

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
جامعة أبي بكر بلقايد – تلمسان –  
Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –  
Faculté de Technologie  
Laboratoire de Génie Biomédicale



## **THESE**

Présentée pour l'obtention du **grade de DOCTORAT 3<sup>ème</sup> Cycle**

**En** : Génie Biomédicale

**Spécialité** : Télémedecine

**Par** : HAMZA CHERIF Fayssal

### **Sujet**

**Etude et réalisation d'une plateforme dédiée à la télésurveillance de l'état physiopathologique d'une personne au volant**

#### **Jury de soutenance :**

Bereksi Reguig Fethi	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
Hamza Cherif Lotfi	MCA	Univ. Tlemcen	Directeur de thèse
Nassar Georges	Professeur	INSA – UPHF Valenciennes	Co- Directeur de thèse
Kerai Salim	MCA	Univ. Tlemcen	Examineur 1
Souier Mehdi	MCA	Ecole super management Tlemcen	Examineur 2
Benabdellah Mohammed	Professeur	Univ. Tlemcen	Invité

**2020**



# Etude et réalisation d'une plateforme dédiée à la télésurveillance de l'état physiopathologique d'une personne au volant

---

*Auteur : HAMZA CHERIF Fayssal*

SUJET PROPOSE AU SEIN DU LABO GBM

2020

A mes chers parents,  
A ma femme,  
A mon frère, ma sœur et leurs maris,  
A toute ma famille et mes amis,  
A tous mes enseignants et mes collègues.

## Remerciement

Mon doctorat n'a pas été facile, mais il a été rempli d'événements et de moments difficiles, cela m'a appris à toujours garder une attitude positive, à être patient et persévérant et à travailler dur pour atteindre mes objectifs. Cela a été rendu possible grâce à Dieu, merci mon Dieu de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience pour accomplir ce travail.

Au terme de ce travail, Je tiens à exprimer mes remerciements et mes reconnaissances les plus sincères à mon actuel directeur de thèse Mr HAMZA CHERIF Lotfi, chef de département de Génie Biomédicale Université Abou-Bekr Belkaid, Tlemcen, à mon Co-directeur Mr NASSAR Georges, professeur à l'université Valencienne, France et à mon ancien directeur de thèse Mr BENABDELLAH Mohammed, professeur retraité de l'université Tlemcen, pour toute la confiance qu'ils ont placé en moi, pour leurs aides continues et sans failles, pour leurs encouragements et leurs conseils inconditionnels tout au long de la réalisation de ce travail. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde et sincère reconnaissance.

Je tiens à remercier Mr BEREKSI REGUIG Fethi Professeur à l'université de Tlemcen pour avoir accepté de présider le jury de ma thèse et aussi les membres du jury, Mr Kerai Salim Maitre de conférences à l'université de Tlemcen et Mr SOUIER Mehdi, Maitre de conférences à l'école super management de Tlemcen, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de juger ce travail et de m'avoir fourni les directives, les instructions et les commentaires pour l'améliorer.

Je remercie le directeur et mes collègues du laboratoire de génie biomédical de l'Université de Tlemcen.

Mes remerciements à tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à la concrétisation de ce travail.

Mes remerciements et ma gratitude va particulièrement à mes parents qui m'ont beaucoup aidé et qui ont été toujours à mes côtés, ainsi qu'à mon frère et ma sœur. Vous m'avez soutenu tout au long de mes études et vous m'avez encouragé à continuer et à rester fort et positif tout le temps de ma vie. Merci.

## Résumé

Les systèmes de surveillance ont évolué considérablement de nos jours et afin de répondre aux besoins particuliers du secteur de la santé, des systèmes intelligents ont été proposés pour surveiller en continu les états de santé des patients. Ces évolutions et innovations peuvent jouer un rôle important dans le domaine de la prévention routière et réduire ainsi les risques d'accidents de la circulation.

Ce travail traitera de la conception d'un système intelligent de surveillance à distance (télésurveillance) des conditions de santé et en temps réel d'un conducteur au volant. Le chauffeur au contact d'un volant intelligent accouplé soit à un moniteur intégré soit à une liaison Bluetooth avec un Android local permet de mesurer au moyen d'un nouveau dispositif matériel et logiciel, la fréquence cardiaque du conducteur grâce au recueil en continu du signal électrocardiographique ECG ainsi que de la saturation pulsée de l'oxygène dans le sang SPO2 par la technique photoplethysmographique PPG. Ce qui permet de surveiller deux fonctions vitales d'un conducteur au volant, en l'occurrence l'activité cardiaque et l'activité respiratoire. Ces informations sont transmises à un centre distant de télé vigilance en cas de dysfonctionnement de ces fonctions sous protocole TCP/IP mettant en jeu une liaison 4G/3G.

Une application associée au système permet de déclencher localement et à distance des alarmes hautes et basses en cas de tachycardie ou de bradycardie ou d'arythmie cardiaque. Elle permet également de déclencher des alarmes en cas de décompensation respiratoire.

**Mots clé :** *télésurveillance, volant intelligent, ECG, PPG, SPO2, TCP/IP, 4G/3G, Bluetooth, Android.*

## Abstract

Nowadays, surveillance systems have evolved significantly; hence, in order to meet the specific needs of the health sector and to monitor the patients' health conditions, intelligent systems have been proposed. These innovations represent a primordial role in road safety, which reduce the risk of traffic accidents.

This work describes an intelligent system design for remote monitoring (tele monitoring) of a driver's health condition in real time. The measurement using new hardware and software devices is made possible through the contact between the driver contact and an intelligent steering wheel, which is coupled either to an integrated monitor or to a Bluetooth link with a local Android smartphone. The driver's heart rate is calculated through the continuous collection of the electrocardiographic signal as well as the blood oxygen saturation SpO2 by using the photoplethysmographic technique. Consequently, it is necessary to monitor the two vital functions of the driver, cardiac and respiratory activity. This information is transmitted to a remote tele-vigilance center in the case of abnormalities in these functions under the transmission control protocol/internet protocol involving a 4G/3G connection.

The application is associated with the system that triggers high and low alarms locally and remotely in the events of tachycardia, bradycardia, or cardiac arrhythmia. Furthermore, another alarm is also triggered in the event of respiratory decompensation.

**Keywords :** *Tele-monitoring, Intelligent steering wheel, ECG, PPG, Heart rate, SpO2, TCP/IP, 4G/3G, Bluetooth, Android.*

## ملخص الاطروحة

تطورت أنظمة المراقبة بشكل كبير في الآونة الأخيرة، وذلك ومن أجل تلبية الاحتياجات المحددة للقطاع الصحي، تم اقتراح أنظمة ذكية للمراقبة المستمرة للحالة الصحية للمرضى. يمكن لهذه التطورات والابتكارات أن تلعب دورًا مهمًا في مجال سلامة الطرقات وبالتالي تقليل مخاطر الحوادث المرورية.

سيناقش هذا العمل تصميم نظام ذكي للمراقبة عن بعد للظروف الصحية للسائق وفي الوقت الفعلي. يسمح تلامس السائق مع عجلة قيادة ذكية مقترنة إما بشاشة مدمجة أو بوصلة بلوتوث مع جهاز أندرويد محلي بقياس عن طريق أجهزة وبرامج جديدة، معدل ضربات قلب السائق بواسطة جمع الإشارات المستمرة لتخطيط القلب (ECG) وكذلك تشبع الأكسجين النبضي في الدم (SPO2) بواسطة تقنية التصوير الضوئي (PPG). وهذا يجعل من الممكن مراقبة وظيفتين حيويتين للسائق أثناء القيادة، وهما نشاط القلب والنشاط التنفسي. يتم إرسال هذه المعلومات إلى مركز المراقبة عن بعد في حالة حدوث خلل في هذه الوظائف بموجب بروتوكول (TCP/IP) الذي يتضمن بوصلة الاتصال الجيل الثالث والرابع (3G/4G)

يتيح التطبيق المرتبط بالنظام بتشغيل أجهزة الإنذار العالية والمنخفضة، محليًا وعن بعد في حالة تسارع دقات القلب، بطء القلب أو عدم انتظام دقات القلب. كما يمكنه أيضًا إطلاق الإنذارات في حالة المعاوضة التنفسية.

**الكلمات الرئيسية:** المراقبة عن بعد، عجلة القيادة الذكية، تخطيط القلب، التصوير الضوئي، تشبع الأكسجين النبضي في الدم، TCP/IP، 4G/3G، بلوتوث، أندرويد.

# Table de matières

REMERCIEMENT	II
RESUME	III
ABSTRACT	IV
ملخص الاطروحة	V
TABLE DE MATIERES	VI
LISTE DES FIGURES	X
LISTE DES TABLEAUX	XII
NOMENCLATURE	XIII
INTRODUCTION GENERALE	1

## **CHAPITRE I** - Etude anatomique et physiologique de l'appareil cardiorespiratoire.

1	INTRODUCTION	7
2	ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE DU CŒUR	7
2.1	CŒUR	7
2.2	MORPHOLOGIE DU CŒUR	7
2.3	CIRCULATION DU SANG	9
2.3.1	Grande circulation	9
2.3.2	Petite circulation	9
2.4	CYCLE CARDIAQUE	10
2.5	LA GENESE DU SIGNAL ELECTRIQUE CARDIAQUE	11
3	ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE DU SYSTEME RESPIRATOIRE	12
3.1	SYSTEME RESPIRATOIRE	12
3.2	ANATOMIE DU SYSTEME RESPIRATOIRE	13
3.2.1	L'arbre respiratoire	13
3.2.2	Les poumons	15
3.2.3	Les muscles de la respiration :	16
3.3	PHYSIOLOGIE DE L'APPAREIL RESPIRATOIRE	16
3.4	PARAMETRES RESPIRATOIRES	17
4	ÉLECTROCARDIOGRAMME	19
4.1	ELECTROCARDIOGRAPHIE ECG	19
4.2	DERIVATIONS DE L'ELECTROCARDIOGRAMME	19
4.3	CARACTERISTIQUE DU SIGNAL ECG	20
5	PHOTOPLETHYSMOGRAMME	22
5.1	PHOTOPLETHYSMOGRAPHIE PPG	22



5.2	PULSATION DU SANG .....	23
5.3	RECUEIL DU SIGNAL PHOTOPLETHYSMOGRAPHIQUE .....	23
5.4	SYSTEME A DEUX LONGUEURS D'ONDES .....	24
5.5	MESURE PRATIQUE DE LA SATURATION .....	25
<b>6</b>	<b>PATHOLOGIES CARDIAQUES ET RESPIRATOIRES .....</b>	<b>25</b>
6.1	PATHOLOGIES CARDIAQUES .....	25
6.1.1	<i>Rythme cardiaque</i> .....	26
6.1.2	<i>Battement cardiaque standard et ses caractéristiques</i> .....	26
6.1.3	<i>Caractéristiques et types de l'extrasystole</i> .....	26
6.1.4	<i>Diagnostic à partir du rythme</i> .....	28
6.1.5	<i>Diagnostic à partir des ondes</i> .....	29
6.2	PATHOLOGIES RESPIRATOIRES .....	31
<b>7</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>31</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>32</b>

## CHAPITRE II - Introduction à la télémédecine et ces applications.

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>36</b>
<b>2</b>	<b>DEFINITION DE LA TELEMEDECINE .....</b>	<b>36</b>
<b>3</b>	<b>HISTORIQUE DE LA TELEMEDECINE.....</b>	<b>38</b>
<b>4</b>	<b>DIFFERENTS TYPES D'APPLICATION DE LA TELEMEDECINE.....</b>	<b>39</b>
4.1	TELECONSULTATION .....	40
4.2	TELESURVEILLANCE.....	40
4.3	TELE-CHIRURGIE .....	41
4.4	TELE EXPERTISE .....	41
4.5	TELEENSEIGNEMENT .....	42
4.6	REGULATION MEDICALE .....	42
<b>5</b>	<b>BENEFICES DE LA TELEMEDECINE.....</b>	<b>43</b>
5.1	BENEFICES POUR LES PATIENTS .....	43
5.2	BENEFICES POUR LES PROFESSIONNELS DE SANTE.....	43
5.3	BENEFICES POUR LE SYSTEME DE SANTE .....	44
<b>6</b>	<b>APPORTS ET ENJEUX DE TELEMEDECINE.....</b>	<b>44</b>
<b>7</b>	<b>TELEMEDECINE FAVORISEE PAR LES TIC'S .....</b>	<b>45</b>
7.1	COTE MEDECIN.....	45
7.2	COTE PATIENT .....	45
<b>8</b>	<b>STATION PORTABLE DE TELEMEDECINE .....</b>	<b>45</b>
<b>9</b>	<b>RESEAUX DE TELEMEDECINE .....</b>	<b>46</b>
<b>10</b>	<b>CHAINE TELE-MEDICALE .....</b>	<b>47</b>
10.1	PATIENT .....	47
10.2	D.T.E (DATA TERMINAL EQUIPMENT).....	47

10.3	CODEC (CODEUR/DECODEUR).....	48
10.4	PC LOCAL .....	48
10.5	D.C.E (DATA COMMUNICATION EQUIPMENT) .....	48
<b>11</b>	<b>EVOLUTION DE LA TELEMEDECINE A TRAVERS LE MONDE.....</b>	<b>49</b>
<b>12</b>	<b>FREIN DE DEVELOPPEMENT.....</b>	<b>49</b>
<b>13</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>50</b>
<b>14</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>51</b>

### **CHAPITRE III** – Réseaux et protocoles de communication.

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>56</b>
<b>2</b>	<b>RESEAUX INFORMATIQUES .....</b>	<b>56</b>
2.1	HISTORIQUE [4] .....	57
2.2	CLASSIFICATION DES RESEAUX [1] [5] [6].....	58
2.3	TYPOLOGIE DES RESEAUX .....	61
2.3.1	<i>Les topologies de base.....</i>	<i>61</i>
2.3.2	<i>Les topologies construites [1] .....</i>	<i>62</i>
2.4	SECURITE DANS LES RESEAUX.....	63
<b>3</b>	<b>RESEAUX SANS FIL .....</b>	<b>64</b>
3.1	RESEAUX ETENDUS SANS FIL : WWAN .....	65
3.2	RESEAUX METROPOLITAINS SANS FIL : WMAN.....	67
3.3	RESEAUX LOCAUX SANS FIL : WLAN .....	68
3.4	RESEAUX PERSONNELS SANS FIL : WPAN .....	68
<b>4</b>	<b>PROTOCOLES DES RESEAUX.....</b>	<b>71</b>
4.1	MODELE OSI.....	71
4.2	MODELE TCP/IP .....	73
4.2.1	<i>Protocole IP.....</i>	<i>74</i>
4.2.2	<i>Protocole UDP.....</i>	<i>74</i>
4.2.3	<i>Protocole TCP.....</i>	<i>75</i>
4.2.4	<i>Protocole HTTP .....</i>	<i>75</i>
4.3	COMPARAISON DES MODELES OSI ET TCP/IP .....	75
<b>5</b>	<b>ARCHITECTURE CLIENT / SERVEUR.....</b>	<b>76</b>
5.1	GENERALITE .....	76
5.2	LES ATOUTS DE CETTE ARCHITECTURE [21] .....	77
5.3	LES DIFFERENTS ENVIRONNEMENTS CLIENT-SERVEUR .....	77
5.4	LES TYPES DE CLIENTS .....	79
<b>6</b>	<b>SOCKETS .....</b>	<b>79</b>
6.1	INTRODUCTION AUX SOCKETS.....	79
6.2	POSITION DES SOCKETS DANS LE MODELE OSI .....	80
6.3	DEROULEMENT D'UNE CONNEXION.....	80
<b>7</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>82</b>

<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>83</b>
----------	----------------------------	-----------

## CHAPITRE IV – METHODOLOGIE ET RESULTATS.

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>87</b>
<b>2</b>	<b>MATERIELS UTILISES</b> .....	<b>87</b>
2.1	CAPTEUR DE L'ELECTROCARDIOGRAMME .....	87
2.2	CAPTEUR PHOTOPLETHYSMOGRAPHIQUE .....	89
2.3	CARTE ARDUINO .....	90
2.4	CARTE RASPBERRY .....	91
2.5	MODULE BLUETOOTH .....	92
2.6	AFFICHAGE .....	92
2.7	ALIMENTATION .....	93
<b>3</b>	<b>METHODE PROPOSEE</b> .....	<b>93</b>
3.1	CAPTEURS PHYSIOLOGIQUES .....	94
3.2	TRANSMISSION DES SIGNAUX .....	95
3.3	STATION DE TELESURVEILLANCE .....	95
<b>4</b>	<b>RESULTATS</b> .....	<b>95</b>
4.1	MISE EN ŒUVRE DE LA TELESURVEILLANCE ELECTROCARDIOGRAPHIQUE .....	95
4.2	MISE EN ŒUVRE DE LA TELESURVEILLANCE PHOTOPLETHYSMOGRAPHIQUE .....	96
4.3	LA STATION DE TELESURVEILLANCE LOCALE .....	96
4.4	LA STATION DE TELEVIGILANCE DISTANTE .....	97
<b>5</b>	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>97</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>98</b>

## CHAPITRE V – Applications et détection des pathologies cardiorespiratoire.

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>102</b>
<b>2</b>	<b>LANGAGES DE PROGRAMMATION UTILISES</b> .....	<b>102</b>
<b>3</b>	<b>APPLICATION DE LA STATION TELESURVEILLANCE LOCALE</b> .....	<b>103</b>
<b>4</b>	<b>APPLICATION DE LA STATION DE TELE-VIGILANCE</b> .....	<b>105</b>
<b>5</b>	<b>CONNEXION ENTRE APPLICATIONS VIA SOCKET</b> .....	<b>106</b>
<b>6</b>	<b>DETECTION DES PATHOLOGIES CARDIO RESPIRATOIRE</b> .....	<b>109</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>112</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>113</b>
	<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	<b>114</b>
	<b>TRAVAUX SCIENTIFIQUE</b> .....	<b>117</b>

## Liste des Figures

FIGURE I. 1 : LE CŒUR ET LE POUMON HUMAIN. ....	7
FIGURE I. 2 : SCHEMA SIMPLIFIE DU CŒUR. ....	8
FIGURE I. 3 : LA CIRCULATION SANGUINE. ....	10
FIGURE I. 4 : VECTEUR INSTANTANE DE DEPOLARISATION. ....	12
FIGURE I. 5 : SCHEMA DE L'APPAREIL RESPIRATOIRE. ....	13
FIGURE I. 6 : LA TRACHEE ET LES BRONCHES. ....	14
FIGURE I. 7 : LES BRONCHIOLES. ....	14
FIGURE I. 8 : SCHEMA D'UN CAPILLAIRE PULMONAIRE. ....	15
FIGURE I. 9 : SCHEMA D'UN POUMON. ....	16
FIGURE I. 10 : MUSCLES RESPIRATOIRES (INSPIRATION ET EXPIRATION). ....	16
FIGURE I. 11 : LES ETAPES DE LA RESPIRATION EXTERNE. ....	17
FIGURE I. 12 : VOLUME ET LA CAPACITE PULMONAIRE CHEZ L'HOMME. ....	17
FIGURE I. 13 : LES 12 DERIVATIONS DE L'ECG. ....	20
FIGURE I. 14 : TRACE ELECTROCARDIOGRAPHIQUE (ECG NORMAL). ....	20
FIGURE I. 15 : FORME DU SIGNAL PPG. ....	22
FIGURE I. 16 : REPRESENTATION SIMPLIFIEE DE L'ABSORPTION DE LA LUMIERE PAR LES TISSUS VIVANTS. ....	23
FIGURE I. 17 : SCHEMA DE PRINCIPE DU RECUEIL DU SIGNAL PPG. ....	23
FIGURE I. 18 : ABSORPTION DE LA LUMIERE PAR L'Hb ET L'HbO2. ....	24
FIGURE I. 19 : COURBE EMPIRIQUE POUR LA MESURE DE LA SATURATION. ....	25
FIGURE I. 20 : EXTRASYSTOLE VENTRICULAIRE (ESV). ....	27
FIGURE I. 21 : EXTRASYSTOLES AURICULAIRES (ESA). ....	27
FIGURE I. 22 : EXTRASYSTOLES JONCTIONNELLES (ESJ). ....	28
FIGURE I. 23 : TACHYCARDIE VENTRICULAIRE. ....	28
FIGURE II. 1 : SYSTEME D'INFORMATION DE LA TELESURVEILLANCE MEDICALE A DOMICILE. ....	37
FIGURE II. 2 : PREMIERE TELE-ELECTROCARDIOGRAPHIE REALISEE PAR EINTHOVEN. ....	39
FIGURE II. 3 : EXEMPLE D'UNE APPLICATION DE TELECONSULTATION. ....	40
FIGURE II. 4 : ORGANISATION DE LA TELESURVEILLANCE MEDICALE A DOMICILE. ....	40
FIGURE II. 5 : EXEMPLE D'UNE APPLICATION DE TELE-CHIRURGIE. ....	41
FIGURE II. 6 : EXEMPLE DE TELE-EXPERTISE. ....	41
FIGURE II. 7 : EXEMPLE DU TELEENSEIGNEMENT. ....	42
FIGURE II. 8 : EXEMPLE DE LA REGULATION MEDICALE. ....	42
FIGURE II. 9 : EXEMPLE DE STATION PORTABLE DE TELEMEDECINE. ....	46
FIGURE II. 10 : EXEMPLE DE RESEAUX DE TELEMEDECINE. ....	47
FIGURE II. 11 : REPRESENTATION DE LA CHAINE TELEMEDECINE. ....	49
FIGURE III. 1 SCHEMA D'UN RESEAU INFORMATIQUE. ....	56
FIGURE III. 2 LA CLASSIFICATION SELON LES MODES DE DIFFUSION DE L'INFORMATION. ....	60
FIGURE III. 3 LA DISTINCTION DES TYPES DE RESEAUX SELON LE MODE DE SYNCHRONISATION. ....	61
FIGURE III. 4 LES MODES DE LIAISONS ELEMENTAIRES. ....	61
FIGURE III. 5 LES TOPOLOGIES DE BASE. ....	62
FIGURE III. 6 DE LA TOPOLOGIE HIERARCHIQUE A LA TOPOLOGIE MAILLEE. ....	63
FIGURE III. 7 LE RESEAU MAILLE. ....	63

