformé en un signal électrique, il est possible d'en extraire le maximum d'informations en utilisant un traitement approprié et un mode de visualisation adapté. Le domaine de l'électronique est riche en appareillages capables de traiter ou de visualiser un signal, mais peu de capteurs, de transducteurs sont idéalement adaptés à la mesure des phénomènes physiologiques. Aucun programme à grande échelle n'a été lancé pour fournir aux chercheurs en Génie Biologique et Médical des capteurs dédiés : le plus souvent, ces capteurs sont adaptés du monde industriel ou fabriqués par l'expérimentateur. Heureusement, chaque phénomène physiologique a plusieurs propriétés permettant de le détecter et de nombreux principes de transduction existent. [14]

3.2. La réalisation des microprocesseurs :

La réalisation des microprocesseurs, circuits intégrés digitaux à grande échelle pilotés par un programme et auxquels sont associés des circuits mémoires, pour le stockage du programme et des données, et périphériques, pour la communication avec les capteurs et avec les utilisateurs. Le microprocesseur complète les dispositifs de monitoring existants : il permet de générer des alarmes plus fiables, moins abusées par les artefacts, plus sélectives et même prévisionnelles en déterminant les tendances d'évolution de l'état du malade. Le système peut éditer périodiquement ou sur demande un historique de la surveillance du malade, et les systèmes interactifs permettent en outre le dialogue avec l'équipe médicale en prenant en compte les résultats d'analyses biologiques et en enregistrant les doses des médicaments administrés.

Au cours des vingt dernières années, la micro-électronique a évolué suivant la loi de Moore, c'est-à-dire que tous les trois ans a émergé une nouvelle génération technologique permettant d'intégrer quatre fois plus de transistors sur une puce que la génération précédente.

Cette évolution exponentielle, qui a été permise par le développement de technologies de plus en plus fines, par l'amélioration continue des équipements de fabrication et par les progrès réalisés dans le domaine de la conception et du test, s'est traduite par un considérable accroissement de la puissance de calcul et de la capacité mémoire, aboutissant à une forte baisse de coût par fonction.

Les variables physiologiques peuvent être amplifiées, filtrées et mémorisées grâce à des circuits analogiques et digitaux capables de traiter les signaux issus des capteurs. Lorsque ces différentes fonctions sont réalisées sur le même substrat semi-conducteur, on parle de capteurs intelligents. [15]

4. Technologie médicale, art ou palliatif :

L'innovation en technologie médicale peut indiscutablement améliorer la qualité de la vie et diminuer la souffrance due à la maladie ou au handicap. Le vieillissement de la population et une demande pour des produits qui aident à améliorer la vie ou à la prolonger induisent une croissance du marché dans ces secteurs. Cependant, les réussites en Génie Biologique et Médical sont toujours accompagnées de problèmes, car la technologie en médecine est rarement considérée comme un art noble, mais le plus souvent comme un palliatif nécessaire. Le bon usage de la technologie est un phénomène si complexe qu'il n'est pas rare d'entendre les problèmes suivants :

- les efforts en recherche et développement ne sont pas dirigés vers les technologies les mieux adaptées,
- la planification pour l'introduction d'une technologie nouvelle sur une grande échelle est rarement faite correctement,
- les technologies utilisées ne sont pas assez sûres ou efficaces et ont un coût prohibitif compte tenu de leur utilisation,
- l'enveloppe globale des ressources étant limitée, l'emploi de la technologie n'est pas assez optimisé pour fournir le meilleur soin au plus grand nombre.

La technologie médicale est souvent critiquée, car considérée comme responsable de l'augmentation des coûts de la santé.

L'amélioration de la qualité des soins, la diminution de la durée d'hospitalisation, les progrès de la chirurgie endoscopique ou de la radiologie interventionnelle ne semblent pas suffisants pour convaincre les détracteurs qui considèrent que le prix à payer pour cette technologie est insupportable.

Des voies continueront à s'élever contre la technologie pas seulement du fait de son coût ou des problèmes mentionnés précédemment, mais parce qu'elle est considérée comme déshumanisante. Le désenchantement vis à vis de la technologie exprimé par Aldous Huxley dans " Brave New World " a été repris par des écrivains contemporains pour le transposer à la technologie de la médecine moderne.

Mais, il n'y a pas de raisons que ces développements soient considérés comme plus déshumanisants que les moyens actuels de transports, de communications ou de télécommunications, ni comparativement plus coûteux.

5. Systèmes d'aide à la décision :

Aucune décision médicale ni aucune conduite thérapeutique ne peut se faire sans un nombre suffisant de données fiables, mais pas nécessairement complet. L'interprétation des données fait partie de la boucle diagnostic-thérapie, dans laquelle les données, les décisions et les thérapies circulent.

Les systèmes d'aide à la décision sont nécessaires dans cette boucle, principalement dans des domaines où le flux d'informations est trop élevé pour être parfaitement intégré par l'utilisateur: les données doivent être réduites, transformées et présentées sous forme compréhensible. De tels systèmes sont particulièrement nécessaires en salle d'opération ou en soins intensifs. Actuellement, dans ces environnements, les systèmes d'aide à la décision s'introduisent très lentement et se limitent à réduire le nombre de fausses alarmes et à augmenter la fiabilité des données proposées à l'utilisateur. Demain, les données sur le fonctionnement d'un organe seront collectées en temps réel, traitées et stockées dans des microprocesseurs, puis présentées sous une forme telle que le médecin, l'anesthésiste ou l'infirmière pourront immédiatement surveiller les paramètres vitaux.

6. Les environnements virtuels :

Cette évolution pourrait conduire également aux environnements virtuels, qui sont des systèmes de simulation, dans lesquels l'utilisateur est en grande partie immergé dans l'environnement apparent d'une réalité virtuelle multidimensionnelle.

Les environnements virtuels permettent à l'homme d'interagir avec un système informatique en l'intégrant pleinement dans un univers synthétisé par ordinateur.