FIGURE III. 8 LES CATEGORIES DES RESEAUX SANS FILS.....	70
FIGURE III. 9 LES COUCHES DU MODELE OSI.....	71
FIGURE III. 10 LES COUCHES DU MODELE TCP/IP.....	73
FIGURE III. 11 IPV4 ADDRESS AND IPV6 ADDRESS EXAMPLES.....	74
FIGURE III. 12 COMPARAISONS DES MODELES OSI ET TCP/IP.....	76
FIGURE III. 13 COMMUNICATION CLIENT ET SERVEUR.....	76
FIGURE III. 14 EXEMPLE D'UNE ARCHITECTURE CLIENT / SERVEUR.....	77
FIGURE III. 15 ARCHITECTURE PEER TO PEER.....	78
FIGURE III. 16 ARCHITECTURE A N NIVEAUX.....	79
FIGURE III. 17 POSITION DES SOCKETS DANS LE MODELE OSI.....	80
FIGURE III. 18 SCHEMA D'UNE COMMUNICATION EN MODE CONNECTE.....	81
FIGURE III. 19 SCHEMA D'UNE COMMUNICATION EN MODE NON CONNECTE.....	82
FIGURE IV. 1 EMBLACEMENT DES ELECTRODES DU CAPTEUR ECG.....	88
FIGURE IV. 2 SCHEMA DE CIRCUIT ELECTRIQUE ECG SEN0213.....	88
FIGURE IV. 3 CAPTEUR PPG MAX30100.....	89
FIGURE IV. 4 SCHEMA DE CIRCUIT ELECTRIQUE PPG.....	89
FIGURE IV. 5 CARTES ARDUINO LES PLUS UTILISEES.....	90
FIGURE IV. 6 CARTE RASPBERRY Pi 3 TYPE B.....	91
FIGURE IV. 7 MONTAGE DU MODULE BLUETOOTH HC-06.....	92
FIGURE IV. 8 MONTAGE DE L'ECRAN LCD AVEC LA CARTE RASPBERRY.....	93
FIGURE IV. 9 ARCHITECTURE DU VOLANT INTELLIGENT POUR DETECTER LES DEUX SIGNAUX PHYSIOLOGIQUES D'UN CONDUCTEUR.....	94
FIGURE IV. 10 EMBLACEMENT DES ELECTRODES ET DE LA STATION DE SURVEILLANCE.....	94
FIGURE IV. 11 CAPTEUR PPG SANS FIL FIXE AU LOBE D'OREILLE.....	94
FIGURE IV. 12 ENREGISTREMENT DE L'ACTIVITE ELECTRIQUE DU CŒUR.....	96
FIGURE IV. 13 LA STATION DE TELESURVEILLANCE ET LA STATION DE TELE-VIGILANCE.....	97
FIGURE V. 1 -- INTERFACE DE LA STATION DE TELESURVEILLANCE.....	103
FIGURE V. 2 -- L'ORGANIGRAMME DE L'APPLICATION.....	104
FIGURE V. 3 -- INTERFACE DE LA STATION DE TELE-VIGILANCE.....	105
FIGURE V. 4 -- L'ORGANIGRAMME DE L'APPLICATION DE LA STATION DE TELE-VIGILANCE.....	106
FIGURE V. 5 -- ORGANIGRAMME DE L'ETABLISSEMENT UNE CONNEXION ENTRE LE SERVEUR ET LE CLIENT.....	107
FIGURE V. 6 -- CONNEXION ENTRE CLIENTS ET SERVEUR SANS THREAD.....	108
FIGURE V. 7 -- CONNEXION CLIENTS ET SERVEUR AVEC THREAD.....	108
FIGURE V. 8 -- SIGNAL ELECTROCARDIOGRAMME ECG.....	109
FIGURE V. 9 -- SIGNAL PHOTOPLETHYSMOGRAM PPG.....	109
FIGURE V. 10 -- DETECTION DES ONDES Q, R ET S.....	110
FIGURE V. 11 -- DETECTION DE L'INTERVALLE RR IRREGULIER.....	110
FIGURE V. 12 -- DETECTION DU COMPLEXE QRS IRREGULIER.....	110

## Liste des tableaux

TABLEAU I. 1 : VALEURS HABITUELLES DES DIFFERENTS PARAMETRES CARACTERISANT D'UN BATTEMENT CARDIAQUE.....	22
TABLEAU III. 1 : LES DATES MARQUANTES DANS L'HISTOIRE DE RESEAUX. ....	58
TABLEAU III. 2 : CLASSIFICATION DES RESEAUX. ....	60
TABLEAU III. 3 : CLASSIFICATION DES RESEAUX SANS FIL. ....	70
TABLEAU IV. 1 COMPARAISON ENTRE ARDUINO UNO ET ARDUINO MINI. ....	90
TABLEAU V. 1 -- LE PROCESSUS GLOBAL DE TELESURVEILLANCE DE L'ETAT DU CONDUCTEUR. ....	112

# Nomenclature

## A

<b>A</b>	Absorbance.
<b>AC</b>	Alternating Current (Courant électrique alternatif).
<b>ADO</b>	ActiveX Data Objects (Objets de données ActiveX).
<b>ADSL</b>	Asymmetric Digital Subscriber Line (ligne d'abonné numérique à débit asymétrique).
<b>AQRS</b>	Amplitude du complexe <b>QRS</b> .
<b>APN</b>	Appareil Photographique Numérique.
<b>ARM</b>	Familles de processeurs.
<b>Atmel AVR</b>	Advanced Technology for Memory and Logic (Famille de microcontrôleurs).
<b>ATP</b>	Adénosine Tri-Phosphate.
<b>AVC</b>	Accident Vasculaire Cérébral.

## B

<b>BPCO</b>	BronchoPneumopathie Chronique Obstructive.
<b>BPM</b>	Battement Par Minute.

## C

<b>CA</b>	Composante Alternative.
<b>CC</b>	Composante Continue.
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dioxyde de carbone.
<b>VR</b>	Volume Résiduel.
<b>CRF</b>	Capacité Résiduelle Fonctionnelle.
<b>CT</b>	Capacité Totale.
<b>CV</b>	Capacité Vitale.

## D

<b>DAO</b>	Data Access Objects (Objets d'accès aux données).
<b>DC</b>	Direct Current (Courant électrique continu).
<b>D.C.E</b>	Data Communication Equipment.
<b>D.T.E</b>	Data Terminal Equipment.

## E

<b>ECG</b>	Electro-Cardio-Gram.
<b>EEG</b>	Electro-Encéphalo-Graphie (Enregistrement graphique de l'activité électrique du cerveau).
<b>ESA</b>	Extra Systoles Auriculaires.
<b>ESJ</b>	Extra Systoles Nodales ou Jonctionnelles.
<b>ESV</b>	Extra Systole Ventriculaire.

## F

<b>FC</b>	Fréquence Cardiaque.
-----------	----------------------

## G

<b>GB</b>	<b>Giga-Byte.</b>
<b>GHz</b>	<b>Géga-Hertz.</b>
<b>GNU</b>	<b>GNU's Not UNIX (GNU n'est pas UNIX).</b>
<b>GPIO</b>	<b>General-Purpose Input/Output (entrée / sortie à usage général).</b>
<b>GUI</b>	<b>Graphical User Interface (Interface Graphique).</b>

## H

<b>Hb</b>	<b>Hémoglobine réduite.</b>
<b>HbO<sub>2</sub></b>	<b>Oxy-Hémoglobine.</b>
<b>HD</b>	<b>Haute Définition.</b>
<b>HDMI</b>	<b>High Definition Multimedia Interface (Interface multimédia haute-définition).</b>
<b>HR</b>	<b>Heart Rate (Fréquence Cardiaque).</b>
<b>HRV</b>	<b>Heart Rate Variability (variabilité de la fréquence cardiaque).</b>
<b>Hz</b>	<b>Hertz.</b>
<b>H<sub>2</sub>O</b>	<b>Monoxyde de dihydrogène (Eau).</b>

## I

<b>IDE</b>	<b>Integrated Development Environment (environnement de développement intégré).</b>
<b>IR</b>	<b>Infra-Rouge.</b>
<b>IoT</b>	<b>Internet of Things (Internet des Objets).</b>

## K

<b>Kg</b>	<b>Kilogramme.</b>
-----------	--------------------

## L

<b>L</b>	<b>Litre.</b>
<b>LED</b>	<b>Light Emitting Diode (diode électroluminescente).</b>
<b>LCD</b>	<b>Liquid Cristal Display (écran à cristaux liquides).</b>

## M

<b>MHz</b>	<b>Méga-Hertz.</b>
------------	--------------------

## N

<b>NTIC</b>	<b>Nouvelles Technologie d'Information et de Communication.</b>
-------------	---

## O

<b>O<sub>2</sub></b>	<b>Dioxygène (gaz d'Oxygène).</b>
----------------------	-----------------------------------

## P

<b>PC</b>	<b>Personal Computer (Ordinateur personnel).</b>
<b>PPG</b>	<b>Photo-Plethysmo-Gram.</b>
<b>PR</b>	<b>Intervalle PR Le temps entre le début de l'onde P et le début du complexe QRS.</b>
<b>RTC</b>	<b>Réseau Téléphonique Commuté.</b>



## Q

- QRS** Complexe **QRS** correspond à la dépolarisation des ventricules, droit et gauche.  
**QT** Intervalle **QT** correspond à la durée électrique de la contraction cardiaque.

## R

- R** Rapport d'absorptions relatives.  
**RAM** **R**andom **A**ccess **M**emory (mémoire à accès non séquentiel).  
**RDO** **R**emote **D**ata **O**bjects (Objets de données distants).  
**RR** Intervalle **RR** est le temps qui sépare le début de deux **QRS**.  
**RX** **R**éception.

## S

- SaO<sub>2</sub>** **S**aturation en **O**xygène.  
**SD** **S**ecure **D**igital (carte mémoire utilisée comme stockage de masse).  
**SPI** **S**erial **P**eripheral **I**nterface (Interface périphérique série).  
**SPO<sub>2</sub>** **S**aturation **P**ulsée d'**O**xygène dans le sang.

## T

- TCP/IP** **T**ransmission **C**ontrol **P**rotocol/**I**nternet **P**rotocol (Transmission Control Protocol/ Protocol Internet).  
**TIC** **T**echnologies de l'**I**nformation et de la **C**ommunication.  
**T<sub>QRS</sub>** Durée du complexe **QRS**.  
**TX** **T**ransmission.

## U

- USB** **U**niversal **S**erial **B**us (Bus série universel).

## V

- VB** **V**isual **B**asic.  
**V<sub>cc</sub>** **V**olt courant continu.  
**VD** **V**olume **D**ead (Volume mort physiologique).  
**VEMS** **V**olume **E**xpiré **M**aximal à la première **S**econde d'une manœuvre forcée.  
**VFC** **V**ariabilité de la **F**réquence **C**ardiaque.  
**VGT** **V**olume **G**azeux **T**horacique.  
**VRE** **V**olume de **R**éserve **E**xpiratoire.  
**VRI** **V**olume de **R**éserve **I**spiratoire.  
**VT** **V**olume Courant ou **T**idal **V**olume.

## W

- WiFi** **W**ireless **F**idelity (fidélité sans fil).

## Symbole

- 3G/4G** **3**ème **G**énération/**4**ème **G**énération du réseau mobile.  
**ΔP** **D**ifférence de **P**otentiel.  
**λ** **L**ongueur d'onde (nm).

# Introduction générale

---

*HAMZA CHERIF Fayssal*

## I. Introduction général

Les accidents de la route sont à l'origine de plus de 1,25 million de décès par an et coûtent environ 3% de leur produit intérieur brut à la plupart des pays. Les causes et les gravités des accidents dépendent des facteurs liés au conducteur, au véhicule, à la route, aux conditions de circulation, aux secours, etc... Les facteurs humains, demeurent les plus pondérant et apparaissent dans plus de 90% des accidents corporels.

A titre indicatif, ces facteurs sont généralement dus à l'excès de vitesse ; la fatigue et la somnolence ; l'usage du téléphone et la distraction au volant ; le non-respect des distances de sécurité ; la conduite sous l'emprise de l'alcool et/ou de l'influence de stupéfiants ; les problèmes de santé (trouble du rythme cardiaque, décompensation respiratoire, hyper ou hypo glycémie, etc...).

D'où de nombreuses études et recherches pour développer de nouvelles techniques de surveillance permettant de mesurer des paramètres physiologiques vitaux de personne à domicile, au véhicule ou dans d'autres environnements non cliniques, afin de réduire les accidents et d'améliorer la sécurité publique sont devenues des objectifs indispensables et importants.

Notre modeste travail d'investigation dans le très vaste domaine de télésurveillance des signaux vitaux reste ainsi dans le cadre d'une aide au diagnostic médical au profit de spécialistes cliniciens par un établissement et mise au point d'algorithme et de paramètres pertinents à même de faciliter la compréhension des activités physiologiques.

Ce travail de thèse a été mené au sein du laboratoire GBM de l'Université de Tlemcen, et a pour objectif de concevoir un volant intelligent pour détecter les signaux physiologiques ECG et PPG et à implémenter une application dédiée à la télésurveillance de la fréquence cardiaque et de sa variabilité témoins d'une éventuelle tachycardie, bradycardie ou arythmie cardiaque ainsi qu'à la télésurveillance de la saturation pulsée d'oxygène dans le sang témoin d'une éventuelle décompensation respiratoire (hypoxémie). En cas de complication ou d'insuffisance cardiaque ou respiratoire du conducteur, une alarme l'avertie localement et des informations sont transmises instantanément et automatiquement à une station de télé-vigilance distante, chargée de piloter un réseau télé médical dédié aux personnes au volant.

L'étude proposée est basée sur le développement d'un système précis, rapide, facile à mettre en œuvre et non intrusif pour la détection des insuffisances cardio-respiratoires du conducteur au volant.

Dans un premier temps, nous allons aborder dans un chapitre introductif, le contexte général de l'anatomique et physiologique de l'appareil cardiorespiratoire qui s'inscrit dans le cadre l'étude des signaux physiologiques ; Ensuite nous allons présenter les principales applications de la télémédecine

dans un deuxième chapitre, suivis par un troisième chapitre sur les Réseaux et les protocoles de communication qui existe.

Nous présenterons dans une dernière partie (chapitre quatre et cinq) la méthode utilisée et ces applications. Et pour finir l'application sera exploitée et développée pour une aide à la détection des pathologies cardiorespiratoires automatisées.

- **Etat de l'art**

Plusieurs entreprises veulent développer de nouvelles technologies liées à la santé, pour être utilisées dans des environnements non cliniques, et ce, afin de réduire les accidents de la route. À titre d'exemple:

Un consortium de sociétés a mis au point un prototype de la ceinture de sécurité connectée permettant de mesurer le rythme cardiaque du conducteur. Cet objet connecté peut ainsi détecter l'endormissement et inviter le chauffeur à prendre une pause. Cette solution technologique a été développée par l'Université Biomécanique de Valence en Espagne et baptisée Harken. [1]

Une entreprise britannique Plessey, spécialisée dans l'électronique, la défense, la télécommunication et les semi-conducteurs en partenariat avec des chercheurs de l'Université Trent, à Nottingham en Angleterre, ont mis au point un tout nouveau prototype : des sièges possédant la capacité de prévenir dans le cas d'un début de somnolence. [2]

Des chercheurs de département d'électronique et de télécommunication Narhe Technical Campus Pune, Inde ont mis en place un dispositif qui surveille en permanence la vigilance du conducteur en temps réel à l'aide d'un système de vision par ordinateur constitué de composants principaux tels que Raspberry Pi spécialement conçu pour la plate-forme matérielle, la caméra vidéo et le système d'alarme. [3]

E. Rogado, J.L. García, R. Barea, L.M. Bergasa, Membre IEEE et E. López proposent une méthode pour détecter les premiers signes de fatigue / somnolence par mesurer la variabilité de la fréquence cardiaque (VRC), la pression de la poignée de direction, ainsi que la différence de températures entre l'intérieur et l'extérieur du véhicule pendant la conduite. Cette méthode déterminera si le sujet est capable de conduire. [4]

Un système de surveillance de l'état de santé du conducteur en temps réel avec vigilance par somnolence a été proposé par SJ Jung, HS Shin et WY Chung. Un capteur d'électrocardiogramme (ECG) intégré avec des électrodes de tissu électriquement conductrices sur le volant d'une voiture a été conçu pour surveiller l'état de santé du conducteur. Les signaux ECG ont été mesurés et transmis sans fil à une station de base connectée à un PC serveur dans un environnement de réseau personnel. [5]

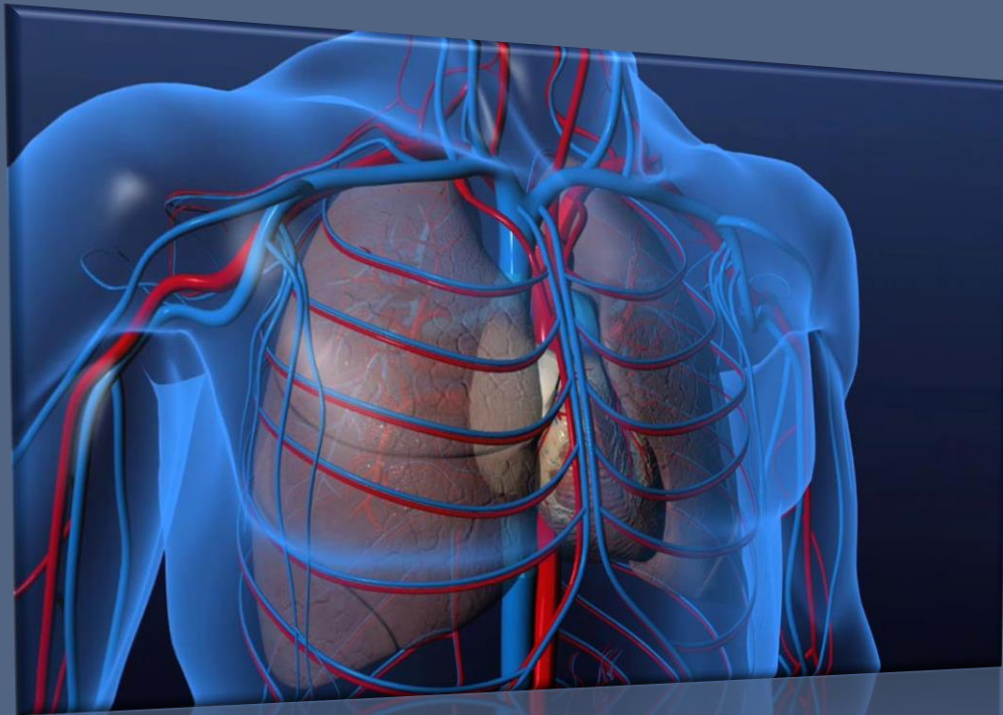
Joan Gómez-Clapers et Ramon Casanella proposent un système destiné à la surveillance non invasive du signal d'électrocardiogramme (ECG) en utilisant un volant sans fil. Un nouvel algorithme de détection de fréquence cardiaque basé sur la transformée en ondelettes continue a été implémenté, conçu spécifiquement pour résister aux sources du bruit et d'interférence les plus courantes lors de l'acquisition de l'ECG dans les mains. [6]

Récemment, des chercheurs japonais ont développé un système de surveillance du conducteur en temps réel avec une caméra qui pourrait déterminer sa fréquence cardiaque (HR) et le niveau de stress mental (indice de stress). [7]

Aussi des chercheurs indiens ont développé un système intelligent de surveillance dédié aux personnes âgées et le personnel de santé rural avec accès à distance au médecin. Ce système est capable de mesurer les paramètres vitaux du patient. Ces données sont affichées localement du côté du patient et envoyées régulièrement au médecin à l'aide de la plateforme IoT. Le système proposé utilise des capteurs non invasifs pour surveiller avec précision les paramètres vitaux comme la fréquence cardiaque, la SpO2 et la température corporelle. [8]

## II. Bibliographie

- [1] De Rosario Martínez, Helios, et al. "Stop a los accidentes por fatiga." *Revista de biomecánica* 61 (2014): 5-12.
- [2] Jackson, P., et al. "Fatigue and road safety: a critical analysis of recent evidence." *Department for Transport, Road Safety Web Publication* 21 (2011).
- [3] Kulkarni, Ankita S., and Sagar B. Shinde. "A review paper on monitoring driver distraction in real time using computer vision system." *2017 IEEE International Conference on Electrical, Instrumentation and Communication Engineering (ICEICE)*. IEEE, 2017.
- [4] Rogado, Elena, et al. "Driver fatigue detection system." *2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*. IEEE, 2009.
- [5] Jung, Sang-Joong, Heung-Sub Shin, and Wan-Young Chung. "Driver fatigue and drowsiness monitoring system with embedded electrocardiogram sensor on steering wheel." *IET Intelligent Transport Systems* 8.1 (2014): 43-50.
- [6] Gómez-Clapers, Joan, and Ramon Casanella. "A fast and easy-to-use ECG acquisition and heart rate monitoring system using a wireless steering wheel." *IEEE Sensors Journal* 12.3 (2011): 610-616.
- [7] Tan, Leyi, et al. "A real-time driver monitoring system using a high sensitivity camera." *Three-Dimensional and Multidimensional Microscopy: Image Acquisition and Processing XXVI*. Vol. 10883. *International Society for Optics and Photonics*, 2019.
- [8] Basu, Samik, Mahasweta Ghosh, and Soma Barman. "Raspberry PI 3B+ Based Smart Remote Health Monitoring System Using IoT Platform." *Proceedings of the 2nd International Conference on Communication, Devices and Computing*. Springer, Singapore, 2020.



# Etude anatomique et physiologique de l'appareil cardiorespiratoire

---

*CHAPITRE I*

*HAMZA CHERIF Fayssal*

## Table des matières

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE DU CŒUR</b> .....	<b>7</b>
2.1	CŒUR .....	7
2.2	MORPHOLOGIE DU CŒUR .....	7
2.3	CIRCULATION DU SANG .....	9
2.3.1	<i>Grande circulation</i> .....	9
2.3.2	<i>Petite circulation</i> .....	9
2.4	CYCLE CARDIAQUE.....	10
2.5	LA GENESE DU SIGNAL ELECTRIQUE CARDIAQUE .....	11
<b>3</b>	<b>ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE DU SYSTEME RESPIRATOIRE</b> .....	<b>12</b>
3.1	SYSTEME RESPIRATOIRE .....	12
3.2	ANATOMIE DU SYSTEME RESPIRATOIRE .....	13
3.3	PHYSIOLOGIE DE L'APPAREIL RESPIRATOIRE .....	16
3.4	PARAMETRES RESPIRATOIRES .....	17
<b>4</b>	<b>ÉLECTROCARDIOGRAMME</b> .....	<b>19</b>
4.1	ELECTROCARDIOGRAPHIE ECG .....	19
4.2	DERIVATIONS DE L'ÉLECTROCARDIOGRAMME .....	19
4.3	CARACTERISTIQUE DU SIGNAL ECG.....	20
<b>5</b>	<b>PHOTOPLETHYSMOGRAMME</b> .....	<b>22</b>
5.1	PHOTOPLETHYSMOGRAPHIE PPG.....	22
5.2	PULSATION DU SANG .....	23
5.3	RECUEIL DU SIGNAL PHOTOPLETHYSMOGRAPHIQUE .....	23
5.4	SYSTEME A DEUX LONGUEURS D'ONDES .....	24
5.5	MESURE PRATIQUE DE LA SATURATION .....	25
<b>6</b>	<b>PATHOLOGIES CARDIAQUES ET RESPIRATOIRES</b> .....	<b>25</b>
6.1	PATHOLOGIES CARDIAQUES .....	25
6.2	PATHOLOGIES RESPIRATOIRES .....	31
<b>7</b>	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>31</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>32</b>

## 1 Introduction

Les signaux physiologiques sont des grandeurs physiques prélevés sur le corps humain au moyen de capteurs appropriés. Ils sont détenteurs d'informations relatives à l'état physiopathologique du patient. Leurs traitements revêtent un caractère informationnel primordial, permettant d'éclairer le médecin dans son diagnostic et de le guider dans sa thérapeutique.

Ce chapitre est un rappel du contexte et des propriétés physiologiques du système cardiaque et respiratoire, de la description du signal physiologique Electrocardiogramme (ECG) représentant l'activité électrique du myocarde, du signal physiologique Photopléthysmogramme (PPG) représentant l'efficacité de l'échangeur pulmonaire au niveau des territoires alvéolo-capillaires, et enfin de la description des différentes pathologies cardiaques et respiratoires.

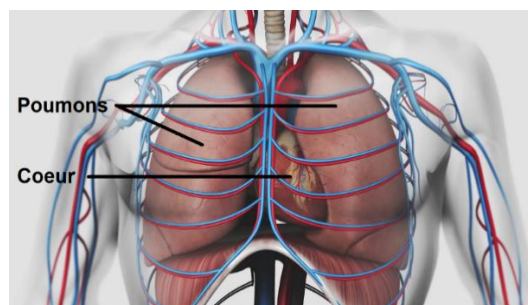
## 2 Anatomie et physiologie du cœur

### 2.1 Cœur

Le cœur est un organe creux et musculaire qui assure la circulation du sang en pompant le sang par des contractions rythmiques vers les vaisseaux sanguins et les cavités du corps. L'adjectif cardiaque veut dire « qui a rapport avec le cœur » ; il vient du mot grec *kardia* (καρδία) « cœur » [1], et de la racine indo-européenne *kér* (« entrailles »). [2]

### 2.2 Morphologie du cœur

Dans le corps humain, le cœur se situe dans la région thoracique (poitrine), où il occupe plus précisément la portion antéro-inférieure du médiastin (partie du corps située entre les cavités pleurales qui contiennent les poumons) (*Figure I.1*). Il est situé sur la ligne médiane, un peu décalé à gauche de telle sorte que deux tiers de sa masse sont situés du côté gauche. Le cœur est contenu dans la cavité péricardique qu'il occupe entièrement, et il est entouré par les poumons (recouverts de la plèvre) de chaque côté, le diaphragme en bas, le sternum en avant, l'œsophage en arrière et les troncs artériels (aorte et artère pulmonaire) en haut.



**Figure I. 1 : Le cœur et le poumon humain.**

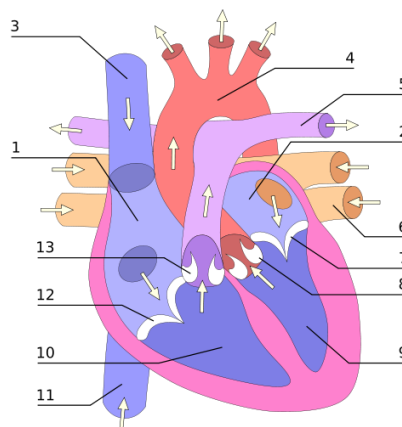


Le cœur est un organe fibromusculaire de forme grossièrement conique ou pyramidale avec une base et un sommet, l'apex (ou pointe). L'axe base-apex est orienté approximativement en avant et à gauche selon un angle de 45°, et légèrement vers le bas. On décrit au cœur les faces postérieure (ou basale), inférieure (ou diaphragmatique), antérieure (ou sternocostale), et latérales (ou pulmonaires) gauche et droite.

Le cœur d'un adulte mesure environ 12 cm de la base à l'apex. Son diamètre transversal maximal est de 9 cm et son diamètre antéro-postérieur est de 6 cm. À titre de comparaison, sa taille est d'environ 1,5 fois la taille du poing de la personne. Un peu moins gros chez la femme que chez l'homme, il mesure en moyenne chez celui-ci 105 mm de largeur, 98 mm de hauteur, 205 mm de circonférence. Le cœur d'un adulte pèse environ 300 g chez un individu masculin et 250 g chez un individu féminin, soit en principe, respectivement 0,45 et 0,40 % du poids corporel total.

Le cœur est un muscle creux contenant deux parties séparées bien qu'accolées l'une à l'autre : le cœur gauche et le cœur droit. Ces deux cœurs sont situés côte-à-côte dans l'axe base-apex, séparés par une paroi globalement verticale et orientée dans l'axe du cœur. Chacune de ces deux parties est subdivisée en deux chambres ou cavités, l'oreillette vers la base et le ventricule vers l'apex. Ces deux cavités sont séparées par une valve ; on distingue ainsi la valve mitrale, entre l'oreillette et le ventricule gauches, et la valve tricuspide, entre l'oreillette et le ventricule droits. L'organisation est symétrique entre le cœur gauche et le cœur droit, bien que le cœur gauche soit plus volumineux. *Figure I.2*

La paroi séparant les cavités gauche et droite est appelée septum ; on distingue le septum interventriculaire entre les ventricules gauche et droit, le septum interatrial entre les oreillettes gauche et droite, et le septum atrioventriculaire entre les oreillettes et les ventricules. La terminologie ne doit pas être source de confusion vis-à-vis des positions relatives ; en effet, du fait de l'axe globalement oblique vers la gauche, le cœur gauche est grossièrement situé en arrière et à gauche du cœur droit, exception faite de l'apex, principalement constitué de l'extrémité du cœur gauche. [2]



**Figure I. 2 : Schéma simplifier du cœur.**

- 1. Oreillette droite - 2. Oreillette gauche - 3. Veine cave supérieure - 4. Aorte - 5. Artère pulmonaire  
6. Veine pulmonaire gauche inférieure - 7. Valve mitrale - 8. Valve aortique - 9. Ventricule gauche**

## 2.3 Circulation du sang

La circulation du sang est le trajet effectué par le sang dans les vaisseaux sanguins, que ceux-ci soient des veines ou des artères.

Le point de départ de tout, c'est le cœur. Ou plus exactement les cœurs. En effet le cœur est séparé en deux compartiments : [3]

- ✓ Le cœur gauche qui délivre le sang artériel à tout l'organisme : c'est la grande circulation
- ✓ Le cœur droit qui envoie le sang veineux vers les poumons pour y être oxygéné : c'est la petite circulation encore appelée circulation pulmonaire.

### 2.3.1 Grande circulation

La grande circulation, appelée aussi circulation systémique, est une partie de l'appareil cardiovasculaire dont la fonction est d'amener le sang oxygéné qui part du cœur à tous les organes du corps puis de renvoyer ce sang veineux (sang pauvre en oxygène et riche en gaz carbonique) au cœur. [4]

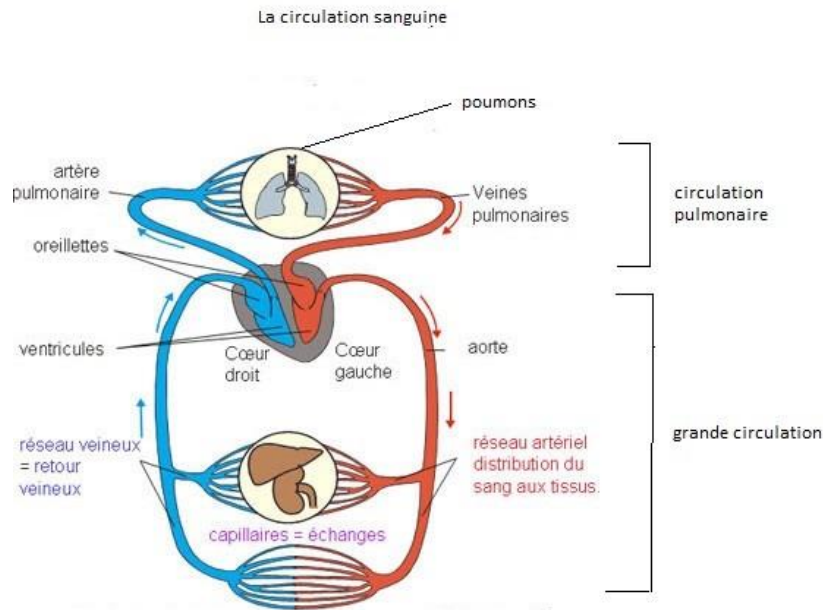
Cette grande circulation se distingue de la petite circulation (appelée aussi circulation pulmonaire). La circulation systémique et la circulation pulmonaire mises ensemble forment ce que l'on appelle la circulation générale. [5]

La circulation systémique comporte deux parties : la macro-circulation artérielle et veineuse et la microcirculation capillaire. Le sang oxygéné est propulsé par le ventricule gauche du cœur dans l'aorte avant d'atteindre les artères, les artérioles et enfin les réseaux de capillaires. Le sang désoxygéné quitte les capillaires pour se rendre dans les veinules, puis dans les veines. Il revient à l'oreillette droite du cœur par le système des deux veines caves. [6]

### 2.3.2 Petite circulation

Elle est courte : le sang veineux part du ventricule droit et est éjecté dans l'artère pulmonaire. Celle-ci gagne les poumons où le sang sera oxygéné. Il sort alors des poumons par de petites veines pulmonaires qui se réunissent pour former les 4 veines pulmonaires qui vont se jeter dans l'oreillette gauche. De là elle passera dans le ventricule gauche : on est revenu au point de départ, dans la grande circulation. [3]

*Figure I.3*



**Figure I. 3 : La circulation sanguine.**

## 2.4 Cycle cardiaque

La fréquence cardiaque au repos chez l'Homme est de 60 à 80 battements par minute, pour un débit de 4,5 à 5 litres de sang par minute. Au total, le cœur peut battre plus de 2 milliards de fois en une vie. Chacun de ses battements entraîne une séquence d'événements collectivement appelés la révolution cardiaque. Celle-ci consiste en trois étapes majeures : la systole auriculaire, la systole ventriculaire et la diastole.

1. Au cours de la systole auriculaire, les oreillettes se contractent et éjectent du sang vers les ventricules (remplissage actif). Une fois le sang expulsé des oreillettes, les valves auriculo-ventriculaires entre les oreillettes et les ventricules se ferment. Le sang continue tout de même à affluer dans les oreillettes. Ceci évite un reflux du sang vers les oreillettes. La fermeture de ces valves produit le son familier du battement du cœur.
2. La systole ventriculaire implique la contraction des ventricules, expulsant le sang vers le système circulatoire. En fait, dans un premier temps, très bref, les valvules sigmoïdes sont fermées. Dès que la pression à l'intérieur des ventricules dépasse la pression artérielle, les valvules sigmoïdes s'ouvrent. Une fois le sang expulsé, les deux valvules sigmoïdes - la valve pulmonaire à droite et la valve aortique à gauche - se ferment. Ainsi le sang ne reflue pas vers les ventricules. La fermeture des valvules sigmoïdes produit un deuxième bruit cardiaque plus aigu que le premier. La pression sanguine augmente.

3. Enfin, la diastole est la relaxation de toutes les parties du cœur, permettant le remplissage (passif) des ventricules (plus de 80 % du remplissage dans les conditions usuelles), par les oreillettes droite et gauche et depuis les veines cave et pulmonaire. Les oreillettes se remplissent doucement et le sang s'écoule dans les ventricules.

Le cœur au repos passe un tiers du temps en systole et deux tiers en diastole.

L'expulsion rythmique du sang provoque ainsi le pouls.

## 2.5 La genèse du signal électrique cardiaque

Comme tous les muscles du corps, la contraction du myocarde est provoquée par la propagation d'une impulsion électrique le long des fibres musculaires cardiaques induite par la dépolarisation des cellules musculaires. En effet, le cœur comporte un réseau intrinsèque de cellules conductrices qui produisent et propagent des impulsions électriques, ainsi que des cellules qui répondent à ces impulsions par une contraction. Lors d'une activité cardiaque normale, la stimulation électrique du myocarde naît du nœud sinusal (ou nœud de Keith & Flack), qui est un pacemaker naturel du cœur. Après avoir traversé l'oreillette, cette stimulation électrique transite par le nœud auriculo-ventriculaire (ou nœud d'Aschoff Tawara) arrive au faisceau de His, les branches de Tawara et le réseau terminal de Purkinje. Pendant la période d'activité (liée à la systole) et de repos (liée à la diastole), les cellules cardiaques sont le siège de phénomènes complexes électriques membranaires et intracellulaires, qui sont à l'origine de la contraction.

L'activité électrique d'une cellule se résume par sa polarisation, dépolarisation et sa repolarisation. Le myocarde a comme particularité de présenter une dépolarisation spontanée. Cette activité électrique va générer une dépolarisation qui se propage à l'intérieur du cœur par l'intermédiaire du système nerveux intrinsèque. Ces signaux sont recueillis depuis la surface du corps à l'aide d'électrodes. Une contraction musculaire est associée à une migration d'ions générant des différences de potentiels mesurables par des électrodes convenablement placées. La dépolarisation cellulaire cardiaque désigne les brusques mouvements ioniques transmembranaires se transmettant de cellule à une autre ce qui mène à la contraction de la cellule cardiaque. Les cellules du myocarde présentent une différence de potentiel ( $\Delta P$ ) électrique de part et d'autre de leurs membranes due aux différences de concentrations en ions Sodium  $\text{Na}^+$ , Potassium  $\text{K}^+$ , Calcium  $\text{Ca}^{2+}$  et Chlorure  $\text{Cl}^-$ . [7] *Figure I.4*

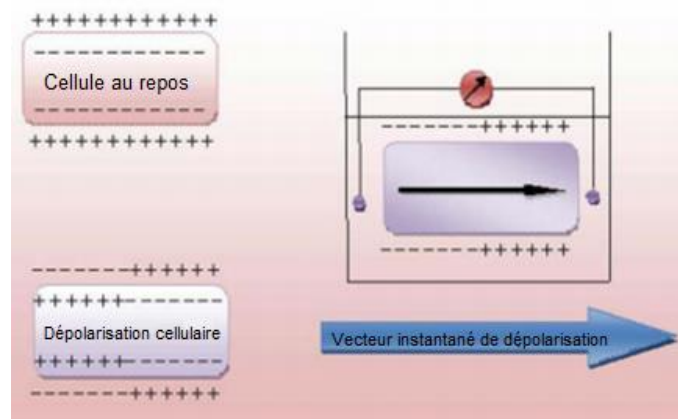


Figure I. 4 : Vecteur instantané de dépolarisation.

### 3 Anatomie et Physiologie du Système Respiratoire

#### 3.1 Système respiratoire

La fonction respiratoire peut être définie comme l'ensemble des processus aboutissant aux échanges gazeux entre un organisme et son environnement. Chez l'homme la respiration se subdivise en quatre composantes : la ventilation, le débit sanguin, la diffusion et le contrôle ventilatoire. [8]

Les explorations fonctionnelles respiratoires comprennent classiquement :

- ✓ La mesure des volumes pulmonaires et des débits ventilatoires forcés,
- ✓ La mesure des gaz du sang,
- ✓ L'étude de la mécanique respiratoire, de la fonction des muscles respiratoires, de la commande ventilatoire,
- ✓ La mesure de la capacité de transfert de l'oxyde de carbone,
- ✓ Les épreuves d'exercice,
- ✓ Le cathétérisme cardiaque droit.

La fonction respiratoire est assurée par les poumons et elle est sous forme de phénomènes d'ordre mécaniques et chimiques. [8]

**Sur le plan mécanique**, la respiration se fait en deux temps :

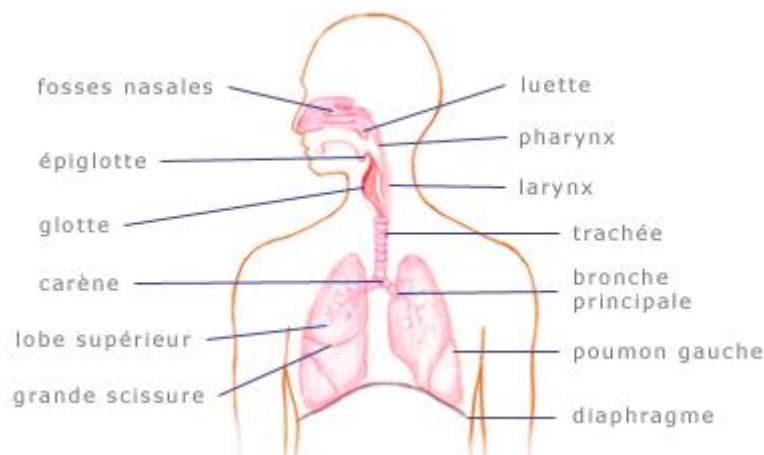
- ✓ Un premier temps au cours duquel il y a excursion des poumons et expansion de la cage thoracique c'est l'inspiration.
- ✓ Un deuxième temps qui amène une incursion des poumons et de la cage thoracique c'est l'expiration.

**Sur le plan chimique**, la respiration fait intervenir des phénomènes d'échange gazeux :

- ✓ Lors de l'inspiration, il y a une pénétration d'oxygène  $O_2$  dans les poumons.
- ✓ Lors de l'expiration, il y a rejet du gaz carbonique  $CO_2$  par les poumons. L'appareil respiratoire permet alors les échanges gazeux alvéolo-capillaires entre les liquides circulant et le milieu environnant en assurant la fixation d'oxygène par l'hémoglobine et le rejet du gaz carbonique conformément aux lois de diffusion des gradients de concentration d'oxygène et du gaz carbonique.

## 3.2 Anatomie du système respiratoire

L'appareil respiratoire est formé d'un ensemble d'organes : [9] *Figure I.5*



**Figure I. 5 : Schéma de l'appareil respiratoire.**

### 3.2.1 L'arbre respiratoire

Cet arbre respiratoire comprend :

#### 3.2.1.1 Les voies aériennes supérieures

- ✓ **Le nez ;**
- ✓ **La bouche ;**
- ✓ **L'arrière-gorge (oropharynx) :** c'est la partie inférieure revêtu d'une muqueuse de type digestif, mesure = 13 cm de long et s'étend des narines internes (choanes) jusqu'au niveau du cartilage cricoïde, cet arrière gorge possède une paroi composée de muscles squelettiques et délimitée par une muqueuse permettant le passage de l'air et de la nourriture. [10]
- ✓ **Le larynx :** considère comme un carrefour situé entre la bouche et l'œsophage. C'est là que les voies respiratoires croisent les voies digestives.

### 3.2.1.2 Les voies respiratoires inférieures comprennent [11]

- ✓ **La trachée** : est un gros conduit constitué d'une vingtaine d'anneaux, cartilagineux. Elle permet le passage de l'air vers les poumons. La trachée se prolonge par bronches. *Figure I.6*
- ✓ **Les bronches** : Deux bronches principales (*Figure I.6*), desservent le poumon droit et le poumon gauche. Chacune de ces bronches se subdivise en arrivant aux poumons (au niveau du hile) en bronches lobaires puis segmentaires. Par la suite, elles se divisent en bronches de plus en plus petites, jusqu'aux bronchioles.

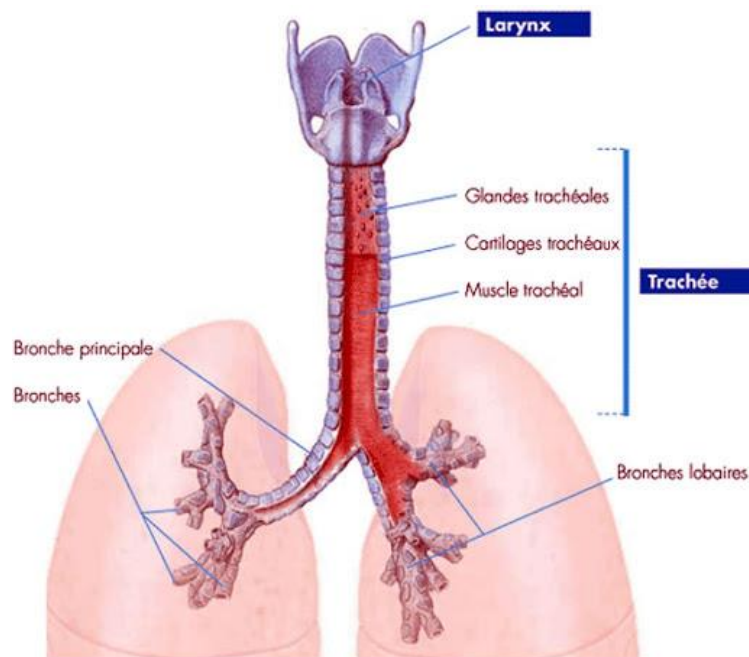


Figure I. 6 : La trachée et les bronches.

- ✓ **Les bronchioles** : Les bronchioles (*Figure I.7*) n'ont pas de cartilage, elles sont fines comme des cheveux et se terminent par des minuscules sacs plein d'air : les alvéoles pulmonaires.

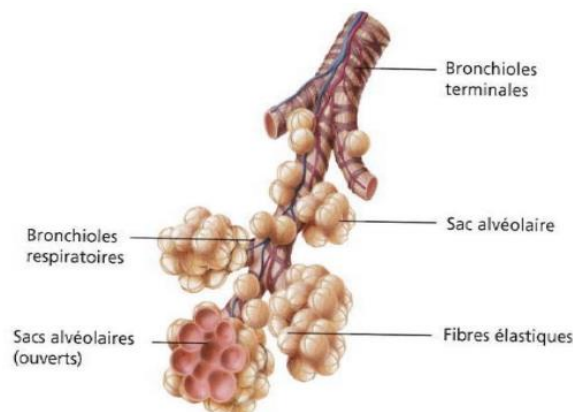


Figure I. 7 : Les bronchioles.

- ✓ **Les alvéoles pulmonaires** : Elles sont au nombre d'environ 200 millions.
  - quand vous inspirez, les alvéoles se gonflent,
  - quand vous expirez, elles diminuent de volume en se vidant.
- ✓ **Les capillaires pulmonaires** : Les capillaires pulmonaires (*Figure I.8*) sont des petits vaisseaux sanguins qui entourent l'alvéole. C'est à travers leurs parois que se font les échanges gazeux.

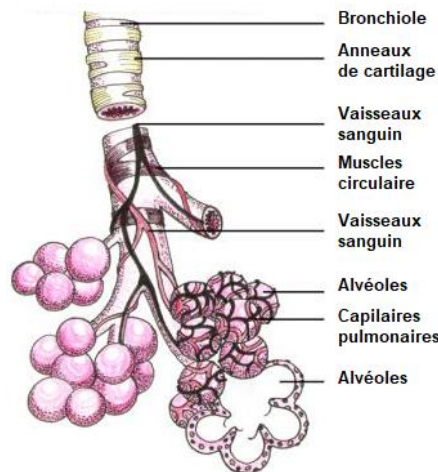
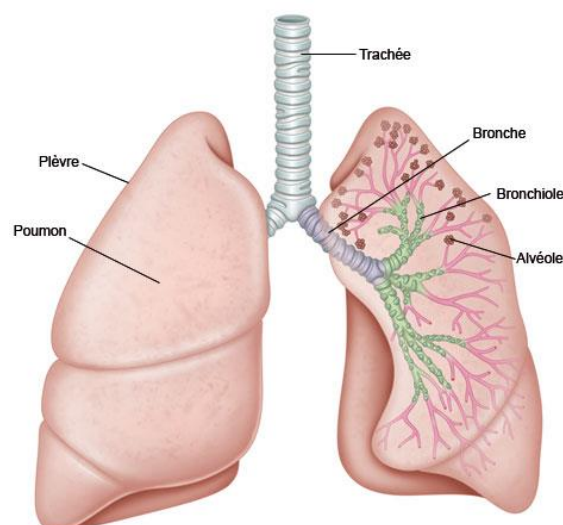


Figure I. 8 : Schéma d'un capillaire pulmonaire.