En principe, tous les sens de l'homme sont impliqués dans cette interaction. La médecine et les soins peuvent-ils bénéficier de ces environnements virtuels ? Certains le pensent et des applications sont actuellement envisagées en thérapie, chirurgie, réhabilitation, diagnostic, télémédecine et biomécanique. [16]

7. Evaluation :

En fait, de nombreuses technologies médicales peuvent avoir des conséquences qui vont au-delà des problèmes de sécurité, d'efficacité ou de coûts financiers. Par exemple, les techniques modernes de soins intensifs permettant de maintenir artificiellement la vie posent des problèmes éthiques, sociaux et légaux en donnant au personnel médical le pouvoir de garder en vie des gens qui autrement mourraient. L'évaluation des technologies, nécessaire pour identifier et mettre en évidence l'impact secondaire de l'introduction ou de l'emploi de nouvelles technologies, est coûteuse et difficile à mettre en œuvre. Peut-être en raison de ces difficultés, relativement peu de technologies médicales ont fait l'objet d'une évaluation complète et approfondie.

Chapitre III : Instrumentation médicale

1. Introduction :

Depuis toujours, l'homme rêvait de pouvoir visualiser l'intérieur du corps humain sans effraction. C'est chose faite en cardiologie avec les diverses techniques d'imagerie, comme l'échographie et plus récemment encore le scanner ou l'IRM. Les examens en cardiologie sont selon les cas, utiles pour le dépistage, le diagnostic et/ou la surveillance des maladies cardiovasculaires.

L'équipement médical est constitué de l'appareillage destiné à aider le diagnostic et le traitement de problèmes médicaux. Il est en général conçu selon des règles rigoureuses de sécurité.

Équipement de diagnostic : les appareils d'imagerie médicale servent à l'accompagnement du diagnostic. On y trouve les ultra-sons l'IRM, les tomodensitomètres et les appareils à rayons X.

2. Le Dispositif médical :

Un dispositif médical (DM) est tout instrument, appareil, équipement, matière ou autre article, utilisé seul ou en association, utilisé chez l'homme pour le diagnostic, prévention, traitement d'une maladie, d'une blessure ou d'un handicap, ou d'étude ou remplacement ou modification de l'anatomie ou d'un processus physiologique. [17]

Il est destiné par le fabricant à être utilisé chez l'homme à des fins médicales et dont l'action principale voulue n'est pas obtenue par des moyens pharmacologiques, immunologiques, métaboliques, mais dont la fonction peut être assistée par de tels moyens.

3. La radiographie et le scanner :

La radiographie(IRM) et le scanner utilisent les rayons X à des fins de diagnostic. Vous allez passer une radiographie ou un scanner. Ces deux examens utilisent les rayons X à des fins de diagnostic, pour visualiser les structures du corps humain.

Ces techniques d'imagerie apportent des informations différentes et sont choisies par le médecin en fonction de l'objectif diagnostique, Elles constituent un outil irremplaçable de la médecine moderne. Par exemple la figure 3.1 et figure 3.2.

Une radiographie ou un scanner doit dans tous les cas être demandé et justifié par un médecin après une consultation. Cette demande doit ensuite être validée par un radiologue, qui peut éventuellement la remplacer par un autre examen plus adapté et parfois moins irradiant. [18]



Figure 3.1 : La radiographie.



Figure 3.2 : Image d'un scanner.

- Comment fonctionne un scanner ?

3.1. Principe général :

Un CT Scan (Computer Tomographie Scanner) est un appareillage d'imagerie médicale utilisant la tomographie. Il permet de générer une image en trois dimensions à partir d'une série d'images en deux dimensions prises autour d'un seul axe de rotation.

3.2. Les différentes générations de scanner :

Plusieurs types d'assemblages mécaniques, aussi appelés générations de scanner, existent. Pour notre projet, nous avons choisi la troisième génération car celle-ci possède un excellent rapport facilité de construction sur temps d'acquisition des données. Figure 3.3 Celle-ci se base sur un mouvement de rotation des capteurs lumineux autour de l'objet. Les capteurs sont tous alignés dans le plan de la coupe (nom donné à une tranche 2D de l'objet 3D) et sont déplacés verticalement petit à petit pour prendre des mesures sur toute la hauteur de l'objet analysé.

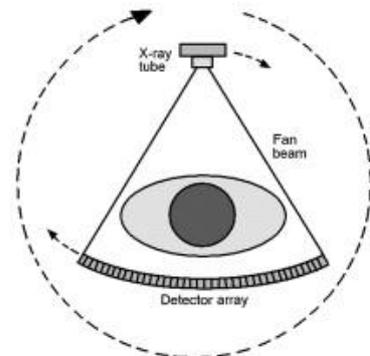


Figure 3.3 : La troisième génération de scanner.

Notre prototype doit être capable d'effectuer deux mouvements pour prendre des mesures: un mouvement de rotation de la figurine, et un mouvement d'élévation du dispositif de mesure.

3.3. Formation de l'image :

Le scanner est une chaîne radiologique avec un tube à rayons X et un ensemble de détecteurs disposés en couronne. Le principe repose sur la mesure de l'atténuation d'un faisceau de rayons X qui traverse un segment du corps. Le tube et les détecteurs tournent autour de l'objet à examiner. De multiples profils d'atténuation sont obtenus à des angles de rotation différents. Ils sont échantillonnés et numérisés (Figure 3.4). Les données sont rétro projetées sur une matrice de reconstruction puis transformées en image analogique. [19]

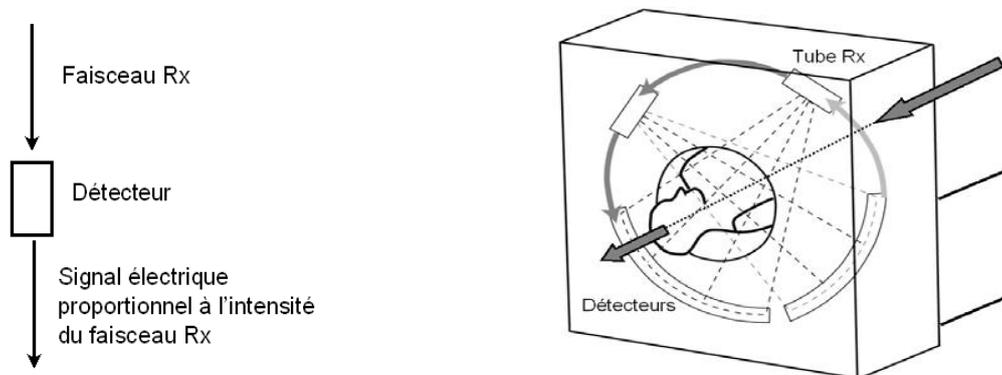


Figure 3.4: Le tube et les détecteurs tournent autour du patient. De multiples mesures d'atténuations sont effectuées selon différents angles de rotation du tube.