### 3.2.2 Les poumons

Ils sont constitués par les bronchioles, les alvéoles et les capillaires pulmonaires.[11] *Figure I.9*

- ✓ **Le poumon droit** est constitué de trois lobes.
- ✓ **Le poumon gauche** a deux lobes. Sa face interne présente un emplacement où se loge le cœur.
- ✓ **La plèvre** : Cette dernière est une mince membrane à deux feuillets, dont l'un tapisse la paroi intérieure du thorax et l'autre la face externe des poumons. Entre les deux feuillets de la plèvre, une infime quantité de liquide (liquide intra pleurale) permet aux poumons de glisser doucement à l'intérieur de la cage thoracique.





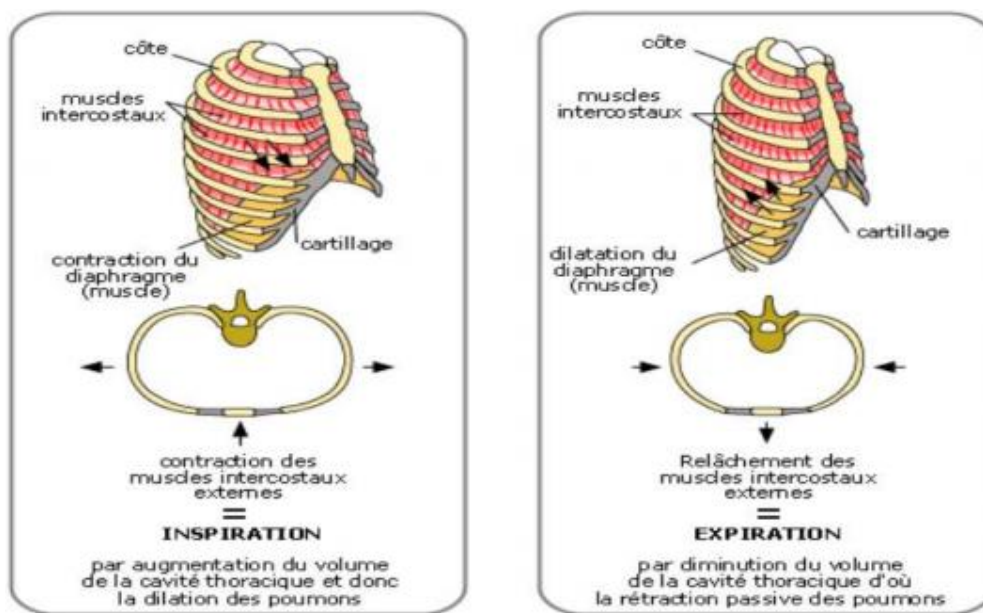
**Figure I. 9 : Schéma d'un poumon.****3.2.3 Les muscles de la respiration :**

Les muscles de la respiration (*Figure I.10*) modifient le volume de la cage thoracique.

Le diaphragme se situe en dessous de la cage thoracique et sépare cette dernière de l'abdomen. C'est le muscle le plus important pour la respiration qui est actif à l'inspiration.

L'inspiration se fait grâce à la contraction du muscle diaphragmatique et l'expiration se fait par simple relaxation thoracique d'autres muscles interviennent au cours des respirations forcées :

- ✓ les muscles intercostaux (entre les côtes),
- ✓ les muscles abdominaux, les muscles du cou, les muscles du nez etc... [11]



**Figure I. 10 : Muscles respiratoires (inspiration et expiration).**

**3.3 Physiologie de l'appareil respiratoire**

La respiration correspond à deux mécanismes : l'inspiration qui fournit l'oxygène de l'air à l'organisme et l'expiration qui permet d'éliminer le  $CO_2$ . Cet échange gazeux se produit au niveau des poumons, dans les alvéoles pulmonaires grâce à une différence de pression entre les deux côtés (un gaz s'écoule du milieu le plus concentré vers le moins concentré). Le terme de respiration a aussi un autre sens lorsqu'il correspond aux réactions chimiques oxydatives à l'intérieur des cellules de l'organisme : c'est la respiration cellulaire (elle correspond à la consommation d'oxygène au niveau cellulaire pour dégrader le glucose ou les lipides et produisant du  $CO_2$ , qui est donc un déchet de cette dégradation). *Figure I.11*

L'échange gazeux au niveau des alvéoles pulmonaires s'effectue par diffusion (dite alvéolo-capillaire) grâce à un mécanisme appelée la ventilation pulmonaire qui correspond à l'ensemble des mouvements respiratoires assurant le renouvellement de l'air passant par les poumons. Ces mouvements se font grâce

aux muscles respiratoires intercostaux et diaphragme (muscle fin à la base des poumons qui sépare la cage thoracique de l'abdomen).

La respiration est un phénomène automatique et spontané. Au repos, le rythme ou fréquence respiratoire d'un adulte moyen est de 16 respirations par minute.

Chaque jour, un adulte inspire environ 8000 litres d'air (à raison de 0,5 litre d'air environ par inspiration). [9]

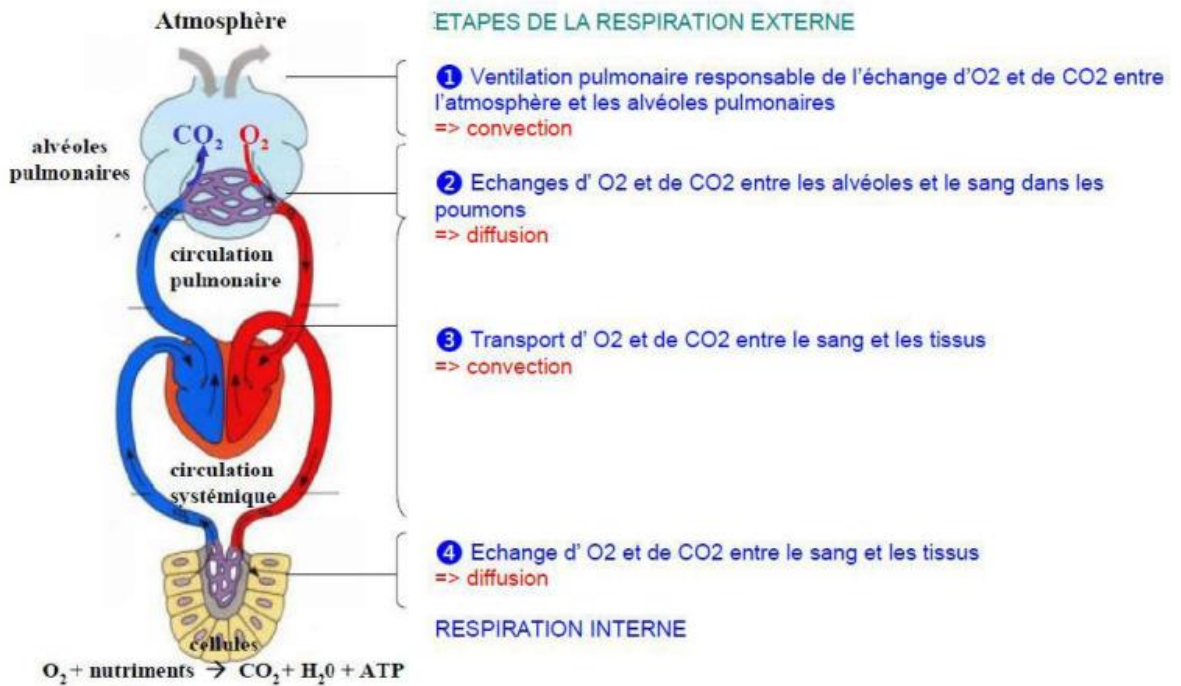


Figure I. 11 : Les étapes de la respiration externe.

### 3.4 Paramètres respiratoires

Les poumons peuvent ainsi être divisés en différents volumes selon le schéma suivant : La *Figure I.12* montre les différents volumes et capacités pulmonaires explorés par pneumotachographe.



Figure I. 12 : Volume et la capacité pulmonaire chez l'homme.

Certains volumes peuvent être inspirés ou expirés ce qui signifie qu'ils sont mobilisables relativement faciles à mesurer. [12] [13]

- ✓ **Capacité Vitale (CV)** est le plus grand volume d'air qui peut être rejeté par une expiration forcée après une inspiration forcée : c'est le volume maximal mobilisable en une seule fois par le soufflet thoracique. Il se décompose en trois fractions : le volume de réserve inspiratoire, le volume de réserve expiratoire et l'air courant. Sa valeur dépend pour chaque sujet de ses caractéristiques physiques (taille, âge, sexe) ; elle varie de 3 à 6 litres environ chez l'homme, et de 2.5 à 4 litres chez la femme.

Correspond au volume global mobilisable par le patient suite à une expiration forcée.

$$CV = VT + VRI + VRE$$

- ✓ **Volume de Réserve Inspiratoire (VRI)** est le volume d'air qui peut être introduit dans les voies aériennes par une inspiration forcée faisant suite à une inspiration calme.
- ✓ **Volume de Réserve Expiratoire (VRE)** est le volume d'air qui peut être chassé des voies aériennes par une inspiration forcée faisant suite à une expiration calme.
- ✓ **Volume Courant ou Tidal Volume (VT)** est le volume déplacé lors d'un cycle respiratoire normal. Autrement dit c'est le volume d'air mobilisé à l'inspiration et à l'expiration.
- ✓ **Capacité Totale** est le plus grand volume d'air qui peut être contenu dans les poumons et les voies aériennes à la suite d'une inspiration maximale ; elle est la somme du volume résiduel et de la capacité vitale
- ✓ **VEMS** est le Volume Expiré Maximal à la première Seconde d'une manœuvre forcée. Nous verrons par la suite que le VEMS est un paramètre important dans l'appréciation des maladies du mécanisme respiratoire.
- ✓ **Volume Résiduel (VR)**, en revanche, correspond au volume gazeux qui reste toujours dans les poumons et ne peut donc jamais être expiré. Il s'agit d'un volume non-mobilisable dont la mesure est, par essence, plus difficile. Le volume résiduel ne correspond cependant pas au volume contenu dans les poumons à la fin d'une expiration normale. Ce volume, qui s'appelle la **Capacité Résiduelle Fonctionnelle (CRF)**, comprend le volume résiduel mais aussi le volume de réserve expiratoire qui, lui, peut être expiré lors d'un effort expiratoire supplémentaire des forces de rappel élastique des poumons et de la cage thoracique, en fin d'expiration courante.

Durant une respiration normale, le volume d'air inspiré est d'environ 0.5L (sujet normal de 70kg).

Cependant seulement une partie de ce volume contribue à l'oxygénation du sang parce qu'aucun échange gazeux ne se fait entre l'air et le sang dans la bouche, la trachée et les bronches.

L'air remplissant ces parties est appelé air 'espace mort' et chez l'adulte il est de 0.15L, le reste de l'air inspiré ventilé les alvéoles est contribué dans les échanges gazeux. Dans des conditions normales et durant chaque minute, environ 250ml d'Oxygène est consommé et 250ml de CO<sub>2</sub> est dégagé.

- ✓ **L'espace (volume) mort physiologique** est le volume d'air qui ne participe pas aux échanges gazeux « dead space » =VD.

L'espace (volume) mort physiologique = espace mort anatomique (air contenu dans les voies aériennes de conduction) + espace mort alvéolaire (air contenu dans un territoire alvéolaire ventilé mais mal perfusé).

- ✓ **Volume Gazeux Thoracique (VGT)** est le volume gazeux présent dans le thorax, à tout moment et à tout niveau de compression thoracique, on le mesure généralement par pléthysmographie.

## 4 Électrocardiogramme

### 4.1 Electrocardiographie ECG

L'électrocardiographie (ECG) correspond à l'enregistrement de l'activité électrique myocardique, via des électrodes positionnées dans des différents points du corps ; au niveau de la peau. On appelle électrocardiogramme(ECG) le tracé de l'activité électrique qui est le signal biomédical le plus étudié pour caractériser les anomalies cardiaques et l'analyse de ces enregistrements permet de diagnostiquer un grand nombre de pathologies. [14]

### 4.2 Dérivations de l'électrocardiogramme

La dérivation du courant d'action du cœur se fait toujours entre deux points reliés aux bornes de l'électrocardiographe. Selon les différentes dérivations, l'électrocardiogramme se présente différemment. C'est en confrontant ces différentes dérivations que l'on arrive à avoir une représentation significative. Il existe classiquement douze dérivations, donc douze points d'observation différents de l'activité électrique du cœur. [15] *Figure 1.13*

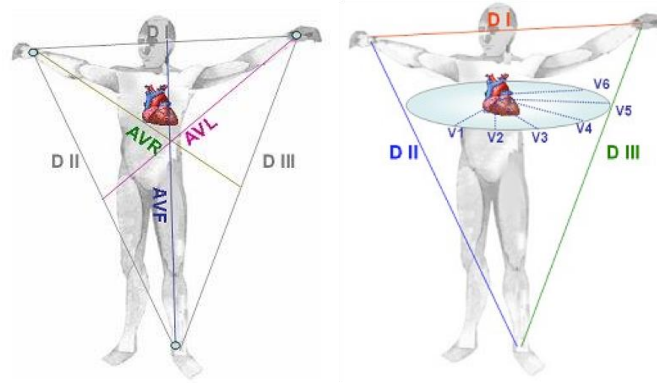


Figure I. 13 : Les 12 dérivations de l'ECG.

1. Dérivations bipolaires DI, DII, DIII - 2. Dérivations unipolaires : aVR, aVL, aVF - 3. Dérivations unipolaires précordiales : V1, V2, V3, V4, V5, V6

### 4.3 Caractéristique du signal ECG

L'analyse de l'électrocardiogramme comprend la mesure des amplitudes et durées ainsi que l'examen de la morphologie de l'onde P, du complexe QRS, de l'onde T, de l'intervalle PR, du segment ST, de l'intervalle QT [16] (Figure I.14). Ces composantes réunies forment le cycle cardiaque complet, elles sont définies comme suit : [17]

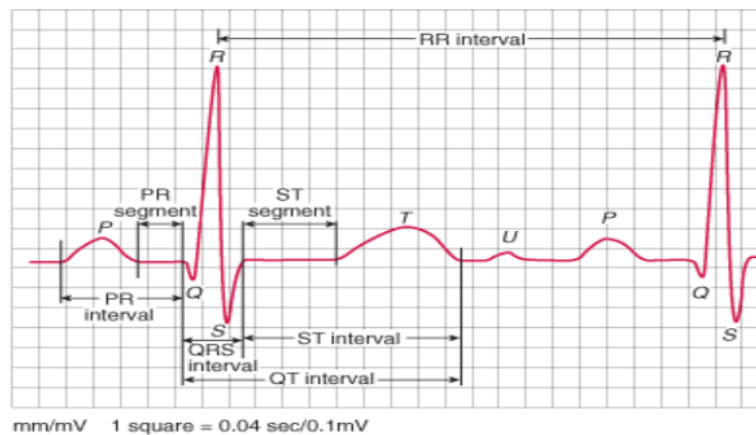


Figure I. 14 : Tracé électrocardiographique (ECG Normal).

#### ✓ Onde P

Elle représente la dépolarisation auriculaire. Cette onde peut être positive ou négative avec une durée de l'ordre de 90 ms. Généralement son observation est difficile, spécialement dans des conditions bruitées. Il faut noter que la repolarisation auriculaire n'est pas visible sur l'ECG car elle coïncide avec le complexe QRS d'amplitude plus importante

#### ✓ Complexe QRS

Il correspond à la dépolarisation ventriculaire précédant l'effet mécanique de contraction et il possède la plus grande amplitude de l'ECG. Il est constitué de trois ondes consécutives : l'onde Q qui est négative,

l'onde R qui est positive dans un ECG normal et l'onde S qui est négative. Sa durée normale est comprise entre 85 et 95 ms.

#### ✓ **Onde T**

Elle correspond à la repolarisation des ventricules, qui peut être négative, positive ou biphasique et qui a normalement une amplitude plus faible que le complexe QRS. Bien que la dépolarisation et la repolarisation des ventricules soient des événements opposés, l'onde T est normalement du même signe que l'onde R, ce qui indique que la dépolarisation et la repolarisation ne sont pas symétriques.

#### ✓ **Onde U**

C'est une déflexion positive de faible amplitude qui est parfois observée après l'onde T et presque uniquement visible dans les précordiales. Sa signification exacte reste discutée. L'ECG est aussi caractérisé par plusieurs intervalles comme on peut le voir sur la *Figure 1.14*.

#### ✓ **Intervalle PR**

C'est un segment isoélectrique mesuré du début de l'onde P jusqu'au début du complexe QRS. C'est le temps que met l'onde pour aller du nœud sinusal, dépolariser les oreillettes, parcourir le nœud auriculo-ventriculaire et le faisceau de HIS, jusqu'au début des deux branches de ce dernier (temps conduction auriculo ventriculaire).

#### ✓ **Intervalle PQ**

Il représente l'intervalle de temps entre le début de la dépolarisation des oreillettes et le début de la dépolarisation ventriculaire. Il représente le temps nécessaire à l'impulsion électrique pour se propager du nœud sinusal jusqu'aux ventricules et il est mesuré entre le début de l'onde P et le début du complexe QRS.

#### ✓ **Intervalle QT**

Il représente la durée entre le début du complexe QRS et la fin de l'onde T. Cet intervalle reflète la durée de la dépolarisation et repolarisation ventriculaire. En effet sa dynamique peut être associée à des risques d'arythmie ventriculaire et de mort cardiaque soudaine.

#### ✓ **Intervalle ST ou RST**

Il sépare la fin de la dépolarisation (fin du complexe QRS) et le début de la repolarisation ventriculaire (début de l'onde T).

#### ✓ **Intervalle RR**

Cet intervalle désigne le temps entre deux ondes R successives. La facilité de la détection de l'onde R donne l'importance de cet intervalle qui sert à mesurer la fréquence cardiaque.

	Onde P	Intervalle PQ	Complexe QRS	Intervalle ST	Intervalle QT	Onde T
Durée (sec)	0.08- 0.1	0.12-0.2	0.08	0.20	0.36	0.2
Amplitude (mV)	(Pa) 0.25	Isoélectrique : 0	Q<0, R>0, S<0	Isoélectrique : 0	-	Ta>0

(a)

Type d'onde	Origine	Amplitude (mV)	Durée (sec)
L'onde P	Dépolarisation artérielle	0.2	Intervalle : P-R 0.12 – 0.22
L'onde R	Repolarisation et dépolarisation ventriculaire	1.60	0.07 – 0.1
L'onde T	Repolarisation des ventricules	0.1 – 0.5	Intervalle : Q-T 0.35 – 0.44
Intervalle S – T	Contraction ventriculaire	-	Intervalle : S-T 0.015 – 0.5

(b)

**Tableau I. 1 : Valeurs habituelles des différents paramètres caractérisant d'un battement cardiaque.**

## 5 Photopléthysmogramme

### 5.1 Photopléthysmographie PPG

La photo-pléthysmographie est devenue une technique d'exploration fonctionnelle respiratoire et cardiovasculaire non invasive permettant de diagnostiquer des affections telles que la tachycardie ventriculaire qui est souvent secondaire à un infarctus du myocarde ou une lésion de fibrose dans une cardiomyopathie. Souvent une tachycardie est causée par une hypoxémie qui est la diminution de la quantité d'oxygène transportée dans le sang. La pression artérielle en O<sub>2</sub> diminue.

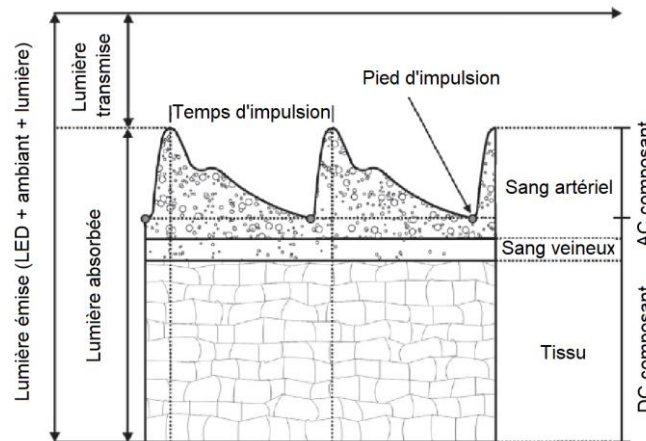
La photo-pléthysmographie est une méthode optique qui permet de prélever le signal photopléthysmographique PPG (*Figure I.15*). Ce tracé découle de la modification de l'atténuation de l'énergie lumineuse transmise par les tissus sur lesquels la lumière a été appliquée. [18]



**Figure I. 15 : Forme du signal PPG.**

## 5.2 Pulsation du sang

La lumière qui traverse les tissus biologiques (*par exemple, le doigt ou lobe de l'oreille*) est absorbée par les différentes substances absorbantes. Les premiers absorbeurs de lumière dans la région d'intérêt sont les pigmentations de la peau, les os et le sang artériel et veineux. au lieu de faire les mesures sur le sang *in vitro* avec un échantillon de sang artériel et d'un spectrophotomètre. la photo-pléthysmographie sur le doigt utilise la pulsation artérielle. La **Figure I.16** illustre la quantité de lumière transmise et absorbée dans les tissus vivants en fonction du temps. [19]



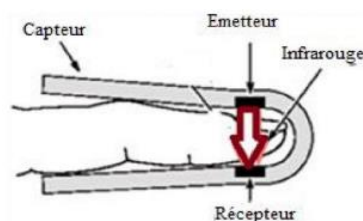
**Figure I. 16 : Représentation simplifiée de l'absorption de la lumière par les tissus vivants.**

## 5.3 Recueil du signal Photopléthysmographique

Celui-ci utilise la spectrophotométrie d'absorption moléculaire dans l'infrarouge pour l'enregistrement de l'oxyhémoglobine pulsée  $HbO_2$  [20] par la mise à contribution d'une diode émettrice dans l'infrarouge et d'un phototransistor comme le montre la **Figure I.17**.

L'enregistrement de l'oxyhémoglobine pulsée rend compte de l'efficacité de l'échangeur pulmonaire [21] c'est-à-dire de la diffusion alvéolo-capillaire et par voie de conséquence d'une éventuelle hypoxémie.

Le principe consiste à émettre une lumière monochromatique par le biais diode électro lumineuse dans l'infrarouge et d'évaluer l'absorption de celle-ci par le biais d'une cellule photo électrique réceptrice (photo transistor).

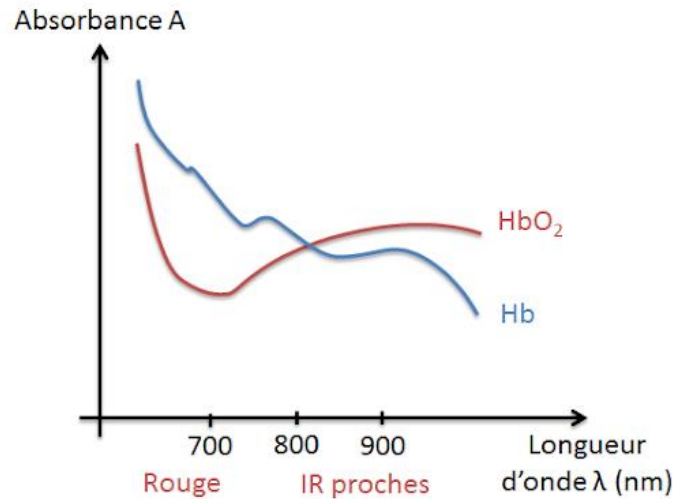


**Figure I. 17 : Schéma de principe du recueil du signal PPG.**



## 5.4 Système à deux longueurs d'ondes

Le fait que l'hémoglobine réduite l'Hb et l'oxyhémoglobine l'HbO<sub>2</sub> (*Figure I.18*) absorbent la lumière différemment suggère la possibilité d'utiliser l'absorption de la lumière pour calculer la saturation en oxygène (SaO<sub>2</sub>).



**Figure I. 18 : Absorption de la lumière par l'Hb et l'HbO<sub>2</sub>.**

Le sang contient habituellement quatre formes d'hémoglobine : l'oxyhémoglobine (HbO<sub>2</sub>), l'hémoglobine réduite (Hb), la méthémoglobine (HbMet) et la carboxyhémoglobine (HbCO). [22]

Mises à part des situations pathologiques, la méthémoglobine et la carboxyhémoglobine ne sont présentes qu'à des concentrations faibles. Comme les définitions initiales de la saturation de l'hémoglobine en oxygène reposaient sur la mesure de la saturation en oxygène du sang artériel (SaO<sub>2</sub>), elles ne prenaient en compte que les deux types d'hémoglobine jouant un rôle dans le transport en oxygène, à savoir HbO<sub>2</sub> et Hb, ce qui a permis de définir la saturation fonctionnelle.

$$SaO_2 \text{ fonctionnelle} = \frac{HbO_2}{HbO_2 + Hb} * 100\%$$

La mise au point d'oxymétries de laboratoire a rendu possible la mesure des quatre formes d'hémoglobine et a donc permis de déterminer le pourcentage de chacune de ces formes dans l'hémoglobine totale, et donc la saturation réelle :

$$SaO_2 \text{ réelle} = \frac{HbO_2}{HbO_2 + Hb + HbCO + HbMet} * 100\%$$

L'utilisation de deux longueurs d'onde permet de différencier l'hémoglobine réduite et l'oxyhémoglobine. L'hémoglobine réduite absorbe plus de lumière dans le rouge (660nm) que l'oxyhémoglobine. L'oxyhémoglobine absorbe plus dans l'infrarouge (940 nm). On utilise donc un système à deux longueurs d'onde qui permet de différencier l'Hb et l'HbO<sub>2</sub>. [23]

## 5.5 Mesure pratique de la saturation

L'oxymétrie de pouls commence par mesurer la composante «alternative» (CA) de l'absorption (absorption de la lumière par le sang artériel pulsatile) pour chacune des deux longueurs d'onde. Puis, il divise la valeur obtenue par la composante «continue» (CC) qui lui correspond (absorption de lumière par les tissus, y compris les sangs veineux et capillaire, ainsi que la fraction du débit artériel qui n'est pas pulsatile) pour obtenir un niveau d'absorption «relatif au pouls» qui est indépendant de l'intensité de la lumière incidente. L'oxymétrie calcule alors le rapport R de ces absorptions relatives, qui sont liées à la SaO<sub>2</sub> par une formule empirique :

$$R = \frac{\frac{CA}{CC} \text{ rouge}}{\frac{CA}{CC} \text{ infrarouge}}$$

Une courbe de calibrage est alors déterminée empiriquement avec les valeurs de la saturation obtenue par des volontaires (**Figure I.19**) L'oxymétrie de pouls utilise pour calculer le taux d'oxygène dans le sang, selon la formule précédente. [22]

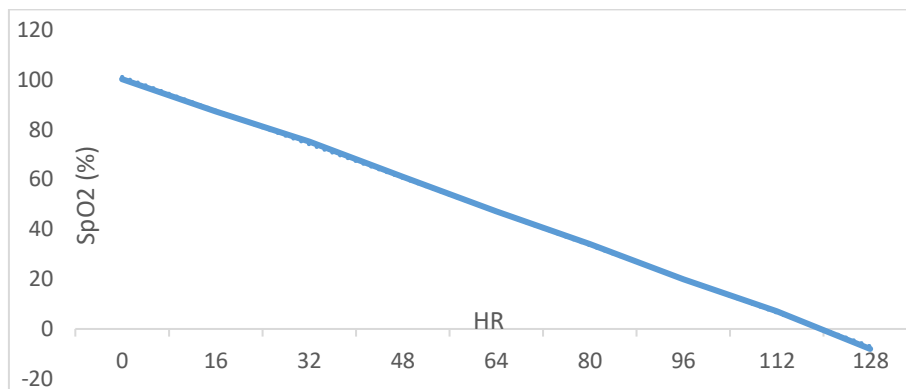


Figure I. 19 : Courbe empirique pour la mesure de la saturation.

## 6 Pathologies cardiaques et respiratoires

### 6.1 Pathologies cardiaques

L'électro-cardiologie est une discipline qui a pour objectif de décrire les anomalies de fonctionnement du cœur en étudiant la forme, la fréquence et l'évolution des signaux électriques cardiaques. [18]

Cette partie décrit brièvement les différentes pathologies cardiaques susceptibles d'être repérées en étudiant le signal ECG. L'objectif, ici, n'est pas d'analyser précisément leurs origines et leurs conséquences sur le fonctionnement cardiaque, ni de décrire les traitements que ces pathologies nécessitent, mais simplement de mettre en relation certaines observations anormales du tracé ECG avec les pathologies les plus courantes. Il s'agit ainsi, d'effectuer un diagnostic à partir de l'étude des caractéristiques des ondes P, Q, R, S et T (formes, durée relatives...), au-delà d'une simple analyse de rythme.

L'analyse de l'électrocardiogramme comprend la mesure des amplitudes et durées ainsi que l'examen de la morphologie de l'onde P, du complexe QRS, de l'onde T, de l'intervalle PR, du segment ST, de l'intervalle QT...

Les paramètres liés à l'étude du rythme et de la forme des ondes de l'ECG sont :

### 6.1.1 Rythme cardiaque

Lorsqu'on parle de rythme cardiaque, on parle à la fois du lieu de genèse de l'activité électrique du cœur et de la régularité ou non de sa propagation. Ainsi, on parle de rythme sinusal régulier lorsqu'il est :

- ✓ **régulier** : l'intervalle R-R est quasi-constant sur tout le tracé, avec des complexes QRS similaires ;
- ✓ **sinusal** : l'activité électrique est générée par le nœud sinusal ;

L'analyse du rythme cardiaque à partir de l'électrocardiogramme se fait donc en deux étapes vérifiant, d'une part la régularité du rythme, et d'autre part l'origine du rythme cardiaque qui peut être :

- ✓ **Sinusal** (du nœud sinusal : une onde P précède chaque complexe QRS) ;
- ✓ **Jonctionnel** (du nœud auriculo-ventriculaire : complexes QRS fins et onde P rétrograde) ;
- ✓ **Ventriculaire** (myocytes ventriculaires : complexe QRS élargi et sans onde P) ;
- ✓ **Ectopique** (issu des cellules musculaires auriculaires : onde P anormale et complexe QRS normal) ;
- ✓ **Artificiel** (pacemaker).

Dans le cas du pacemaker, le rythme est imposé par un stimulateur cardiaque implanté à proximité du cœur et relié à celui-ci par des électrodes. Selon la pathologie, les électrodes vont stimuler les oreillettes, les ventricules ou les deux.

### 6.1.2 Battement cardiaque standard et ses caractéristiques

L'étude d'un seul battement ne fournit que peu d'indications pour établir un diagnostic, mais les variations des paramètres caractéristiques de chaque battement le long d'un signal ECG constituent une source d'information primordiale. Cet outil de diagnostic permet de détecter les pathologies cardiaques rythmiques, musculaires, les problèmes extracardiaques métaboliques, médicamenteux, hémodynamiques et autres.

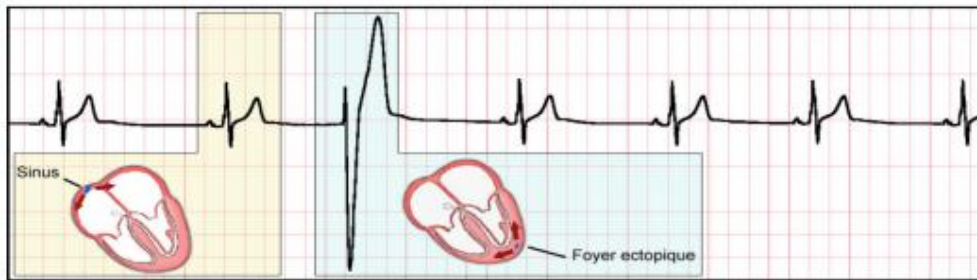
### 6.1.3 Caractéristiques et types de l'extrasystole

L'extrasystole est une excitation ventriculaire prématurée par rapport à la dépolarisation attendue, d'origine auriculaire, nodale ou ventriculaire. Parfois physiologique, elle peut cependant traduire une pathologie sous-jacente plus ou moins grave.

### ✓ Extra Systole Ventriculaire (ESV)

Les ESV sont des battements anormaux, ils s'observent sur quasiment tous les enregistrements. La présence d'un ESV n'indique aucune pathologie particulière, mais si, de façon récurrente, leur nombre par minute est supérieur à 6, elles peuvent être un signe précurseur d'une tachycardie ventriculaire, ce qui constitue une pathologie majeure. [24]

Le tracé d'un battement ESV est représenté sur la *Figure I.20* où la durée du complexe est supérieure à la durée d'un complexe QRS normal.



**Figure I. 20 : Extrasystole Ventriculaire (ESV).**

### ✓ Extra Systoles Auriculaires (ESA)

La pathologie ESA n'est pas aussi inquiétante que la précédente (ESV) mais l'apparition fréquente de celle-ci sur le signal ECG, peut être gênante. Elle est interprétée sur un tracé par le fait de non régularité des distances entre les pics R. Qui veut dire donc, que la distance (nombre d'échantillons) entre deux pics R successifs soit supérieure aux autres distances (nombre d'échantillons) compris entre les autres pics. *Figure I.21*



**Figure I. 21 : Extrasystoles Auriculaires (ESA).**

Les complexes QRS extrasystoliques restent fins et normaux

### ✓ Extra Systoles Nodales ou Jonctionnelles (ESJ)

On dit qu'il y a une présence d'une ESJ si identique au tracé en rythme sinusal, sans onde P ou avec une onde P dite rétrograde. Le tracé de l'ESJ est donné sur la *Figure I.22*. Elle peut être située avant le complexe QRS, noyée dedans ou placée juste après, entre le QRS et l'onde T. [25]



Figure I. 22 : Extrasystoles Jonctionnelles (ESJ).

#### 6.1.4 Diagnostic à partir du rythme

Le repérage des ondes R permet d'analyser le rythme automatique du signal cardiaque. Cette technique est basée sur l'extraction des deux paramètres caractéristiques : la fréquence des battements et leur régularité.

Les deux sections suivantes traitent respectivement des troubles de la régularité, sachant que certaines pathologies induisent ces deux anomalies rythmiques.

##### ✓ Fréquence

Un rythme cardiaque est dit normal s'il est en moyenne de 70 BPM chez l'adulte (en journée entre 60-100 bpm). Bradycardie lorsqu'il est trop lent, et de tachycardie lorsque qu'il est trop rapide. [24]

##### ✓ Bradycardie

La fréquence cardiaque peut être modifiée par de multiples facteurs, la plupart non cardiaque : alimentation, sportivité, etc. Chez un sportif entraîné en endurance la fréquence cardiaque peut être proche de 30 battements/mn sans que cela soit anormal. Pour le reste de la population on parle de bradycardie. Dans ce cas, le rythme cardiaque est inférieur à 60 battements par minute. [25]

##### ✓ Tachycardie

Comme il a été mentionné auparavant, la présence d'un battement ESV n'indique aucune pathologie particulière mais leurs nombres successifs peuvent créer une tachycardie ventriculaire (*Figure I.23*). Elle est caractérisée par le fait que la fréquence soit supérieure à 100 BPM.

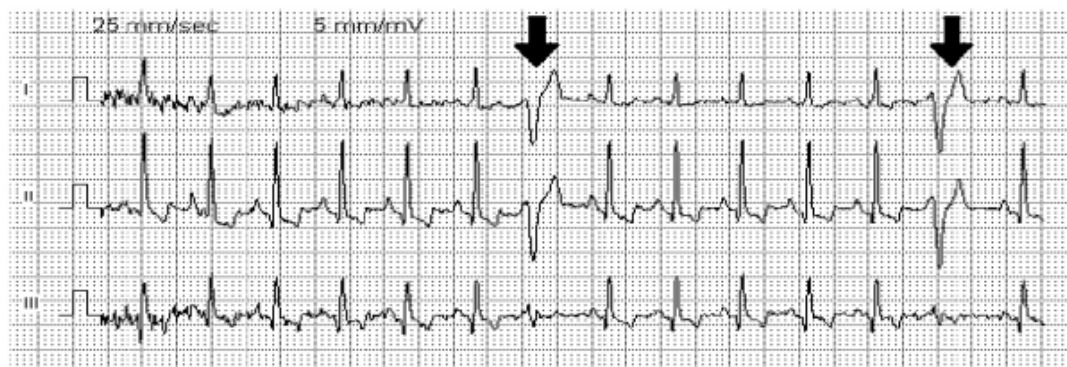


Figure I. 23 : Tachycardie ventriculaire.

**Rythme :** On parle de doublet (2 ESV de suite), de triplet (3 ESV de suite) ; au-delà, on parle de salve d'ESV ou de tachycardie ventriculaire non soutenue. Celle-ci peut causer la mort subite. Elles peuvent être bigémisées (une ESV après chaque complexe normal), ou trigémisées (une ESV tous les deux complexes normaux).

La durée QRS est normalement comprise entre 0.06-0.10 au-delà de 0.12 seconde on évoque un trouble majeur.

#### ✓ **Arythmies, ou troubles de la régularité**

L'absence de régularité des battements cardiaques est une caractéristique importante du rythme pour le diagnostic. Ce problème, appelé arythmie, est souvent associé à un trouble de la production ou de la conduction de l'impulsion électrique (foyers ectopiques, blocs, boucles...).

Notons qu'il existe des variantes de l'arythmie, tels que, les foyers ectopiques (auriculaire ou ventriculaire), les fibrillations et les blocs ; le lecteur intéressé pourra se reporter à [24], [25].

#### 6.1.5 Diagnostic à partir des ondes

L'analyse (outre le rythme) de la forme des ondes de chaque battement a vu le jour grâce à la puissance des calculateurs modernes et les nouvelles techniques de traitement du signal. Ce type d'analyse reste pour l'instant essentiellement limité à la forme de l'onde R [25]. L'étude individuelle de chacune des ondes permet de réaliser un véritable pré-diagnostic. Ce diagnostic est effectué sur la base de la connaissance experte, grâce à la localisation de l'origine du problème lorsque les battements cardiaques, le complexe QRS et l'onde T, ne sont pas normaux.

Ainsi, les méthodes, que nous cherchons à proposer, permettent un repérage précis et continu de la plupart des ondes caractéristiques (Q, R et S) du battement. Elles devront permettre de localiser plus précisément les zones du signal susceptibles de porter la trace d'un comportement anormal du cœur sur les 24 heures d'enregistrement.

#### ✓ **Onde P**

L'onde P a une forme variable qui peut révéler la présence d'un (ou plusieurs) foyer(s) ectopique(s) auriculaire(s). La forme de l'onde P est différente au cours d'une période, le rythme introduit par le foyer ectopique rend la détection de ce type d'anomalie difficile par la seule étude du rythme. [25]

Généralement, dans le cas normal, la durée de l'onde P est de 80 ms. La forme des ondes P anormalement larges interprètent une dilatation d'une des oreillettes.

#### ✓ **Intervalle PQ**

L'intervalle PQ est calculé entre le début de l'onde P et le début de l'onde Q. Cette distance est normalement comprise entre 120 ms et 200 ms, et reste fixe quelle que soit la fréquence.

Hors de ces limites on peut avoir une variante de pathologies. [24]

### ✓ Complexe QRS

Le complexe QRS est la partie du battement la plus simple à repérer, en raison de l'amplitude dominante (supérieure) de l'onde R. C'est pour cette raison que la détection automatique des ondes R est celle qui a été réalisée en premier et c'est aujourd'hui l'analyse la plus aboutie. [25]

### ✓ Forme du complexe

On peut observer par exemple, sur un ECG, une onde R plus large qui correspond à un problème de conduction de l'impulsion électrique [24]. Généralement, la QRS est comprise entre 0,06s et 0,10s au-delà de 0,12 seconde on évoque un trouble majeur.

### ✓ Intervalle QT

La distance entre le complexe QRS et l'onde T est mesurée entre le début de l'onde Q et la fin de l'onde T.

Cet intervalle doit être compris entre 350 ms et 430 ms [25]. En dehors de cet intervalle, le patient peut être atteint d'hypocalcémie, par exemple.

### ✓ Onde T

Comme l'onde R, l'analyse et l'interprétation précise de la forme de l'onde T, en termes de pathologies, nécessite un enregistrement sur 12 dérivations. [24]

### ✓ Forme de l'onde T

Les amplitudes de l'onde T anormalement grandes peuvent provoquer une hyperkaliémie. Cette pathologie est caractérisée par une faible amplitude de l'onde T et nécessite parfois un traitement d'urgence. [24]

Par contre, l'établissement d'un «diagnostic automatique» à partir de l'analyse de l'onde T n'est pas possible à cause de l'absence de critères objectifs sur la normalité ou non de l'amplitude de l'onde T. Pour cela, il est nécessaire d'effectuer une analyse sur un suivi temporel des paramètres descriptifs de la forme de cette onde. [25]

### ✓ Intervalle ST

La distance est calculée entre la fin de l'onde S et le début de l'onde T. En absence de pathologie, cet intervalle doit correspondre à un segment linéaire d'amplitude constante et nulle. Un sur-décalage ou un sous-décalage par rapport à une référence, nommée «ligne de base» sont en général associées à une souffrance cardiaque [25]. Ainsi, le suivi temporel des caractéristiques de ce segment, en particulier sa position par rapport à la ligne de base, constitue un élément d'information tout à fait majeur.

Enfin, l'étude de cet intervalle est fondamentale pour attirer l'attention du praticien sur le risque d'apparition de pathologies potentiellement majeures.

L'analyse et la caractérisation du signal ECG permet de détecter un grand nombre de pathologies cardiaques et par conséquent dresser un diagnostic précis, fiable et efficace. [18]

## 6.2 Pathologies respiratoires

Les maladies respiratoires chroniques telles que la bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) et l'asthme figurent parmi les maladies les plus courantes observées dans les cabinets de soins primaires, affectant plus de 1 milliard de patients dans le monde entier. Les médecins de premier recours sont souvent le premier point de contact pour les patients souffrant d'infections respiratoires aiguës telles qu'une grippe et une pneumonie. Ces professionnels médicaux ont besoin des outils nécessaires pour évaluer, surveiller et décider d'envoyer les patients atteints de maladies respiratoires chez un spécialiste. [26]

### Évaluation des mesures de SpO<sub>2</sub> :

- Une SpO<sub>2</sub> supérieure à 95 % est généralement considérée normale.
- Une SpO<sub>2</sub> de 92 % ou moins (au niveau de la mer) suggère une hypoxémie.
  - ✓ Chez un patient souffrant d'une maladie respiratoire aiguë (grippe, par ex.) ou d'une difficulté respiratoire (crise d'asthme, par ex.), une SpO<sub>2</sub> de 92 % ou moins peut indiquer un besoin d'oxygène d'appoint.
  - ✓ Chez un patient atteint d'une maladie chronique stable (BPCO, par ex.), une SpO<sub>2</sub> de 92% ou moins doit engendrer son envoi chez un spécialiste pour une investigation plus poussée du besoin d'une oxygénothérapie à long terme. [26] [27]

## 7 Conclusion

Ce chapitre a permis de mettre en avant les notions générales sur le fonctionnement physiologique du système cardio-respiratoire et les différents signaux physiologiques qui sont des signaux électriques délivrés par le corps humains et leur principe de fonctionnement.

Le chapitre suivant est consacré à la présentation de la Télémédecine et ses différentes applications.



## 8 Bibliographie

- [1] TLFi, «Définition de cœur,» centre national de ressources textuelles et lexicales, [En ligne]. Available: <http://www.cnrtl.fr/definition/coeur>. [Accès le 25 septembre 2018].
- [2] Wikipedia, «Cœur,» Wikipédia l'encyclopédie libre, [En ligne]. Available: <https://fr.wikipedia.org/wiki/C%C5%93ur>. [Accès le 25 septembre 2018].
- [3] O. CHARON, «CIRCULATION DU SANG,» docteurclic un service santé assistance, 08 02 2011. [En ligne]. Available: <http://www.docteurclic.com/encyclopedie/circulation-du-sang.aspx>. [Accès le 25 10 2018].
- [4] wikipédia, «Circulation systémique,» wikipédia l'encyclopédie libre, 4 1 2017. [En ligne]. Available: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Circulation\\_syst%C3%A9mique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Circulation_syst%C3%A9mique). [Accès le 25 10 2018].
- [5] F. Boustani, *La Circulation du sang : entre Orient et Occident : l'histoire d'une découverte*, Philippe Rey, 2007..
- [6] M. Claude, R. Bruno et V. Benoît, «Physiologie humaine appliquée,» *Wolters Kluwer France*, pp. 375-376, 2006.
- [7] F. Hamza-Cherif et S. Menouar, «La genèse du signal électrique cardiaque,» chez *TRANSFERT DU SIGNAL ECG D'UN POSTE LOCAL A UN POSTE DISTANT POUR LA TELESURVEILLANCE MEDICALE*, Tlemcen, Université Abou Bakr Belkaïd, 2015, p. 5.
- [8] S. BABACI et M. BERROUA-BENZINA, «Etude et réalisation d'un capteur de pression différentielle a inductance variable,» mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master2 en Electronique Biomédicale de l'université Abou Bekr Blkaid, 2012..
- [9] B. Fouillat, «L'appareil respiratoire (la respiration),» 04 12 2007. [En ligne]. Available: <http://anatomieludique.unblog.fr/lappareil-respiratoire-la-respiration/>. [Accès le 29 10 2018].
- [10] I. HADJ-AHMED et Z.-E. LALAYMIA, «Exploration fonctionnelle respiratoire par photopléthysmographie infra-rouge,» mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master2 en télémedecine de l'université Abou Bekr Blkaid, 2015..
- [11] «guide\_tracheo\_2008,» Maison du Poumon (ANTADIR ), 2008. [En ligne]. Available: [http://www.antadir.com/uploads/editor/file/guide\\_tracheo\\_2008](http://www.antadir.com/uploads/editor/file/guide_tracheo_2008). [Accès le 29 10 2018].
- [12] W. Zehouani et N. Labdelli, Etude et realisation d'un dispositif ultrasonore pour mesure de debit respiratoire, Université abou bekr belkaid, Tlemcen, Master en Génie Biomedical,27-06-2013.
- [13] C. Catherine, l'oxygene a usage medical:dispensation, indications, toxicite,role du pharmacien, UNIVERSITE Henri Poincaré - NANCY 1, 19-01-2004.