3.3.1. Détecteurs solides :

Le détecteur transforme les photons X en signal électrique. Ce signal est directement proportionnel à l'intensité du faisceau de rayons (Figure 3.5).

Le profil d'atténuation ou projection correspond à l'ensemble des signaux électriques fourni par la totalité des détecteurs pour un angle de rotation donné.

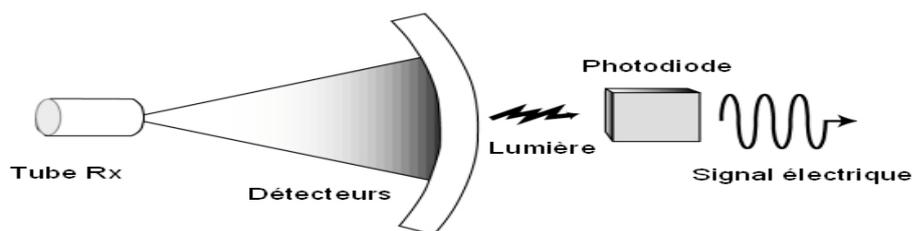


Figure 3.5 : Principe du détecteur solide.

4. L'imagerie médicale :

En radiologie, l'image est la visualisation ultime d'une série de traitements d'une information (signal) issue des phénomènes physiques (électromagnétisme, rayonnement, acoustique, ...) utilisés.

Il faut savoir que l'imagerie médicale fournit essentiellement des images monochromes. Cela simplifie relativement le problème du traitement mais induit une contrainte de précision supplémentaire liées à la large dynamique de niveaux de gris que les processus d'imagerie médicale modernes sont capables de générer. [20]

4.1. Principe de fonctionnement :

Les appareillages d'imagerie médicale autorisent quant à eux le codage de l'information sur une dynamique de 12 bits, soit 4096 (=2¹²) niveaux de gris. Ce choix est basé sur plusieurs considérations

- La sensibilité importante des différents capteurs utilisés.
- La possibilité d'accroître encore cette sensibilité
- La possibilité d'adapter le processus de visualisation sur une partie seulement de la Dynamique.

Le meilleur exemple (Figure 4.1), quant à ce dernier point, peut être illustré par l'échelle densitométrique de Hounsfield, un des pères de la radiologie. Cette échelle est composée de valeurs entières relatives comprises entre -1000 et +1000. A la valeur -1000 correspond le densitomètre nul de l'air. A la valeur 0 correspond le densitomètre moyen de l'eau. Enfin à la valeur +1000 correspond le densitomètre fort de structures anatomiques particulièrement denses tel l'os compact. Entre ces valeurs, on retrouve les densités de différents tissus musculaires, gras, ... Plusieurs conséquences peuvent alors apparaître :

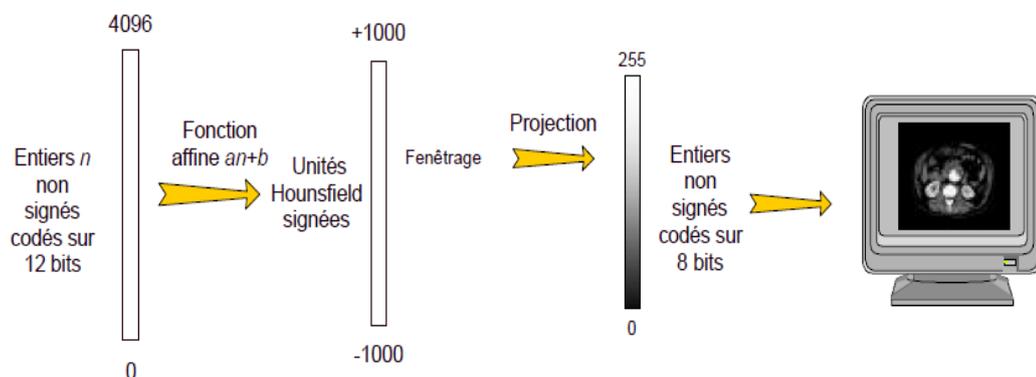


Figure 4.1: L'échelle de Hounsfield.

- La taille de cette échelle est de moitié inférieure à la plage de 12 bits utilisée classiquement. Qu'importe, de toutes façon elle ne tiendrait pas (ou à peine) sur 10 ou 11 bits.
- C'est une échelle relative. Il faut donc pouvoir passer (et gérer le passage) des valeurs entières non signées sur 12 bits aux valeurs entières relatives de l'échelle de Hounsfield.
- Cette dynamique est largement supérieure à la dynamique gérée par les écrans monochromes (8 bits) et encore plus à la dynamique propre de l'œil humain. [21]
- Des techniques de réduction de dynamique et/ou de fenêtrage peuvent être alors introduites.

Ces manipulations sont illustrées sur la figure 1 où l'on présente le processus de décodage et de visualisation d'une information tomодensitométrique 12 bits.

5. Électrocardiographie :

Depuis le premier appareil du début du siècle, l'électrocardiographe a évolué en adoptant au fur et à mesure les technologies d'actualité. Ainsi, le signal analogique entraînant une aiguille est devenue numérique, exploité par logiciel, et transmis sur papier par l'intermédiaire d'une imprimante.

5.1. Principe de fonctionnement :

L'électrocardiographie (ECG) consiste à recueillir les variations du potentiel électrique, à les amplifier puis les enregistrer. Les signaux captés étant particulièrement faibles, des amplificateurs de hautes performances (gain, linéarité, différentiel, minimum de bruit de fond) sont souvent nécessaires.

5.2. Appareillage :

Actuellement, il existe des électrocardiographes modernes très sophistiqués. Ils se présentent sous la forme d'appareils compacts intégrant de nombreuses fonctions. En effet, ces appareils comportaient un écran à cristaux liquides, une dizaine de dérivations*, une imprimante, un logiciel d'exploitation des résultats, et une possibilité de stocker les enregistrements sur disque dur et disquette, ou de les transmettre sur une ligne téléphonique et pouvaient aussi contrôler une épreuve d'effort. [22]

5.2.1. Chaîne d'acquisition de l'ECG par Micro-ordinateur:

Le positionnement des électrodes d'acquisition de l'ECG-HR a évolué en même temps que les capacités et les limitations des outils de traitement (Figure 5.1).

Actuellement, le système de dérivations recommandées, quoiqu'empirique, relève d'un consensus international préconisant l'utilisation de trois dérivations pseudo-orthogonales positionnées selon le schéma présenté dans la figure suivante :

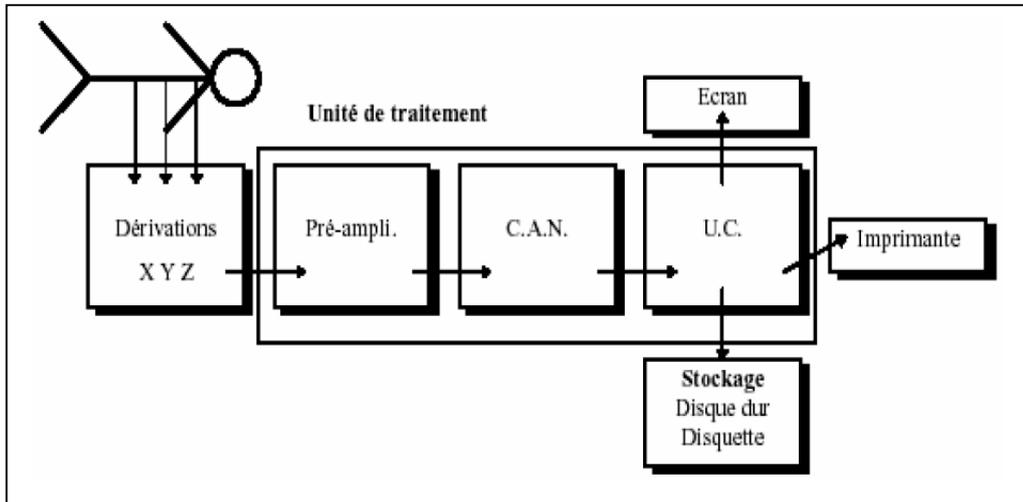


Figure 5.1 : Synoptique de la chaîne d'acquisition d'un ECG-HR. C.A.N.: convertisseur Analogique/numérique [23].

5.2.2. Electronique associée :

Sur les appareils modernes, chaque électrode est connectée à un tampon (buffer) à haute impédance d'entrée (typiquement 100 MW). Le tampon supporte des hautes tensions, pour protéger les amplificateurs en cas d'électrochoc, envoyé par un défibrillateur* par exemple. Ces tampons, ou au moins tout l'étage d'entrée, sont alimentés par une alimentation isolée et stabilisée, dans le but de réduire les risques de chocs électriques. On trouve parfois une batterie pour cet usage. La figure 5.2 est un diagramme d'un électrocardiogramme simple, regroupant 4 dérivations :

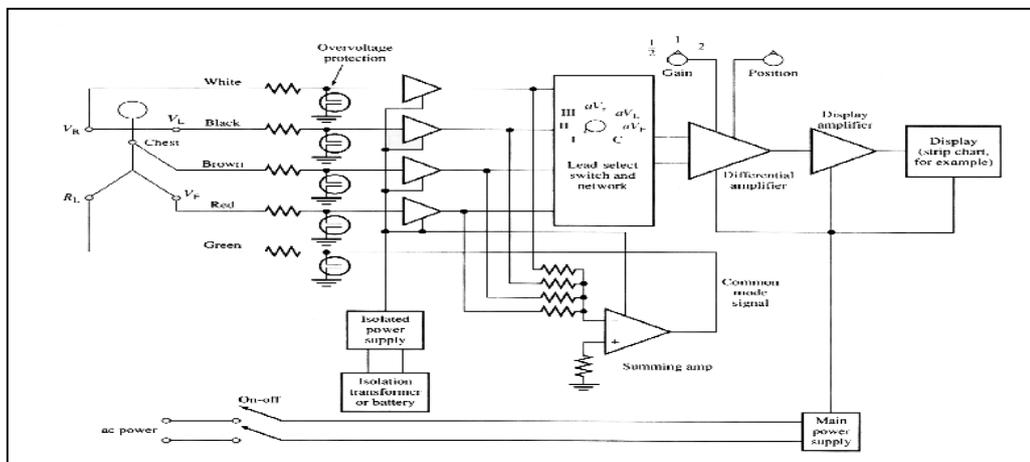


Figure 5.2 : diagramme d'un électrocardiogramme.

Sur le schéma ci-dessus, il est possible de choisir une dérivation particulière, grâce au 'Léda-select Switch and Network'. Il est à noter que la plupart des appareils actuels travaillent sur au moins dix voies en même temps. [24]

Le signal de mode commun peut être utilisé pour réduire le bruit de mode commun par l'intermédiaire d'une rétroaction agissant sur la jambe droite du patient

5.3. Utilisation médicale :

Les renseignements écrits fournis par l'électro cardiogramme sont de ce type (Figure 5.3):

P = onde auriculaire.

QRS = onde ventriculaire rapide ou de dépolarisation.

Q = première onde négative.

R première onde positive.

S = première onde négative suivant une onde positive.

PR = temps de conduction auriculo-ventriculaire.

ST-T = onde ventriculaire lente ou de repolarisation.

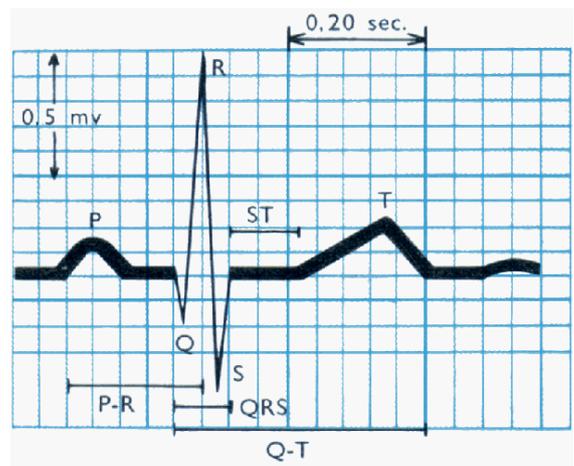


Figure 5.3 : Tracé d'un électrocardiogramme.