- [14] M. TALBI, «ANALYSE ET TRAITEMENT DU SIGNAL ÉLECTROCARDIOGRAPHIQUE (ECG),» Doctorat en traitement de signal, UNIVERSITÉ MENTOURI, Constantine, Algérie, 2011.
- [15] A. Cabasson, «ESTIMATION ET ANALYSE DES INTERVALLES CARDIAQUES,» Thèse de doctorat, Signal and Image processing. Université Nice Sophia Antipolic,2008. French..
- [16] J. ADAMEC et R. ADAMEC, «manuel d'interpretation electrocardiographique,» ECG HOLTER, septembre 2000.
- [17] F. HAMZA CHERIF et S. MENOVAR, «transfert du signal ecg d'un poste local a un poste distant pour la telesurveillance medicale,» memoire de projet de fin d'etudes,Tlemcen,2015.
- [18] S. Rerbal, «Traitement Numérique Du Signal Physiologique En Télémédecine,» Thèse De Doctorat, Université Abou bekr belkaid, Tlemcen, Algérie, Année 2014. .
- [19] H. M. Benmoulai, «développement d'un système en vue de mesurer et d'analyser la vitesse de l'impulsion artérielle,» soutenu en 2009.
- [20] N. Delvau et All, «Saturometre En Médecine Générale,» *La Revue Du Praticien Médecine* .
- [21] G. Damien, «Mesure Du Debit Et Volume Sanguins,» Laboratoire De Genie Biomedical Ircm .Montreal ;Année 2006..
- [22] A. LAHLOU et Y. A. AMROUN, «plateforme dediee a l'acquisition du signal PPG et calcule de frequence cardiaque,» mémoire de master en genie biomédicale, université abou bekr belkaid de tlemcen, 2016.
- [23] L. Hamza-Cherif, « L'oxymétrie de pouls,» université de Tlemcen, 2005.
- [24] A. ELLRODT, «Urgences Médicales, 5Édition,» Édition ESTEM, 89, boulevard Auguste Blanqui, 75013, Paris, 04/2003. ISBN: 978 2 84371 335 4. .
- [25] J. BASSAND, «Introduction à la pathologie cardiaque et vasculaire,» Cours de Professeur à l'université de Besançon, France, 25 Octobre 2005. <http://www.besancon-cardio.org/cours/01-intro.php> .
- [26] A. Antonio, C. Richard, H. Stephen et all, utilisation clinique de l'oxymétrie de pouls, Wonca, guide de référence de poche 2010.
- [27] C. Roberts et al, «Screening patients in general practice with COPD for long term domiciliary oxygen requirement using pulse oximetry,» *Resp Med* 92:1265-1268,1998.



# Introduction à la télémédecine et ces applications

---

*CHAPITRE II*

*HAMZA CHERIF Fayssal*

## Table des matières

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>36</b>
<b>2</b>	<b>DEFINITION DE LA TELEMEDECINE</b> .....	<b>36</b>
<b>3</b>	<b>HISTORIQUE DE LA TELEMEDECINE</b> .....	<b>38</b>
<b>4</b>	<b>DIFFERENTS TYPES D'APPLICATION DE LA TELEMEDECINE</b> .....	<b>39</b>
4.1	TELECONSULTATION .....	40
4.2	TELESURVEILLANCE .....	40
4.3	TELE-CHIRURGIE .....	41
4.4	TELE EXPERTISE .....	41
4.5	TELEENSEIGNEMENT .....	42
4.6	REGULATION MEDICALE .....	42
<b>5</b>	<b>BENEFICES DE LA TELEMEDECINE</b> .....	<b>43</b>
5.1	BENEFICES POUR LES PATIENTS .....	43
5.2	BENEFICES POUR LES PROFESSIONNELS DE SANTE .....	43
5.3	BENEFICES POUR LE SYSTEME DE SANTE .....	44
<b>6</b>	<b>APPORTS ET ENJEUX DE TELEMEDECINE</b> .....	<b>44</b>
<b>7</b>	<b>TELEMEDECINE FAVORISEE PAR LES TIC'S</b> .....	<b>45</b>
7.1	COTE MEDECIN .....	45
7.2	COTE PATIENT .....	45
<b>8</b>	<b>STATION PORTABLE DE TELEMEDECINE</b> .....	<b>45</b>
<b>9</b>	<b>RESEAUX DE TELEMEDECINE</b> .....	<b>46</b>
<b>10</b>	<b>CHAINE TELE-MEDICALE</b> .....	<b>47</b>
10.1	PATIENT .....	47
10.2	D.T.E (DATA TERMINAL EQUIPMENT) .....	47
10.3	CODEC (CODEUR/DECODEUR) .....	48
10.4	PC LOCAL .....	48
10.5	D.C.E (DATA COMMUNICATION EQUIPMENT) .....	48
<b>11</b>	<b>EVOLUTION DE LA TELEMEDECINE A TRAVERS LE MONDE</b> .....	<b>49</b>
<b>12</b>	<b>FREIN DE DEVELOPPEMENT</b> .....	<b>49</b>
<b>13</b>	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>50</b>
<b>14</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>51</b>

## 1 Introduction

Les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) sont en voie de révolutionner les relations entre les individus et les collectivités. De façon plus spécifique, cette technologie est plus présente dans les systèmes de santé qui permet d'envisager de nouvelles façons d'exercer la médecine [1]. En effet, ces réseaux permettent le transfert électronique des données médicales. Ce chapitre s'intéresse à l'étude des différents services de santé relevant de la télémédecine.

## 2 Définition de la télémédecine

Le terme de télémédecine apparaît pour la première fois dans les dictionnaires de la langue française au début des années 1980, témoignant ainsi de la validation par la langue officielle d'une pratique déjà usitée. La préfixe télé provient de la grecque télé qui signifie « *loin, au loin* ». Ainsi, la télémédecine signifie littéralement médecine à distance. Selon Dermatines [2] « *La télémédecine est le transfert électronique des données médicales comprenant le son, les images statiques ou dynamiques et le texte, en temps réel ou en différé permettant de pratiquer la médecine à distance (consultation, diagnostic, conseil et traitement...), d'augmenter les échanges scientifiques et cliniques et de faciliter l'accès à l'expertise* ».

Selon J. FIELD [3], la télémédecine est l'exercice de la médecine par le biais des télécommunications et des technologies qui permettent la prestation de soins de santé à distance et l'échange de l'information médicale s'y rapportant. Dans le Petit Larousse elle est décrite comme « *la partie de la médecine qui utilise la transmission par télécommunication d'informations médicales (images, comptes rendus, enregistrements, etc.), en vue d'obtenir à distance un diagnostic, un avis spécialisé, une surveillance continue d'un malade, une décision thérapeutique* » [4]. La télémédecine permet à plusieurs professionnels de santé de communiquer tout en s'affranchissant de la contrainte du temps et de l'espace. L'exercice de la pratique médicale prend ainsi une nouvelle direction par la conception et la diffusion des TIC. [5] *Figure II.1*

L'efficacité d'une application médicale exige une capacité d'intervention immédiate dans l'un de ces quatre domaines essentiels : [6]

- **La prévention :**
  - ✓ Evaluation des risques.
  - ✓ Communication concernant les menaces émergentes.
  - ✓ Education pour les fournisseurs et le grand public.
  - ✓ Mise en œuvre des mesures d'évitement des risques.

- **La détection précoce et la surveillance :**
  - ✓ Surveillance de la santé en temps réel.
  - ✓ Evaluation des données locales, régionales et nationales.
  - ✓ Education
  
- **Réponse aux crises :**
  - ✓ Evaluation et l'identification des besoins médicaux.
  - ✓ Diagnostic, thérapeutique, contamination...
  - ✓ Optimisation de la logistique.
  
- **Traitement :**
  - ✓ Centres d'excellence fournissant des instructions de soins spécialisés.
  - ✓ Consultations en temps réel.
  - ✓ Supervision du traitement à plusieurs niveaux.
  - ✓ Se référer vers des centres spécialisés.



Figure II. 1 : Système d'information de la télésurveillance médicale à domicile.

### 3 Historique de la télémédecine

Un échange épistolaire daté de 1726 décrivant un traitement pour un patient éloigné était déjà un document de télémédecine de l'époque pré-électronique [7]. En 1906 *Einthoven* publie ses travaux sur le télé-cardiogramme : premiers électrocardiogrammes envoyés par téléphone [8] (*Figure II.2*). Une cinquantaine d'années sera nécessaire pour associer le son et l'image : conçue vers 1928, la télévision ne prendra son essor aux Etats-Unis que dans les années 50, et la première utilisation médicale de télévision interactive aura lieu en 1959. De manière intéressante, c'est une consultation de télé-psychiatrie qui a lieu entre Omaha dans le Nebraska et l'Hôpital psychiatrique de l'état du Nebraska distant de 112 miles [9]. La même année a lieu au Canada la première expérience de télé-radiologie avec des images d'examens fluoroscopiques [10]. Les premiers moyens techniques permettant de faire de la médecine à distance en effaçant le temps furent le téléphone, le fax, la radiophonie. Ensuite, de nouveaux moyens techniques ont permis la transmission simultanée de l'image, de la voix et de l'écrit grâce aux postes de travail multimédia et aux technologies informatiques et aux télécommunications.

Deux autres dates symboliques peuvent aussi servir de points de repère à l'émergence de la télémédecine : [1]

- ✓ en 1965 a eu lieu la première visioconférence en chirurgie cardiaque entre les Etats-Unis et la Suisse.
- ✓ le premier congrès international sur la télémédecine, en 1973 (Michigan, USA), a été l'occasion de lancer de multiples projets.

De nombreux projets de télémédecine sont dès lors conçus et mis en œuvre. Globalement, la littérature spécialisée constate un échec de la majorité ou du moins des résultats incertains et pour la plupart non évalués en raison des faibles performances technologiques des calculateurs associées à des coûts élevés. Il faut signaler aussi et surtout une mauvaise organisation des réseaux mis en place [11]. Il n'y a pas eu beaucoup d'études médico - économiques sur cette première génération de projets. Néanmoins, de nombreuses études sur la faisabilité technique ont été conduites. [12] [13]

La renaissance de la télémédecine date de la fin des années 1980 en Scandinavie, en particulier en Norvège, avec le déclenchement d'un programme intitulé « *Access to health care services* ». Une technologie plus évoluée et des coûts qui avaient fortement diminué ont permis de plus grands succès dans les différents projets de télémédecine mis en place. Ces projets se concentrent sur un certain nombre d'applications et notamment la vidéo - consultation en temps réel en radiologie, dermatologie, cardiologie, psychiatrie et otorhinolaryngologie. [14]

Les raisons du succès de cette troisième vague de télémédecine sont, selon Darkins et Cary, au nombre de cinq : [15]

- ✓ Un besoin clinique clair.
- ✓ Un partenaire de télécommunication dynamique.
- ✓ Une technologie appropriée.
- ✓ Un montage financier solide.
- ✓ Un projet moins coûteux.

La caractéristique géographique de la télémédecine est essentielle. En effet, la distance est la dimension qui a motivé l'utilisation des technologies des télécommunications en vue de maîtriser l'espace et le temps. La distance peut varier de quelques dizaines de mètres à des dizaines de milliers de kilomètres, comme dans le domaine des applications spatiales. [16]

Ainsi, Ce n'est plus le patient qui se déplace mais c'est la science médicale qui se regroupe pour aller vers le patient.

Devant le succès de ces projets et la vulgarisation d'Internet, d'autres pays vont eux aussi développer des programmes de télémédecine et notamment les Etats-Unis, l'Australie, le Royaume-Uni, la Nouvelle Zélande, Hongkong, la France et plus récemment en Afrique. [5]

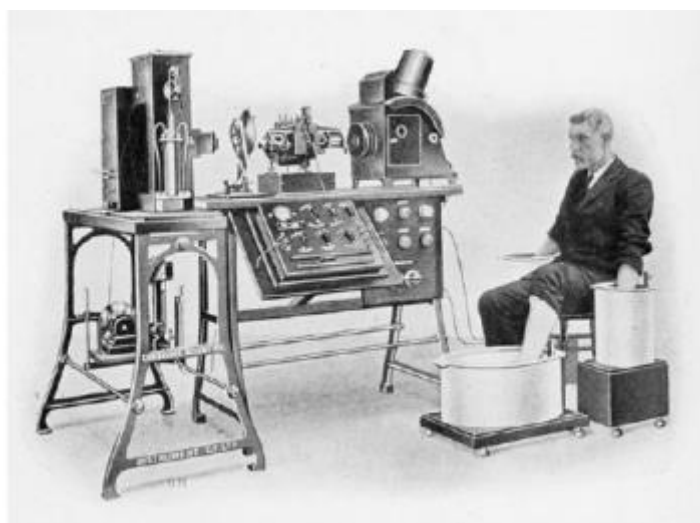


Figure II. 2 : Première Télé-électrocardiographie réalisé par Einthoven.

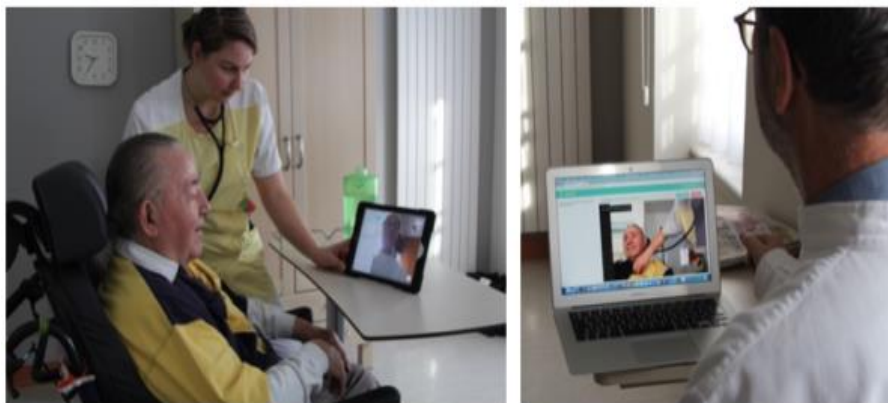
#### 4 Différents types d'application de la télémédecine

Il existe plusieurs utilisations des Technologies de l'Information et des Télécommunications « TIC » dans le domaine médical [17]. Ces utilisations regroupent celles qui sont directement liées à la production de soins et celles qui concourent à l'amélioration de la qualité et de la continuité des prises en charge. Les principales applications sont : la téléconsultation, la télésurveillance, la télé diagnostic, la télé-expertise, la téléformation, La régulation médicale, la téléassistance, dans pratiquement tous les domaines des spécialités médicales (télé cardiologie, télé ophtalmologie, télé dermatologie, télé chirurgie ...). [18]



## 4.1 Téléconsultation

La téléconsultation est une aide à la décision médicale apportée à un médecin par un autre médecin situé à distance, à partir des éléments d'information de caractère multimédia qui lui sont transmis par un dispositif télématique. Lorsque les téléconsultations concernent spécifiquement une pathologie, on parlera par exemple de télé-cardiologie, télé-dermatologie ou de télé-psychiatrie. La téléconsultation peut emprunter plusieurs formes, en particulier une consultation médicale à distance synchrone c'est-à-dire que les experts utilisent des techniques de communication de façon simultanée (visioconférence) ou asynchrone à savoir que les échanges entre les professionnels sont organisés sous la forme de messagerie ; ce qui permet de passer outre les contraintes de disponibilité des médecins. Il soulève des problèmes éthiques et médico-légaux au même titre que la consultation par téléphone. [19] *Figure II.3*

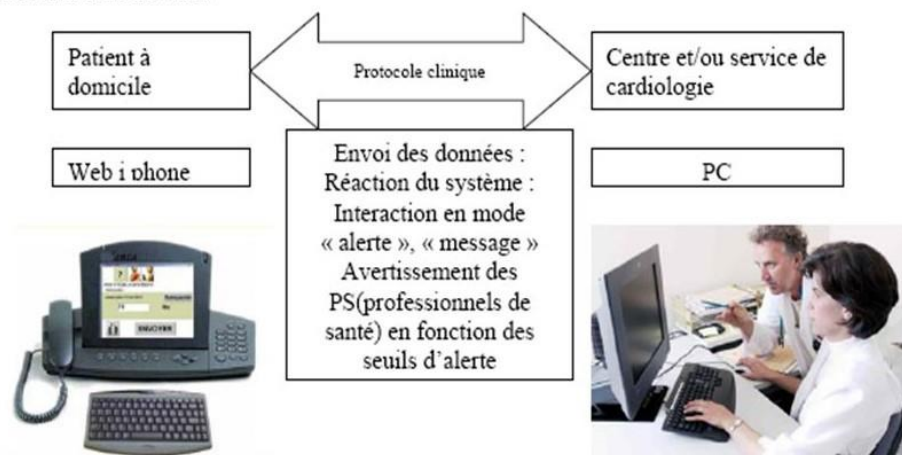


**Figure II. 3 : Exemple d'une application de téléconsultation.**

## 4.2 Télésurveillance

La télésurveillance a vocation de permettre à un professionnel médical d'interpréter à distance les données nécessaires au suivi médical d'un patient et, le cas échéant, de prendre des décisions relatives à la prise en charge de ce patient. L'enregistrement et la transmission des données peuvent être automatisés ou réalisés par le patient lui-même ou par un professionnel de santé. [20] *Figure II.4*

Schéma fonctionnel :



**Figure II. 4 : Organisation de la télésurveillance médicale à domicile.**

### 4.3 Télé-chirurgie

La télé-chirurgie inclut deux aspects, l'opération réalisée par un robot piloté à distance et le télé-compagnonnage (assistance chirurgicale à distance). Les deux types de chirurgie nécessitent la transmission en temps réel des images du patient [21]. La première de cette technique a été l'opération Lindbergh [22]. Dans l'assistance chirurgicale réalisée à distance, l'expert voit les mêmes images que l'opérateur et assiste celui-ci pas à pas dans la réalisation du geste, apportant ainsi expérience, confort et sécurité pour le malade et l'opérateur. Les contours éthiques et juridiques sont encore des points à explorer. *Figure II.5*



Figure II. 5 : Exemple d'une application de télé-chirurgie.

### 4.4 Télé expertise

La télé-expertise a pour objet de permettre à un professionnel médical de solliciter à distance l'avis d'un ou de plusieurs professionnels médicaux en raison de leurs formations ou de leurs compétences particulières, sur la base des informations médicales liées à la prise en charge d'un patient. [23] *Figure II.6*



Figure II. 6 : exemple de télé-expertise.

#### 4.5 Téléenseignement

Cette application permet de diffuser un contenu pédagogique par le biais des télécommunications. Ce téléenseignement consiste à :

**Se former** : consiste à utiliser la télémédecine dans le cadre de programmes collectifs de formation médicale. Cette application prend la forme des supports classiques de la formation médicale continue (tests, cas cliniques, cours magistraux, entraînement aux gestes opératoires, etc.).

**S'informer** : constitue un autre type d'utilisation de la télémédecine reposant principalement sur l'usage individuel d'internet. En effet, il s'agit ici, pour les professionnels de santé, de recourir à des bases de données spécialisées dans lesquelles les informations auraient été préalablement structurées et finalisées. Ce type d'applications peut s'inscrire dans des programmes de recherche et/ou d'études cliniques et/ou épidémiologiques (évaluations, tests recherche, etc.). [24] [25] *Figure II.7*



**Figure II. 7 : Exemple du téléenseignement.**

#### 4.6 Régulation médicale

La régulation médicale est un acte médical pratiqué par téléphone par un médecin régulateur à distance d'un patient. Elle permet au patient de bénéficier du juste soin [26] grâce à l'adaptation de la réponse au niveau des soins requis pour le patient. *Figure II.8*



**Figure II. 8 : Exemple de la régulation médicale.**

## 5 Bénéfices de la télémédecine

### 5.1 Bénéfices pour les patients

Les bénéfices de la télémédecine pour le patient sont nombreux, mais relèvent tous d'une meilleure qualité de prise en charge :

- ✓ Par un meilleur accès aux soins, notamment pour les patients en situation d'isolement ou d'éloignement géographique, ou confrontés à l'absence de professionnel de santé à proximité
- ✓ Par un meilleur suivi médical, notamment pour les patients souffrant d'une pathologie chronique. La télésurveillance médicale assure un suivi continu du patient par le médecin, même durant l'intervalle entre deux consultations. Ce dernier peut alors agir de façon précoce en cas d'évolution sensible de l'état du patient.
- ✓ Par une prise en charge plus rapide, notamment dans les situations d'urgence qui nécessitent le recours à l'expertise médicale (traumatismes crâniens, accident vasculaire cérébral - AVC,...).

Enfin, les bénéfices pour le patient résultent du haut niveau de sécurité des actes médicaux : la télémédecine n'est pas une médecine « *au rabais* », un pis-aller. Au contraire, elle augmente le plus souvent les chances du patient, en permettant une prise en charge et une orientation plus rapide et pertinente dans le système de soins. [27]

### 5.2 Bénéfices pour les professionnels de santé

Bien entendu, l'intérêt des professionnels de santé rejoint celui des patients. Cependant, au-delà de ce simple constat, la télémédecine peut apporter des bénéfices particuliers aux professionnels :

- ✓ En favorisant une pratique médicale fondée sur la coopération avec d'autres professionnels, permettant à chacun de mieux exprimer ses compétences.
- ✓ En apportant de nouvelles possibilités d'organisation médicale, notamment dans le domaine de la permanence des soins (gardes et astreintes).
- ✓ Toutefois, ces bénéfices impliquent également des contraintes aux professionnels de santé, la première étant induite par la modification de la pratique médicale, par la gestion de la relation « à distance » du patient, ou par un nouveau schéma d'organisation.
- ✓ Aspects sont évidemment très importants, et doivent faire l'objet d'un accompagnement soutenu et adapté, afin de permettre au professionnel de santé de maîtriser la pratique de l'acte de télémédecine. [28]

### 5.3 Bénéfices pour le système de santé

Le système de santé, dans son ensemble, bénéficie également du développement de la Télémédecine, notamment sur les points suivants :

- ✓ La délivrance de soins de meilleure qualité dans les situations évoquées ci-dessus.
- ✓ La réponse, au moins partielle, à certains problèmes auquel notre système de santé est confronté : démographie médicale, organisation de la permanence des soins, accessibilité aux soins assurée à tous.
- ✓ La télémédecine participe du développement du progrès médical, au même titre que d'autres innovations thérapeutiques ou cliniques.
- ✓ Enfin, la télémédecine permet d'assurer certaines prestations tout en maîtrisant les dépenses de santé, par une utilisation efficace des ressources. [28]

## 6 Apports et enjeux de télémédecine

La télémédecine s'impose déjà à travers l'usage d'outils comme le téléphone et la télécopie. Les progrès actuels des NTIC appliquées au domaine médical (imagerie médicale, débits de transmission, convivialité des systèmes, etc...) et la miniaturisation des dispositifs, ouvrent des perspectives d'une part, pour le développement de la télémédecine en termes d'accroissement et d'autre part pour l'efficacité, la qualité des soins, le partage des connaissances et de réduction des coûts de santé publique. Pour chaque acteur de la télémédecine, les avantages de ce type d'organisation sont nombreux.

Pour les praticiens, il s'agit de développer une plus grande coopération entre les différents réseaux du milieu médical : ville-hôpital, généraliste-spécialiste, secteur public secteur privé. L'idée est de créer des passerelles de communication, d'information et de transmission du savoir.