5.3.1. L'appareil de L'électroencéphalographie EEG :

L'électroencéphalographie (EEG) est une méthode d'exploration cérébrale qui mesure l'activité électrique du cerveau par des électrodes placées sur le cuir chevelu souvent représentée sous la forme d'un tracé appelé électroencéphalogramme. Comparable à l'électrocardiogramme qui permet d'étudier le fonctionnement du cœur, l'EEG est un examen indolore et non-invasif qui renseigne sur l'activité neurophysiologique du cerveau au cours du temps et en particulier du cortex cérébral soit dans un but diagnostique en neurologie, soit dans la recherche en neurosciences cognitives. Le signal électrique à la base de l'EEG est la résultante de la sommation des potentiels d'action post-synaptiques synchrones issus d'un grand nombre de neurones. On parle aussi d'électroencéphalographie intracrânienne



Figure 5.4 : Image d'électroencéphalographie EEG.

(i EEG), sous-durale ou stéréotaxique(s EEG) pour désigner des mesures de l'activité électrique du cerveau effectuées à partir d'électrodes implantées sous la surface du crâne, soit à la surface soit en profondeur du tissu cérébral. [25]

Il vient ensuite une phase d'interprétation des tracés obtenus, très délicate, qui demande une connaissance précise de la médecine. L'électrocardiogramme est utilisé pour suivre les modifications de volume des cavités, les troubles du rythme et les affections coronariennes.

Il est parfois nécessaire de recourir à des épreuves d'effort (ECG d'effort), pour le rendre plus sensible (Figure 5.5). Parce que le cœur est un organe vital et que les maladies cardiaques sont fréquentes, l'électrocardiographe est un appareil très souvent utilisé.

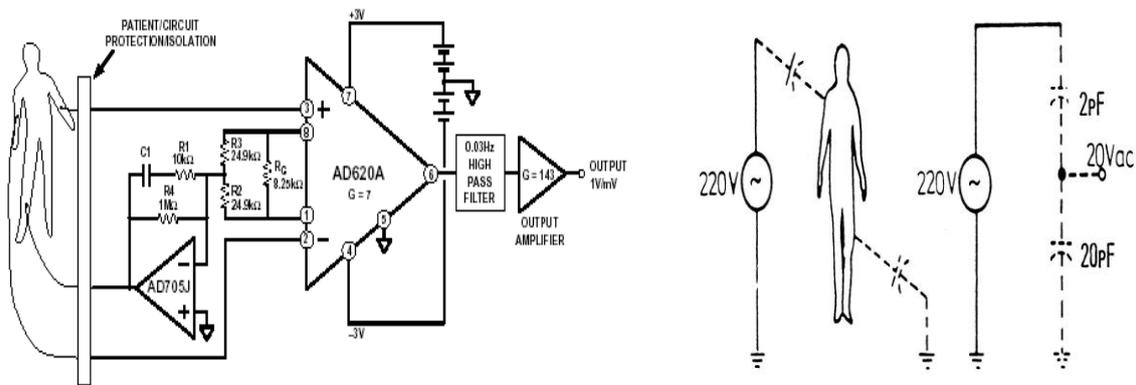


Figure 5.5 : Exemple de Mesure de l'électrocardiogramme (ECG). [26]

6. Salle d'opération :

La salle d'opération doit être vaste et claire (Figure 6.1). La taille de la salle est également importante pour deux raisons: l'apport d'un matériel supplémentaire et l'agrandissement des espaces opératoires.



Figure 6.1: Exemple d'une salle d'opération moderne intégrant toutes les nécessités et les spécificités de la Celio chirurgie. [27]

En effet, bien que les champs opératoires soient les mêmes que lors des techniques conventionnelles, les opérateurs occupent un espace plus large lors de leur placement et sont assez souvent amenés à se déplacer autour du patient (Figure 6.2).

- (1). Moniteur ;
- (2). insufflateur électronique ;
- (3). Source de lumière froide ;
- (4). pompe hydraulique électronique;
- (5). enregistreur vidéo numérique ;
- (6). écran pour la gestion des photos ;
- (7). Bouteille de dioxyde de carbone ;
- (8). générateur pour l'électrochirurgie.

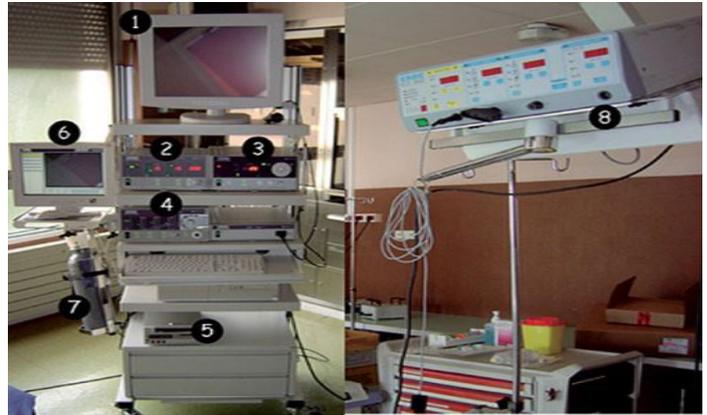


Figure 6.2: Colonne de cœlioscopie (1-7) et générateur pour l'électrochirurgie (8).

7. Échographie :

L'échographie est un Instrument médical de diagnostic (figure7.1), et une technique d'imagerie employant des ultrasons. Elle est utilisée de manière courante en médecine,

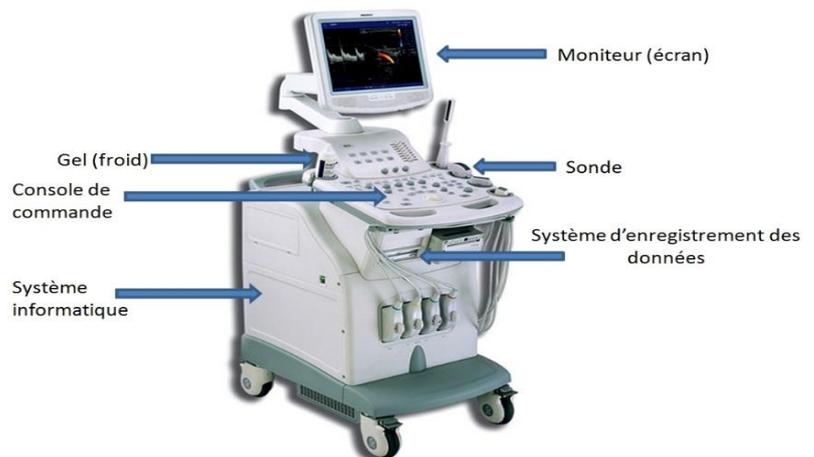


Figure 7.1 : exemple d'un Échographie.

7.1. L'échographie Doppler :

L'échographie Doppler est un examen médical échographique en deux dimensions non invasif qui permet d'explorer les flux sanguins intracardiaques et intravasculaires. Elle est basée sur un phénomène physique des ultrasons : l'effet Doppler. Elle est aussi appelée écho Doppler.

7.2. Doppler :

Le doppler est un examen médical qui permet d'étudier le débit sanguin, c'est-à-dire la vitesse et la direction du sang dans les artères et les veines.

Le doppler n'utilise pas des rayons X mais des ultra-sons, tout comme l'échographie, à laquelle il est très souvent associé. Le plus souvent, le doppler est en effet intégré dans l'appareil d'échographie :

On parle alors d'échographie doppler ou écho doppler. Pour étudier l'écoulement du sang dans un vaisseau, on applique une sonde émettant des ultra-sons sur la zone à examiner. Les ultrasons se propagent dans les tissus et sont renvoyés sous forme d'écho par les différents organes. [28]

8. Les robots « médico-chirurgicaux » :

Aujourd'hui, les avantages de la robotisation ne sont plus à démontrer: amélioration de la souplesse des installations, de la qualité des produits, de la productivité. Pourtant, on ne peut pas parler de flexibilité réelle; l'adaptation humaine face à un problème ne dure que quelques instants alors que la reprogrammation d'une machine nécessite une intervention beaucoup plus longue.

Dans le même souci d'amélioration de la qualité des soins fournis aux patients, on a vu apparaître ces dernières années, de nouvelles techniques chirurgicales s'appuyant sur l'utilisation de robots. Ces robots restent cependant opérateur-dépendants: il est impossible de leur confier, pour le moment, une tâche entièrement automatique. C'est pourquoi on parle bien de la robotisation au bloc opératoire et non de l'automatisation de l'acte chirurgical.

8.1. L'endoscope à commande vocale.

Est le seul robot à commande vocale. Comme son nom l'indique, AESOP (Automate Endoscopique System pour Optimal Positionna), (figure 8.1) n'est qu'un système de déplacement et de maintien d'un endoscope utilisé lors d'interventions chirurgicales mini-invasives. Sa grande originalité réside dans sa commande vocale. Le chirurgien enregistre sa voix sur une carte ensuite insérée dans l'AESOP avant chaque opération. De cette manière, le système n'est capable d'obéir qu'à un seul chirurgien éliminant les risques de mauvaise utilisation. L'AESOP permet d'organiser différemment l'équipe chirurgicale en libérant un assistant. Ce type d'instruments à commande vocale laisse entrevoir des perspectives : commande de la position de la table opératoire, de l'éclairage du site opératoire ou des lumières d'ambiance de la salle par exemple. [29]



Figure 8.1: L'endoscope à commande vocale AESOP.

8.2. Robot pour la chirurgie orthopédique :

Le système (figure 8.2) est également destiné à la chirurgie orthopédique et plus particulièrement à la pose de prothèses de hanche. ROBODOC est un robot chirurgical commandé par ordinateur, équipé d'outils spécialisés pour créer une cavité d'implant exacte dans le fémur d'un patient pour la pose d'une prothèse totale de hanche. Cette technique aboutit à un meilleur positionnement de la prothèse qu'avec des techniques manuelles traditionnelles.

En effet, le système de planification ORTODOC ne nécessite pas d'opération préalable pour poser des vis de repérage dans le fémur. Ce système est capable, à partir de simples données scanner, de reconstruire une image du fémur en 3 dimensions. Disposant d'un fémur virtuel en 3 dimensions, le chirurgien n'a plus aucun mal à positionner la prothèse choisie (qu'elle soit à tige droite ou anatomique). Une fois la planification terminée, les données sont transférées dans ROBODOC par support magnétique.

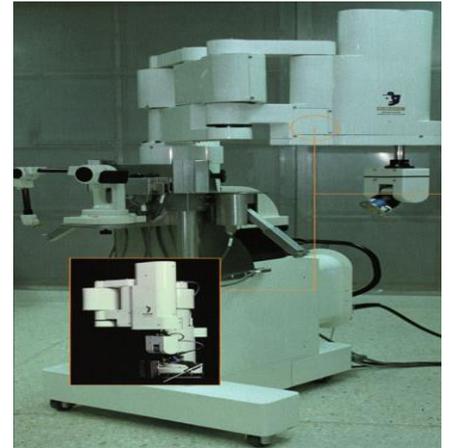


Figure 8.2 : le système d'un robot ORTODOC.

9. Les robots dédiés à la chirurgie Mini Invasive :

Depuis une vingtaine d'années, la chirurgie mini-invasive a connu un essor considérable. Elle contribue à l'amélioration des actes chirurgicaux. En conséquence, la douleur ainsi que les complications postopératoires sont fortement diminuées.

Par conséquent, des techniques nouvelles apparaissent, tendant à améliorer ce type d'opérations, que ce soit au niveau des temps d'intervention, du personnel mobilisé ou du confort apporté au patient et au chirurgien. Ces nouvelles techniques ne sont, pour la plupart, que des améliorations des techniques conventionnelles au niveau des instruments. [30]

La chirurgie assistée par ordinateur, et plus particulièrement l'utilisation de robots chirurgicaux, semble offrir les meilleures perspectives. En effet, des études ont montré l'efficacité de l'utilisation de systèmes de robotique, notamment en chirurgie obstétrique

9.1. Le robot chirurgical DA VINCI :

Le système chirurgical DA VINCI (figure 9.1) manipule des instruments endoscopiques commandés à distance par un chirurgien au cours d'interventions majoritairement périscopiques.