Un des enjeux du développement de la télémédecine concerne ainsi les aspects de partage de données et de connaissances : nécessité de l'interopérabilité des systèmes, définition de protocoles de communication, d'ontologies, création d'un dossier médical électronique partagé, etc. Pour les patients, la télémédecine permet d'améliorer la qualité des soins grâce à l'expertise possible à distance et, par conséquent, à la réduction des délais de prise en charge diagnostique et thérapeutique.

Elle permet également de répondre au problème d'isolement géographique en assurant l'égalité d'accès aux soins. Si on considère le cas particulier de la surveillance à distance, la télémédecine répond aux besoins d'autonomie, de sécurité et d'intégration sociale de patients souhaitant rester à leur domicile, et s'inscrit alors dans la dynamique des alternatives à l'hospitalisation. [28]

## 7 Télémédecine favorisée par les TIC's

Les Technologies de l'information et la communication (TICs) ont profondément changé l'aspect des communications. La même chose est vraie pour le domaine médical, où les TICs sont utilisés par les médecins pour communiquer avec les patients, les collègues médicaux ainsi que d'autres professionnels de la santé.

Quelques soit la manière de transmettre et d'échanger l'information entre médecin-patient, on trouve souvent des problèmes lors de l'emploi de ces technologies (mail, SMS,...), des problèmes de conformité, confidentialité et de la protection de l'intégrité des données. Donc, il est nécessaire de prendre les précautions nécessaires afin de limiter les dégâts et veiller à ce que le secret professionnel soit maintenu dans la mesure du possible. [29]

Pour que les TICs apportent un soutien à la médecine en générale et surtout la télémédecine, il est nécessaire de suivre quelques règles, citées dans les points suivants. [6]

### 7.1 Coté médecin

- ✓ Le médecin doit séparer sa vie professionnelle et sa vie personnelle lorsqu'il utilise la technologie de l'information.
- ✓ Le médecin doit peser les avantages et les risques d'échange d'informations avec un patient ou un collègue.
- ✓ Le médecin doit informer son patient des avantages, mais aussi des risques de l'utilisation de la technologie de l'information.
- ✓ Même avec l'accord ou le consentement de son patient, le médecin reste responsable du maintien du secret professionnel et de la confidentialité des informations qu'il envoie.

### 7.2 Coté patient

- ✓ Le patient devra assumer sa responsabilité en termes de contenu des informations envoyées à son médecin.
- ✓ Le choix des méthodes et moyens de communications au préalable.
- ✓ Le patient doit toujours être conscient lorsqu'il utilise les réseaux et médias sociaux.

## 8 Station portable de télémédecine

Le modèle générique de la station portable de télémédecine est une valise semblable à celle utilisée par les médecins lors des visites à domicile. Cette valise intègre, dans un volume très réduit et pour un poids limité (moins de 10 kilos), des dispositifs très complets (enregistreur électrocardiogramme numérique,

appareil photo numérique, brassard de tension automatique, oxymètre de pouls, thermomètre à capteur infrarouge, détecteur de glycémie et ordinateur portable, téléphone et système GPS). [30] *Figure II.9*



**Figure II. 9 : Exemple de station portable de télémédecine.**

## 9 réseaux de télémédecine

Ces réseaux s'inscrivent fondamentalement dans un même objectif, celui d'améliorer la coordination des pratiques médicales pour améliorer la prise en charge globale du patient. Ainsi, le développement des réseaux de télémédecine est-il à inscrire plus largement dans le développement des réseaux de santé qui constituent un mode de coordination alternatif au système traditionnel. Toute expérimentation des réseaux de télémédecine devrait, de ce fait, bénéficier, d'une part, des effets d'expérience de la diffusion des réseaux en santé, et, d'autre part, des apports théoriques du concept de réseau. [31]

Ces réseaux de télémédecine concernent la communication, le partage et la gestion de l'information médicale entre acteurs de soins distants mais participant aux mêmes prises en charge. Ils se nomment télé encadrement ou télé coopération et se caractérise par l'établissement d'une relation entre un spécialiste (jouant le rôle de mentor) et un médecin de soins primaires, un résident, une infirmière. Dans le cadre des réseaux, les exercices multi - disciplinaires sont en effet appelés à se développer de plus en plus. [32]

Les TIC peuvent constituer un support idéal à la mise en relation des différents métiers autour du patient et à leur meilleure coordination. En l'occurrence, le dossier médical partagé appartient à ce type d'application. Un grand nombre d'expérimentation ayant cours aujourd'hui ont pour objet central le partage et la gestion d'informations médicales, qu'il s'agisse du dossier patient entier ou de certains éléments de ce dernier (projets de certaines sociétés informatiques notamment). *Figure II.10* [33]



Figure II. 10 : Exemple de réseaux de télémédecine.

Les réseaux de télémédecine représentent une opportunité permettant : [34]

- ✓ D'améliorer l'organisation des soins.
- ✓ De faciliter l'accès à des soins de proximité.
- ✓ De participer à la formation des professionnels de santé.
- ✓ De contribuer à la maîtrise des dépenses de santé.
- ✓ De s'intégrer à la mondialisation des pratiques médicales.

Au terme de ce parcours de définitions et de concepts, la télémédecine paraît s'inscrire dans une perspective de recherche de l'amélioration de la qualité de l'organisation par la réduction des délais mais aussi par la réduction des coûts. [35]

## 10 Chaîne télé-médicale

Le système de la transmission numérique des données en médecine comprend toute une chaîne qui comprend les outils suivants : *Figure II.11*

### 10.1 Patient

Le patient est la source et destinataire de l'information médicale.

### 10.2 D.T.E (Data Terminal Equipment)

Chargés de prélever sur le corps humain l'information médicale. Selon la nature de cette information, les D.T.E peuvent être :



- ✓ **Unidimensionnelle** : Mettant en jeux des capteurs qui transforment les grandeurs physiologiques en une grandeur électrique représentative d'une activité physiologique (ECG, PPG, EEG, Pression, vitesse, volume, ...).
- ✓ **Bidimensionnelle** : Mettant en jeux les différents rayonnements électromagnétiques (radio fréquence, Ultrasonore, Infrarouge, Visible, Ultraviolet, X,  $\gamma$ , ...) et leur interaction avec les tissus biologiques pour la reconstruction des images médicales.
  - Tridimensionnelle : Mettant en jeu une caméra exo ou endoscopique permettant de visualiser une image vidéo de l'intérieur ou l'extérieur du corps humain.

### 10.3 CODEC (Codeur/Décodeur)

Il est chargé de l'acheminement de l'information médicale vers le PC local.

### 10.4 PC Local

Il est chargé de présenter l'information médicale au praticien de la médecine et de stocker ces informations dans un système d'archivage et d'envisager une plate de forme de traitement numérique et le transfert de l'information via un protocole de communication.

### 10.5 D.C.E (Data Communication Equipment)

D.C.E Sont chargés d'adapter le signal informationnel au canal de transmission et de transférer les données médicales vers les terminaux distants (PC), via le canal de transmission, au moyen des techniques de hauts débits (à titre d'exemple réseau RTC dopé ADSL). L'objectif de telles plateformes de services de télémédecine est de permettre aux patients délivre dans des conditions plus performantes, dans un environnement de confort et de sécurité.

Ainsi, cette plateforme envisagée permet, à tout moment et en tout lieu, à un patient d'être en contact permanent avec son praticien traitant. En effet, ils pourraient bénéficier de la sécurité d'un suivi médical 24h/24h, sans l'inconvénient de la prise en charge hospitalière et sans dépenses excessives.

Il s'agit de détecter et de prévenir l'occurrence de situations critiques ou la dégradation de l'état de santé d'une personne. Le patient n'est alors plus contraint de renoncer à distance (domicile...) et à la vie en société. Il conserve une large autonomie dans son environnement social et privatif, tout en bénéficiant de services préventifs de santé. [27]

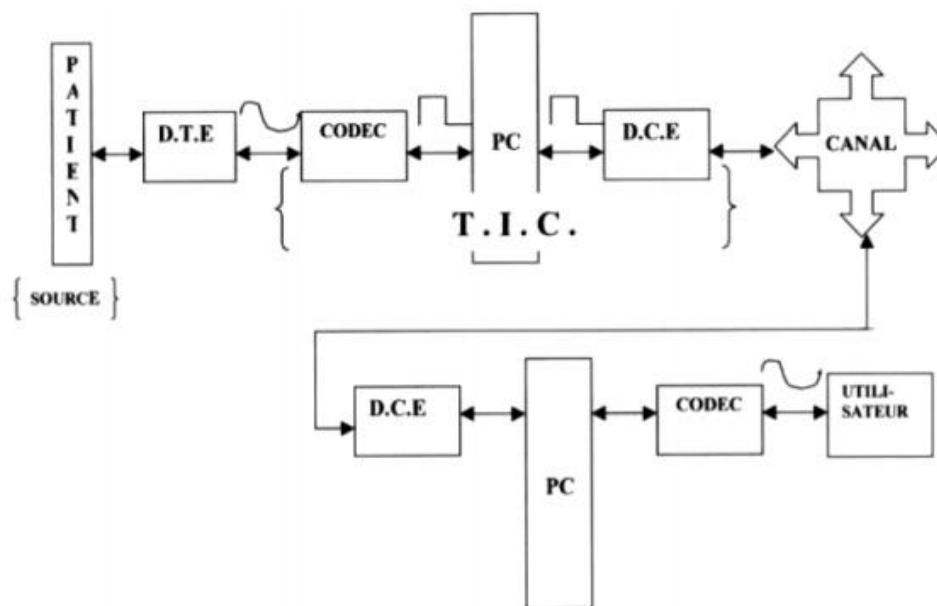


Figure II. 11 : Représentation de la chaîne télémédecine.

## 11 Evolution de la télémédecine à travers le monde

Les analystes de la société d'étude américaine Gartner ont proposé leurs visions en 2006, et à moyen terme, concernant l'évolution des secteurs utilisant le plus les Technologies de l'Information et de la Communication. Parmi les grandes tendances figure la progression des investissements TIC dans la santé et plus particulièrement dans la télémédecine. La société Gartner prévoit, à l'horizon 2009, une augmentation de 50 % des investissements informatiques dans le secteur de la santé. Quant aux conséquences de cet investissement, ses analystes avancent une baisse du niveau de mortalité de 50 % à 2013. [5] [36]

## 12 Frein de développement

Le frein majeur au développement de la télémédecine aujourd'hui consiste en l'absence de modèles de financement clairement établis. Malgré les perspectives de croissance très encourageantes pour le secteur de télémédecine, l'assurance Maladie et l'Etat ne souhaite pas encore participer au débat sur les modes de financement, laissant tout ce secteur dans l'incertitude.

Si l'on regarde les expériences menées à l'étranger, en Europe et aux Etats-Unis. Notamment, on constate que les actes de télémédecine sont de plus en plus intégrés dans le système de santé et bénéficient des mêmes modalités de prise en charge que n'importe quel acte médical. Ainsi, Les médecins et les patients craignent notamment qu'elle porte atteinte à la liberté d'exercice, au secret médical, et conduise finalement à une déshumanisation de la relation entre le médecin et son patient.

[37]

L'exploitation de l'outil informatique pour la détection, la consultation, le transfert et la sauvegarde des informations concernant les patients, ne doit pas nuire à leur confidentialité leur efficacité et à leur fiabilité. D'autres points importants résident dans la responsabilité et la rémunération des praticiens.

La télé-pratique médicale n'est pas encore reconnue comme un acte médical à part entière. Le choix de la méthodologie et la politique tarifaire de la télémédecine et également un problème à résoudre. Une autre crainte est celle de la fuite des compétences médicales des centres de soins les plus isolés. [38]

La délocalisation d'opérations médicales est en effet, accompagnée du risque de regroupement des meilleurs spécialistes dans quelques grandes unités. Au niveau méthodologique, hétérogénéité des besoins de chaque praticien et patient impose de développer des applications et services à un degré de compatibilité et d'interopérabilité important. Leur efficacité dépend d'une bonne gestion de la grande quantité d'informations générées, la précision dans les calculs numériques et de l'adaptation de services développés au contexte de l'environnement mobile. [20]

Et un autre frein au développement de la télémédecine c'est l'absence de cotations spécifiques permettant de facturer les actes. Ces services de télémédecine nécessitent en particulier un traitement personnalisé des informations, dans le contexte d'un patient, et prend ainsi on compte bien peu des règles d'interprétation générales issues des connaissances médicales. [39]

### 13 Conclusion

La télémédecine est une nouvelle forme d'amélioration de la qualité des soins grâce aux nouvelles technologies d'informations et communications qui permettent d'abolir les distances, d'éviter des déplacements et des hospitalisations parfois inutiles, afin de réaliser l'acte médical le plus approprié dans un environnement favorable. Elle est aussi créatrice de nouveaux services facilitant la vie quotidienne des patients atteint de maladies chroniques.

Les travaux effectués au cours de cette thèse de doctorat se focalisent sur les services destinés : au télédiagnostic, à la téléconsultation, à la téléassistance et à la surveillance médicale à distance sur des terminaux informatiques locaux ou distant chargé de présenter l'information médicale aux praticiens de la médecine sous forme exploitable et conviviale, de stocker ces informations et d'héberger les différentes applications et plateformes software de traitement numérique et de transférer l'information médicale vers des terminaux distants via les réseaux télé-médicaux.

Le troisième chapitre sera consacré à la présentation des différents réseaux et protocoles de communication et l'architecture client –serveur pour le transfert des données.

## 14 Bibliographie

- [1] E. CAUCHY, Pôle d'excellence en médecine de montagne au pays du Mont Blanc, Projet en médecine, Institut de formation et de recherche en médecine de montagne, France, 2010.
- [2] N. DEMARTINES, E. BATTEGAY, J. LIEBERMANN, M. OBERHOLZER, T. RUFLI et H. HARDER, «Télémédecine : perspectives et approche.», *Schweiz Med Wochenschr*, p. 130:314–23, 2000.
- [3] Marilyn et J. Field, «Telemedicine : a Guide to Assessing Telecommunications in Health,» *Editor, Institute of Medicine, National Academy Press*, 1996.
- [4] Le Petit Larousse Illustré, 100ème édition: Editions Larousse, 2005.
- [5] S. ABDELOUAHED, Étude et réalisation d'une plateforme télé médicale dédiée a l'évaluation objective et au suivi des dysphonies chroniques d'origine laryngée par analyse spectro-temporelle du signal vocal, Tlemcen: Université Abou Bekr Belkaid, 2015.
- [6] S. Ghouali, «Développement d'applications de Télémédecine sur Smartphones.», tel-01652792 éd., Tlemcen, Université Abou Bekr Belkaid, 2017, pp. 39-40.
- [7] *MS letters of Hallet Turner to James Jurin. Wellcome Institute for the History of Medicine*, 29 May 1726.
- [8] W. Einthoven, «Le télécardiogramme,» *Archives internationales de physiologie*, 1906, 4:132–64.
- [9] A. FRANCO, «La télémédecine au service de l'autonomie,» *La revue de médecine intern*, vol. 24(s.4), p. 390–393, Décembre 2003, S0248-8663(03)80347-8.
- [10] P. STAB, Téléconsultation en psychiatrie: évaluation d'une expérience originale, Thèse de doctorat en Médecine de l'Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 2001.
- [11] B. N. D. E, Etude de faisabilité de la Télémédecine au Cameroun, Thèse Médecine, Bamako, 2006.
- [12] A. W. DARKINS et M. A. CARY, *Telemedicine and Telehealth: Principles, Policies, Performance and Pitfalls*, 1st edition, March 15, 2000.
- [13] S. FRAISSE, E. GARCIA, C. PASCAL et P. D, «La télémédecine, entre fantasme et réalité : de la fascination technique aux besoins des utilisateurs,» *Colloque de l'Association Latine de l'Analyse des Systèmes de Santé*, pp. 19, Lyon, Septembre 2010.
- [14] B. MAJED et G. MARQUE, «Rapport sur les Technologies de l'Information et de la Communication et la santé,» *ORS Nord–Pas-de-Calais*, mai 2003.

- [15] J. Marescaux, M. Smith, D. Fölscher, i. F. Jamal, B. Malassagne et J. Leroy, «laparoscopic cholecystectomy: initial clinical experience with 25patients,» *Telerobotic Ann Surg*, pp. 234: 1-7, 2001.
- [16] E. GREBOT, J. CLUZEL et G. ALAJOUANINE, «Les nouvelles technologies de l'information au service de la santé en Afrique dans le cadre du NEPAD,» *Edit : PUF*, Isbn : 2-13-053523-2 / Ean 13 : 9782130535232, mars 2003.
- [17] j. JONG-WOOK, «Rapport OMS sur la santé du monde,» *Travailler ensemble pour la santé*, 2006.
- [18] S. Pierre et A. Dominique, «La place de la télémédecine dans l'organisation des soins,» Novembre 2008.
- [19] J. D. DU SEJOUR, député, J. C. ETIENNE et sénateur, « Rapport sur les Télécommunications à haut débit au service du système de santé - La nouvelle,» *Office Parlementaire d'évaluation des travaux scientifiques*, Tome I. n° 1686 ; Assemblée Nationale ; Paris ; juin 2004.
- [20] F. DUCHENE, « FUSION DE DONNEES MULTI CAPTEURS PAR UN SYSTEME DE TELESURVEILLANCE MEDICALE A DOMICILE,» *thèse de doctorat en traitement du signal et imagerie*, Université Joseph-Fourier -Grenoble I,2004.France.
- [21] M. Abdelmajib, «la télémédecine, l'un des meilleurs exemples.,» *Ingénieur Informaticien, Spécialiste en TIC*.
- [22] A. Allal, K. Nicoucar, N. Mach et Dulguerov, «Quality of life in patients with oropharynx carcinomas: assessment after accelerated radiotherapy with or without,» *Head Neck*, 25(10): 833-9; discussion 9-40. Epub 2003/09/11.
- [23] LA TELEMEDECINE EN ACTION: 25 PROJETS PASSES A LA LOUPE -UN ECLAIRAGE POUR LE DEPLOIEMENT NATIONAL, Groupe de travail technique en télémédecine, Tome 1 : les grands enseignements-mai 2012..
- [24] R. Merzougui, «Conception Et Développement D'applications Et Services Dédiés A La Santé Sur Des Terminaux Mobiles,» *Thèse De Doctorat*, Université Abou bekr belkaid, Tlemcen, Algerie, Année 2011.
- [25] B. Arnoux-Sindt, «Crico-arytenoid articulation and reconstructive laryngectomy,» *Revue de Laryngol Otol Rhinol (Bord)*, 113(4): 339-42. *Articulation crico-arytenoidienne et laryngectomie reconstructive*.
- [26] F. Braun et F. Berthier, «Les interconnexions de la Régulation Médicale,» *Conférence Congrès Urgences 2009*, chapitre 81. Paris ; 2009, pp.817-29.
- [27] S. Rerbal, «traitement numérique du signal physiologique en télémédecine,» *thèse de doctorat*, Université Aboubekrbelkaid, Tlemcen Algerie.2014.

- [28] f. Hamza-Cherif et s. Menouar, «TRANSFERT DU SIGNAL ECG D'UN POSTE LOCAL A UN POSTE DISTANT POUR LA TELESURVEILLANCE MEDICALE,» *memoire de projet de fin d'etudes*, Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen, 28 mai 2015.
- [29] F. Chiarugi, V. Sakkalis, D. Emmanouilidou, T. Krontiris, M. Varanini et al, «Adaptive threshold qrs detector with best channel selection based on a noise rating system,» *Proc. IEEE Computers in Cardiology*, 2007, pp157–160. doi:10.1109/CIC.2007.4745445.
- [30] E. Babin, F. Joly, M. Vadillo et Dehesdin, «Oncology and quality of life. Study in head and neck cancer,» *Annales d'Oto-Laryngologie et de Chirurgie Cervico-Faciale*, 122(3):134-41, 2005.
- [31] Borel-Maisonny, Méthode de lecture. Paris: ARPLOE. 1956. .
- [32] Bréal, Essais de sémantique : science des significations. Paris: Hachette. 1897.
- [33] J. Catford, «Phonation types : the classification of some laryngeal components of speech production,» *In honour of Daniel Jones : papers contributed on the occasion of his eightieth birthday, 12 September 1961. London: Longmans.*
- [34] J. Catford, « Fundamental problems in phonetics,» *Bloomington: Indiana University , Press.* 278p. 1977.
- [35] J. Catford et J. Esling, «Phonetics, Articulatory. In: Brown, K. (eds). *Encyclopedia of Language & Linguistics (Second Edition)*,» *Oxford: Elsevier*, 425-42. 2006.
- [36] L. Boé, J. Heim, L. Honda et K. Maeda, «The potential Neandertal vowel space was as large as that of modern humans,» *Journal of Phonetics* , 30(3): 465-84. 2002.
- [37] I. H. CHETTI et I. LATRACHE, «Sécurisation des données médicales sous Android,» *mémoire de master en genie biomédicale*, université abou bekr belkaid de tlemcen, 17 septembre 2017.
- [38] I. OUIS, «téléformation mobile entre les professionnels de santé,» *signaux et images en médecine*, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algerie, Juin 2013.
- [39] P. BURNEL, «Télémédecine: les premiers «tarifs préfigurateurs» versés avant la fin de l'année,» *délégué à la stratégie des systèmes d'information de santé au ministère de la Santé*, Mars 2014.



# Réseaux et protocoles de communication

---

*CHAPITRE III*

*HAMZA CHERIF Fayssal*

## Table des matières

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>56</b>
<b>2</b>	<b>RESEAUX INFORMATIQUES</b> .....	<b>56</b>
2.1	HISTORIQUE [4] .....	57
2.2	CLASSIFICATION DES RESEAUX [1] [5] [6].....	58
2.3	TYPLOGIE DES RESEAUX .....	61
2.3.1	<i>Les topologies de base</i> .....	61
2.3.2	<i>Les topologies construites [1]</i> .....	62
2.4	SECURITE DANS LES RESEAUX.....	63
<b>3</b>	<b>RESEAUX SANS FIL</b> .....	<b>64</b>
3.1	RESEAUX ETENDUS SANS FIL : WWAN .....	65
3.2	RESEAUX METROPOLITAINS SANS FIL : WMAN.....	67
3.3	RESEAUX LOCAUX SANS FIL : WLAN .....	68
3.4	RESEAUX PERSONNELS SANS FIL : WPAN .....	68
<b>4</b>	<b>PROTOCOLES DES RESEAUX</b> .....	<b>71</b>
4.1	MODELE OSI.....	71
4.2	MODELE TCP/IP .....	73
4.2.1	<i>Protocole IP</i> .....	74
4.2.2	<i>Protocole UDP</i> .....	74
4.2.3	<i>Protocole TCP</i> .....	75
4.2.4	<i>Protocole HTTP</i> .....	75
4.3	COMPARAISON DES MODELES OSI ET TCP/IP .....	75
<b>5</b>	<b>ARCHITECTURE CLIENT / SERVEUR</b> .....	<b>76</b>
5.1	GENERALITE .....	76
5.2	LES ATOUTS DE CETTE ARCHITECTURE [21] .....	77
5.3	LES DIFFERENTS ENVIRONNEMENTS CLIENT-SERVEUR.....	77
5.4	LES TYPES DE CLIENTS .....	79
<b>6</b>	<b>SOCKETS</b> .....	<b>79</b>
6.1	INTRODUCTION AUX SOCKETS .....	79
6.2	POSITION DES SOCKETS DANS LE MODELE OSI .....	80
6.3	DEROULEMENT D'UNE CONNEXION.....	80
<b>7</b>	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>82</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>83</b>



## 1 Introduction

De nos jours les réseaux de télécommunications sont devenus indispensables et omniprésents dans la vie de l'être humain. Les réseaux ont connus une très grande évolution, ils sont passés d'une simple interconnexion des terminaux avec des gros ordinateurs à une vaste interconnexion. Cette évolution significative permet l'interconnexion planétaire des ordinateurs personnels, des smartphones, des grands serveurs dispersés, etc.....