Il se compose des éléments suivants: une console de chirurgien avec visionneuse stéréo à affichage tridimensionnel incorporée (le maître), un chariot de chirurgie avec des bras d'instrumentation (l'esclave) et un chariot d'imagerie.

Assis à sa console, le chirurgien opère à l'aide de deux organes pilotes (ou manipulateurs) placés directement sous un affichage tridimensionnel agrandi du champ opératoire.

Sur l'écran d'affichage, les extrémités des instruments sont alignées avec les manipulateurs pour assurer des mouvements naturels et prévisibles des instruments. Le chirurgien retrouve bien le rapport d'orientation main/œil.

Le système DA VINCI place les mouvements des instruments sous le contrôle direct du chirurgien et en temps réel. Il utilise une structure cinématique (ou théorie des mouvements d'articulation) permettant au chirurgien d'employer des techniques de chirurgie ouverte depuis la console. Ces techniques de chirurgie ouverte sont instantanément converties dans le site chirurgical en gestes de chirurgie mini-invasive. À l'aide de ce système, le chirurgien bénéficie d'un accès par des incisions réduites sans avoir à compromettre la dextérité, la précision et les gestes naturels nécessaires en chirurgie ouverte.



Figure 9.1: Le système chirurgical DA VINCI.

9.2. Un robot chirurgical révolutionnaire :

Les chirurgiens de l'Hôpital général juif de Montréal viennent de plonger dans la très haute technologie grâce à l'acquisition récente d'un robot chirurgical de type da Vinci (Figure 8.1). L'endoscope à commande vocale AESOP de dernière génération. L'hôpital a récemment procédé à des prostatectomies et des hystérectomies pour cancer de la prostate et de l'utérus.

Le robot Il est muni de quatre bras, trois qui servent à manipuler les instruments chirurgicaux, un qui filme toute l'opération. Les bras de l'appareil bougent à partir d'un point fixe, ce qui limite les incisions sur le corps.



Figure 9.2: Un robot chirurgical révolutionnaire.

9.3. Le 1^{er} robot chirurgical de Moselle aux HP Metz :

Les HP Metz (Figure 9.3) se sont équipés d'un robot chirurgical, situé à Robert Schuman, qui permet de décupler la précision des actes chirurgicaux et apporte un meilleur confort au patient. Cet équipement de haute technologie permettra les traitements chirurgicaux de certains cancers en limitant les séquelles - moins de cicatrices - et de ce fait, de réduire la durée moyenne de l'hospitalisation.



Figure 9.3: un robot de Moselle aux HP Metz

Le chirurgien, aux manettes de ce robot aux 4 bras, gagne en efficacité et en sécurité grâce à une maniabilité ultra précise.

9.4. Le robot Neuro mate :

Le robot Neuro mate (Figure 9.4), l'un des premiers robots chirurgicaux, utilisé dès 1989. Il s'agit ici d'un bras semi-actif, c'est-à-dire, qu'il a pour principal objectif s'assister la main du médecin, la guider et corriger les éventuelles erreurs et faux mouvements pouvant subvenir. Il est basé sur le système mis au point, par l'équipe GMCAO (Gestes médico-chirurgicaux assistés par ordinateur) du laboratoire.



Figure 9.4 : Le robot Neuro mate.

Il permet donc au chirurgien d'optimiser la trajectoire de ses outils, en particulier lors d'interventions sur le cerveau ou la moelle épinière, principalement dans le cas d'opérations où seul un geste assisté par ordinateur peut garantir un résultat satisfaisant. Ces opérations sont délicates et concernent la chirurgie stéréotaxique. La dernière génération (ci-contre) de ce robot atteint une précision de l'ordre de 1/10^{ème} de millimètre. [31]

10. Ensemble d'instruments :

Instrument médical formé de plusieurs instruments médicaux, tels un ensemble d'instruments chirurgicaux ou un plateau, et vendu sous un seul nom, l'instrument médical dont le fonctionnement dépend d'une source d'énergie électrique. L'instrument de diagnostic, utilisé seul ou en combinaison avec un autre instrument médical pour vu l'état de santé des maladies

L'instrument	Spécification/Description	Image
Générateur électro chirurgical	Générateur électro chirurgical Trois mode de fonctionnement : mode de coupe, mode de coupe mixte, la coagulation ponctuelle	
La machine de l'électrocardiogramme (ECG) dérivations	Avec la machine ECG 12 dérivations, l'affichage des formes d'onde de l'ECG, à la fois pour les adultes et enfants	
Ultrason	Ultrason Affiche modes, modes de balayage, sonde interface, mémoire d'image; équipements optionnels chariot, et vide printer, et attachement biopsie.	

Chair dentaire	Chair dentaire multi fonctionnement avec Eclairage	
Machine de diathermie	Machine de diathermie : (mono polaire / bipolaire). Combinant coupe et la coagulation, main ou la pédale contrôlée ou microprocesseur.	

Tableau 1 : l'instrumentation de la chirurgie générale. [32]

Instruments	Spécification / Description	Image
Hématologie analyseur automatique	Hématologie analyseur automatique entièrement démarrage, système d'auto-contrôle, l'échantillonnage automatique avec sonde et essuyez écran.	
Comptage Modèle de table CD4 / CD8	Comptage Modèle de table CD4 / CD8 , à l'analyse automatisée de données , système d'affichage de données et la fourniture d'impression.	
Faure électrique	Faure électrique a 220v et 50hz, chambre en tôle d'acier inoxydable, ventilateur de circulation, régulateur de température, plage de température 500C à 1800C.	
Banc électrique.	Banc électrique vitesse centrifuger Max. 6000rpm, verrouillage du couvercle, régulateur de vitesse en continu, fusible de sécurité, tête de rotor polyvalent et adaptateurs	

Tableau 2 : l'instrument médical de laboratoire.

Conclusion

Ce travail nous a permis de confronter à plusieurs obstacles pendant la représentation de l'instrumentation électrique générale la chaîne d'acquisition du signal physiologique dans le domaine médical.

Tout d'abord, notre but principal était l'instrumentation médicale qui marché avec une source d'énergie électrique et l'utilisation de ces appareille électronique et de son principes de fonctionnement dans le domaine biomédical. Il faut citer que l'instrumentation électrique a été dépende de plusieurs paramètre : grandeur d'influence et la sensibilité d'un capture et la rapidité du système a la chaine d'acquisition et le signal de bruit.

Enfin, nous avons eu la chance de rencontrer l'histoire de médecine et l'électronique et d'apprendre plusieurs informations telles que les développements de l'instrumentation électrique dans le domaine médicale, au passe et l'utilisation par les médecines dans le présente et future. L'instrumentation médicale réside dans la partie électronique (amplification, filtrage, isolation...) et traitement de signal. L'instrumentation médical et les signaux électrophysiologies requièrent toujours des amplificateurs d'instrumentation vu leur très faible amplitude et demandent des étages de filtres pour l'élimination des tensions de mode commun ainsi que la réjection des bruits d'interférences dus principalement au secteur (masse) qui est le 50Hz.

Bibliographique

- [1]. William C. Dunn. Introduction to Instrumentation, ARTECHHOUSE. Com. (PDF), 2004. p3.
- [2]. fichier, PDF, Maintenance en instrumentation industrielle.2013.de M. A. HERIZI. p2
- [3]. Les capteurs en instrumentation industrielle, G. Asch et collaborateurs, Ed DUNOD, Mémoire. 1997. p26.
- [4]. Fichier. PDF de Conditionnement du signal. P. NAYMAN. Une Mémoire de licence en 2009-2010. P31.
- [5]. fichier, PDF d'une Mémoire de master en Traitement des signaux et acquisition de données. Francis COTTET (DUNOD 1997), p67.
- [6]. D.M. CONSIDINE, Encyclopedia of instrumentation and control, Mc GRAW-Hill Book. Figure d'un filter.p52.
- [7]. DUNNING, G. documente de titre: Les capteurs ET l'instrumentation électrique. 2nded, DELMAR, 2002, p. 177.
- [8]. fichier, PDF Cours sur l'électronique de conditionnement du capteur. PATRICK.POULICHET. Novembre 2006.p
- [9]. G. Asch et Collaborateurs (DUNOD 1999), Acquisition de données, du capteur à l'ordinateur.
- [10]. LADAME P. « Notice historique sur l'Électrothérapie à son origine. L'électricité médicale à Genève au XVIII^e siècle » REV Med Suisse Romande 1885; V^e année, n^o 10, 15 octobre 1885, p. 553-572 ; n^o 11, 15 novembre 1885, p. 625-656 ; n^o 12, 15 décembre 1885, p. 697-717.
- [11]. (en) TURELL WJ. « Three electrotherapists of the eighteenth CENTRURY; John Wesley, Jean-Paul Marat and James Graham » Annals of Medical History 1922, Vol. III, p. 364
- [12]. (la) Commentatio De vsv Galvanismi Dan's Arte Medica Speciatim Vero dens Morbis Nervorum Paralyticis: additis tab. aeneis II, IÉNA, à Bibliopolic Academic, 1801
- [13]. (de) Article dans le journal. DEUTSCHES ÄRZTEBLATT.
- [14]. (en) LICHT, Sidney Herman. « History of Electrotherapy » in Therapeutic Electricity and Ultraviolet Radiation, 2^e ed. Sidney LICHT, New HAVEN: E. LICHT, 1967, p. 1-70.
- [15]. dossiers médicaux électroniques (DME). Le Médecin du Québec, volume 47, numéro12, décembre 2012
- [16]. PDF DISPOSITIFS MÉDICAUX : COMMENT RÉSOUDRE l'inadéquation ?. © Organisation Mondiale de la Santé 2012.p28.
- [17]. Livre: Imagerie Médicale 3D. Visualisations, segmentations et reconstructions, Bruno NAZARIAN – CNRS – 2002, P. 2-3.

- [18]. D. BUCHLA & W. McLachlan, Applied Electronic Instrumentation and MEASUREMENT, MacMillan, 1992
- [19]. Wilson FN: Johnston FD, MacLeod AG, Barker PS: Electrocardiograms that represent the potentials variations of a single electrode. Am Heart J., 1934, Vol. 9, p.447-58.
- [20]. LEPESCHKIN E: Modern Electrocardiography. Baltimore: Williams and Wilkins, 1951. [Lew 11] Lewis T: The Mechanism of the Heart Beat, with Special Reference to Its Clinical Pathology. London: Shaw, 1911.
- [21]. Documente : COELIOSCOPIE et COELIOCHIRURGIE : principes généraux et instrumentation. Date de création du document 2008-2009. - © Université Médicale Virtuelle Francophone.p11.
- [22]. Le graphe : ALPHA, tome 6, page 2157, éd. Grange Batelière.
- [23]. unité centrale extrait de Gomes JA, Signal AVERAGED ELECTROCARDIOGRAPHY, NY, 1993, p. 51.
- [24]. JANNIN P, GROVA C & GIBAUD B, « Fusion de données en imagerie médicale: revue méthodologique basée sur le contexte clinique » *ITBM-RBM* 2001;22(4):196-215.
- [25]. par J.-P. MORUCCI, Laboratoire de Génie Biologique et Médical de l'Université Paul SABATIE. Septembre1997.
- [26]. LAVALLÉE, S. Gestes Médico-Chirurgicaux Assistés par Ordinateur. Exposé, SFGBM 99, Paris, 22 Novembre 1999.
- [28]. La robotique au bloc opératoire, Solenne TAILLÉ et Julien DIDIER, UV Projet DESS "TBH", UTC, 2000, pp25.
- [29]. URL: http://www.utc.fr/~farges/DESS_TBH/99-00/projets/robots/robots.htm.
- [30]. ENGELBERGER, J.F. Les robots industriels: applications, gestion et pratique. Edition Hermas PUBLISHING, 1981, p.10-19.
- [31]. JOHANET, H. Robot à commande vocale: une nouvelle aide opératoire? Annales de chirurgie, 1998, vol.52, n°9, p.918-921.
- [32]. GINESTA, J.M., JOCKUM, F. et VALMORIN, J. La robotisation dans l'acte chirurgical: état des lieux et perspectives. Projet DESS TBH, UTC, 1995.