Les réseaux informatiques, les réseaux sans fil, les protocoles de réseaux, l'architecture client/ serveur ainsi que les sockets seront détaillés ci-dessous.

## 2 Réseaux informatiques

Un réseau informatique (*Figure III.1*) peut être défini comme étant un ensemble de moyens matériels et logiciels géographiquement dispersés destinés à offrir un service, comme le réseau téléphonique, ou à assurer le transport de données. Les techniques à mettre en œuvre diffèrent en fonction des finalités du réseau et de la qualité de service désirée. [1] [2]

Par analogie avec un filet (*un réseau est un « petit rets », c'est-à-dire un petit filet*), on appelle nœud l'extrémité d'une connexion, qui peut être une intersection de plusieurs connexions ou équipements (un ordinateur, un routeur, un concentrateur, un commutateur). [3]

Indépendamment de la technologie sous-jacente, on porte généralement une vue matricielle sur ce qu'est un réseau.

De façon horizontale, un réseau est une strate de trois couches : les infrastructures, les fonctions de contrôle et de commande, les services rendus à l'utilisateur. De façon verticale, on utilise souvent un découpage géographique : réseau local, réseau d'accès et réseau d'interconnexion.

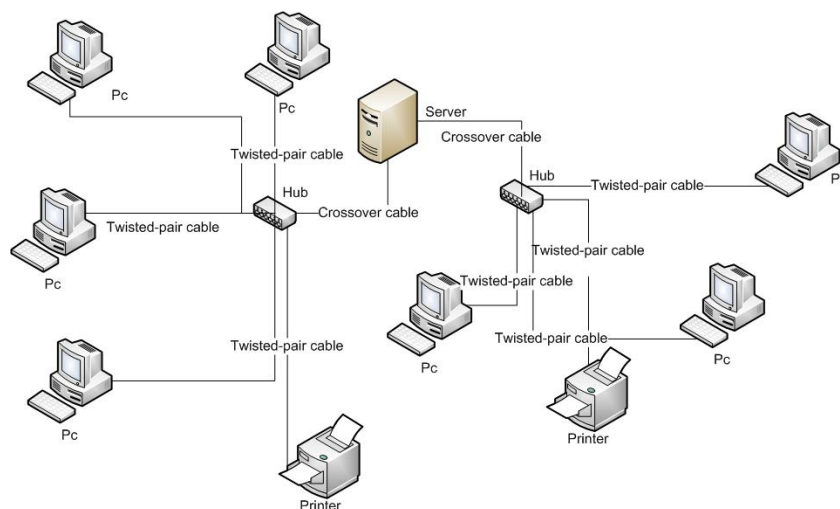


Figure III. 1 Schéma d'un réseau informatique.

## 2.1 Historique [4]

Internet est issu du réseau Arpanet (de l'Advanced Research Projects Agency), créé en 1968 par le département américain de la Défense, dans un but stratégique, pour relier ses centres de recherche.

Le réseau initial ne permettait que l'envoi de courrier électronique. C'est en 1972 que commencèrent les spécifications des protocoles TCP/IP avec l'expérience de l'usage de X25 sur ARPANET. Le but était de concevoir un réseau qui résiste à des attaques militaires telles que des bombardements. Ainsi, il ne devait pas y avoir de point névralgique dans le réseau, dont l'arrêt aurait provoqué le blocage complet de celui-ci, et les données devaient pouvoir automatiquement prendre un chemin différent en cas de coupure de liaison. D'où l'absence de contrôle centralisé dans l'internet et un cheminement dynamique des données.

Mis dans le domaine public (libre d'utilisation), il fut repris par les universitaires en 1979 (La Duke University à Durham Caroline du Nord), qui y virent le moyen d'échanger des informations.

Après les militaires et les universitaires (La National Science Foundation finance leurs mises en réseau), Internet devient aux États-Unis l'affaire des grandes entreprises privées, des P.M.E. et des particuliers.

En 1983, c'est au tour de l'Europe (par le biais en France du C.N.A.M. Conservatoire national des arts et métiers) et du reste du monde de se connecter à ce réseau de réseaux.

Selon le principe d'internet, le réseau IP français pour la recherche s'est construit par le bas, en partant des laboratoires puis des campus et en passant ensuite par la région, avant de passer au projet national. Actuellement, le développement de l'infrastructure internet en France se fait surtout du côté des opérateurs privés qui offrent les services de l'internet aux entreprises et aux particuliers.

L'outil qui rendit populaire l'internet à partir de 1993 est le WWW, le World Wide Web en un mot le Web. Le mot Web désigne la toile d'araignée et World Wide Web désigne donc la toile d'araignée couvrant le monde entier.

Le premier navigateur WEB graphique a été mis au point au CERN (centre européen de recherche nucléaire) en 1993.

Un navigateur Web permet de se connecter à une multitude de sites diffusant des informations sans connaissances des règles de communication propre au réseau.

L'internet reliait en 1995 plus de 2 millions d'ordinateurs et plus de 30 millions d'utilisateurs dans 146 pays.

Le tableau suivant présente les dates les plus marquantes dans l'histoire de réseaux.

1969	Le département américain de la Défense (DOD) décide de construire un réseau appelé ARPANET. D'après « la légende », le but est de pouvoir résister à une guerre nucléaire, à des sabotages, etc., en évitant la centralisation excessive des infrastructures existantes. Une dizaine de sites sont donc connectés par un réseau maillé, non hiérarchique, basé sur le protocole IP. Des laboratoires de recherche universitaires sont associés. La première utilisation est le courrier électronique.
1972	ARPANET rassemble une quarantaine d'ordinateurs militaires et universitaires.
1979	En parallèle, création du réseau civil USENET, utilisé pour des discussions thématiques, les (News ou forums).
1982	L'accès au réseau est accordé gratuitement.
1983	La National Science Fondation (NSF) américaine, équivalent du Ministère de la Recherche, finance la mise en réseau de 60 universités américaines et 3 européennes. Les stations de travail apparaissent.
1984	Scission d'ARPANET entre MILNET (réseau militaire) et INTERNET. La NSF prend le relai d'ARPA et assure le développement d'Internet qui intègre le NSFnet. La demande de connections est grande. Internet connecte plus de 1000 systèmes.
1986	Le réseau est connecté sur les lignes publiques de transmission.
1989	EUnet (Europe), Aussinet (Australie) rejoignent NSFnet. Les entreprises commencent à se brancher sur Internet.
1991	Apparition des « providers » commerciaux (fournisseurs d'accès).
1992	Apparition du World Wide Web (WWW), développé par le CERN à Genève. Il constitue un moyen simple d'organiser l'information et la navigation sur Internet par des hyperliens, en utilisant le format de fichier HTML.

**Tableau III. 1 : Les dates marquantes dans l'histoire de réseaux.**

## 2.2 Classification des réseaux [1] [5] [6]

Le langage courant distingue les réseaux selon différents critères. La classification traditionnelle, fondée sur la notion d'étendue géographique, correspond à un ensemble de contraintes que le concepteur devra prendre en compte lors de la réalisation de son réseau. Comme dans les transports, une classification des réseaux peut se faire en fonction de la distance couverte, c'est-à-dire, de leur étendue. Bien entendu, comme toute classification, des exceptions peuvent apparaître.

Généralement, on adopte la terminologie suivante :

✓ **LAN les réseaux locaux** (en anglais LAN : Local Area Network)

Sont les réseaux de plus faible étendue, allant de quelques mètres à quelques kilomètres. En général, ils interconnectent les équipements d'une même entreprise, laboratoire, d'un même étage d'un bâtiment, ou voire simplement les équipements se trouvant dans un bureau. Au début, leur raison d'être était le partage de ressources à l'époque chères (disques, moyens d'impression). Aujourd'hui, les réseaux locaux constituent l'épine dorsale de l'activité informatique et du système d'information de l'entreprise, du laboratoire, de l'atelier de production. On peut considérer que ce sont les mêmes équipes qui gèrent les réseaux locaux et les ordinateurs (changement d'un disque dur défectueux, ajout de mémoire, ...). Le transfert d'informations sur un réseau local est gratuit (une fois retirés les coûts liés aux équipements et au câblage). Un réseau local est défini par la méthode utilisée pour accéder au support physique et par la nature et la structure de ce support physique (câblage RJ45 ou Wi-Fi).

**Exemple :** Ethernet ou l'anneau à jeton sont deux technologies de réseau local [6]. Ces réseaux destinés au partage local de ressources informatiques (matérielles ou logicielles) offrent des débits élevés de 10 Mbit/s à 10 Gbit/s. [5]

✓ **MAN les réseaux métropolitains** (en anglais MAN : Metropolitan Area Network)

Couvrent une superficie plus importante limitée généralement à environ 200 km. Ils peuvent, par exemple, servir pour relier les différents hôpitaux, universités, entreprises ou technopoles. L'administration de ces réseaux est généralement confiée à une équipe spécialisée qui dépend de l'entreprise ou financée par les différentes entreprises interconnectées. Si la portée est plus réduite que pour les réseaux publics (Internet), les débits doivent être, en revanche, plus importants. Ces réseaux doivent aussi être tolérants aux pannes car, vu les étendues couvertes, la coupure d'un câble ne doit pas paralyser les entreprises. La facturation liée à l'utilisation du réseau est forfaitaire et par conséquent indépendante des volumes de données transférées.

**Exemple :** FDDI (Fiber Data Distributed Interface), avec un débit de 100Mbit/s et une portée de 200 km, est un réseau métropolitain. [6]

✓ **WAN les réseaux publics** (en anglais WAN : Wide Area Network)

Un réseau couvrant un pays ou un continent, voire toute la planète. Les opérateurs qui gèrent ces réseaux ne produisent pas les flots de données qu'ils véhiculent. La facturation peut être forfaitaire, mais est le plus souvent fonction de la distance, de la durée, du volume de données échangé ou d'un mélange de ces trois paramètres.

**Exemple :** Le réseau téléphonique ou le réseau X.25 Transpac peuvent être classés parmi les réseaux publics. [6]

Ces réseaux assurent généralement le transport d'information sur de grandes distances. Lorsque ces réseaux appartiennent à des opérateurs, les services sont offerts à des abonnés contre une redevance. Les débits offerts sont très variables, de quelques kbit/s à quelques Mbit/s. [1]

D'après Philippe Latu [7] les réseaux ont été classés comme indiqué le tableau suivant :

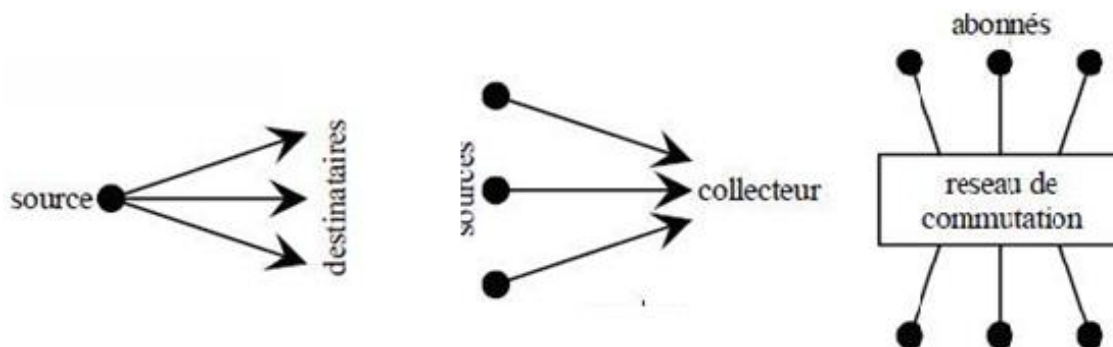
Distance	Acronyme	Type de réseau
<b>Jusqu'à 25 mètres</b>	PAN	Réseau local « domestique ». Personal Area Network
<b>Jusqu'à 10 Km</b>	LAN	Réseau local: local Area Network
<b>Jusqu'à 50 Km</b>	MAN	Réseau métropolitain : Métropolitain Area Network
<b>Jusqu'à 1000 Km</b>	WAN	Réseau longue distance : Wide Area Network
<b>Jusqu'à 40000 Km</b>	Internet	Réseau mondial

**Tableau III. 2 : Classification des réseaux.**

Les réseaux se différencient, aussi, selon les modes de diffusion de l'information : [1] *Figure III.2*

On distingue trois modes :

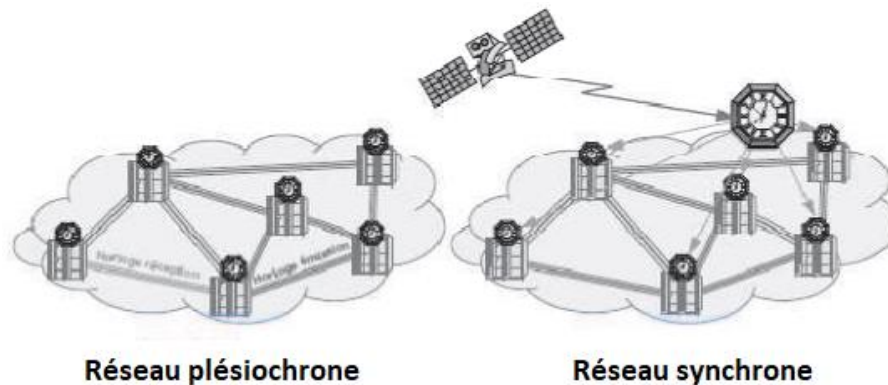
- ✓ La source diffuse ses informations vers des stations réceptrices. La relation est unidirectionnelle de 1 à N (réseau de diffusion). Les réseaux de radiodiffusion constituent un exemple de ce type de réseau. Les réseaux locaux sont aussi assimilés à cette catégorie.
- ✓ À l'inverse, un ensemble de stations peut envoyer les informations à un seul destinataire. La relation est aussi unidirectionnelle, mais de N à 1 (réseaux de collecte). Les réseaux de télémesure constituent un exemple de ce mode de fonctionnement.
- ✓ D'une manière plus générale, un abonné d'un réseau désire pouvoir atteindre tous les autres abonnés ou une partie de ceux-ci. Le réseau doit établir une relation de 1 à 1 parmi N. Ces réseaux de mise en relation sont dits réseaux de commutation, le réseau téléphonique (RTC) en est un exemple.



**Figure III. 2 La classification selon les modes de diffusion de l'information.**

Enfin, une autre distinction (approche temporelle) applicable à tous les réseaux décrit comment les différents nœuds (éléments actifs) d'un réseau sont synchronisés entre eux : *Figure III.3*

- ✓ Si chaque nœud a une horloge indépendante, le réseau est dit plésiochrone. Les horloges réception et émission sont différentes mais proches (plésio).
- ✓ Si les horloges des différents nœuds sont toutes asservies à une même horloge, le réseau est dit synchrone. L'horloge principale peut être une horloge atomique ou une horloge pilotée par les tops horaires d'un GPS.



**Figure III. 3 La distinction des types de réseaux selon le mode de synchronisation.**

La synchronisation des réseaux et les problèmes en relation avec la distribution des horloges constituent un problème majeur de conception d'un réseau.

## 2.3 Typologie des réseaux

La topologie d'un réseau décrit la manière dont les nœuds sont connectés. Cependant, on distingue la topologie physique, qui décrit comment les machines sont raccordées au réseau, de la topologie logique qui renseigne sur le mode d'échange des messages dans le réseau (topologie d'échange). [1] [5]

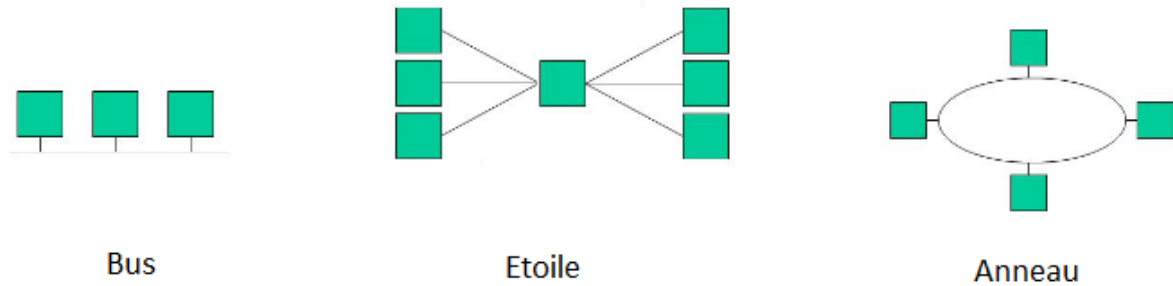
### 2.3.1 Les topologies de base

Les topologies de base sont toutes des variantes d'une liaison point à point ou multipoint. *Figure III.4*



**Figure III. 4 Les modes de liaisons élémentaires.**

La plus simple des topologies de base, le bus, est une variante de la liaison multipoint. Dans ce mode de liaison, l'information émise par une station est diffusée sur tout le réseau. Le réseau en bus est aussi dit réseau à diffusion (*Figure III.5*). Dans ce type de topologie, chaque station accède directement au réseau, d'où des problèmes de conflit d'accès (contentions ou collisions) qui nécessitent de définir une politique d'accès. Celle-ci peut être centralisée ou distribuée comme dans les réseaux locaux. Les réseaux en bus sont d'un bon rapport performance/prix. Ils autorisent des débits importants (>100 Mbit/s sur 100 m). Il est possible d'y insérer une nouvelle station sans perturber les communications en cours.



**Figure III. 5 Les topologies de base.**

La topologie étoile est une variante de la topologie en point à point. Un nœud central émule  $n$  liaisons point à point (*Figure III.5*). Tous les nœuds du réseau sont reliés à un nœud central commun : le concentrateur. Tous les messages transitent par ce point central. Le concentrateur est actif, il examine chaque message reçu et ne le retransmet qu'à son destinataire. Cette topologie correspond, par exemple, au réseau téléphonique privé d'une entreprise où le commutateur téléphonique met en relation les différents postes téléphoniques de l'installation. La topologie étoile autorise des dialogues inter-nœuds très performants.

La défaillance d'un poste n'entraîne pas celle du réseau, cependant le réseau est très vulnérable à celle du nœud central. Dans la topologie en anneau, chaque poste est connecté au suivant en point à point (*Figure III.6*). L'information circule dans un seul sens, chaque station reçoit le message et le régénère. Si le message lui est destiné, la station le recopie au passage (au vol). Ce type de connexion autorise des débits élevés et convient aux grandes distances (régénération du signal par chaque station). L'anneau est sensible à la rupture de la boucle. On peut remédier aux conséquences d'une rupture de l'anneau en réalisant un double anneau.

### 2.3.2 Les topologies construites [1]

Dérivés des réseaux en étoile, les réseaux arborescents (*Figure III.6 gauche*) sont constitués d'un ensemble de réseaux étoiles reliés entre eux par des concentrateurs jusqu'à un nœud unique (nœud de tête). Cette topologie est essentiellement mise en œuvre dans les réseaux locaux (Starlan, 10 base T...). Ces réseaux, en raison de la concentration réalisée à chaque nœud, sont très vulnérables à la défaillance d'un lieu ou d'un nœud. *Figure III.6 centre*

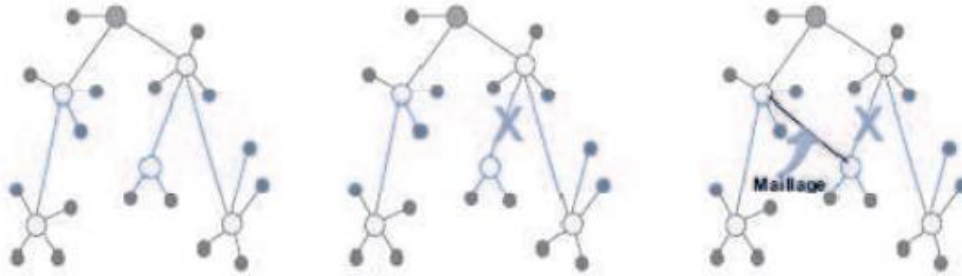


Figure III. 6 De la topologie hiérarchique à la topologie maillée.

Pour pallier cet inconvénient on peut imaginer créer des chemins de secours qui peuvent être temporaires ou permanents. Le réseau est alors dit maillé (*Figure III.6 droite*). Un réseau maillé est un réseau dans lequel deux stations, clientes du réseau, peuvent être mises en relation par différents chemins (*Figure III.7*). Ce type de réseau, permettant de multiples choix de chemins vers une même destination, est très résistant à la défaillance d'un nœud et autorise une optimisation de l'emploi des ressources en répartissant la charge entre les différents nœuds (voies). Chaque nœud est caractérisé par sa connectivité, c'est-à-dire par le nombre de liens qui le réunit aux autres nœuds du réseau.

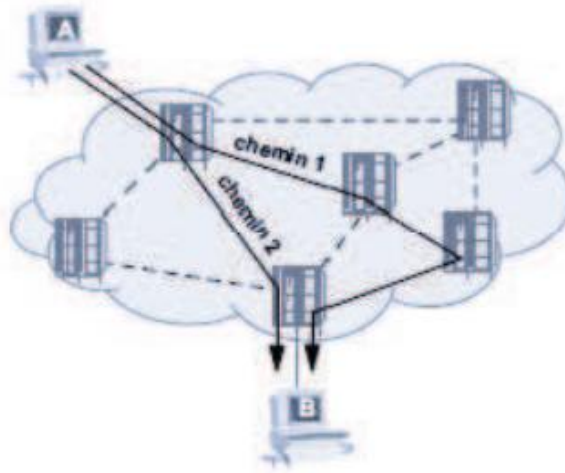


Figure III. 7 Le réseau maillé.

## 2.4 Sécurité dans les réseaux

Comme des informations confidentielles circulent dans les réseaux, la sécurité des communications est devenue une préoccupation importante des utilisateurs et des entreprises. Tous cherchent à se protéger contre une utilisation frauduleuse de leurs données ou contre des intrusions malveillantes dans les systèmes informatiques. Par ailleurs, une multitude de virus se propagent à l'insu des utilisateurs dans les fichiers téléchargés. Les virus sont susceptibles de détruire des documents ou même de provoquer la perte totale des informations stockées dans les machines. La tendance actuelle est de mettre en place des mécanismes de contrôle d'accès et des protocoles sécurisés qui apportent plusieurs services : l'authentification, la confidentialité, l'intégrité, la non-répudiation. [8]



- ✓ **L'authentification** consiste à demander à un utilisateur de prouver son identité (en fournissant un mot de passe ou des données biométriques, par exemple) ;
- ✓ **La confidentialité** garantit aux utilisateurs qu'aucune donnée n'a pu être lue et exploitée par un tiers malveillant ;
- ✓ **L'intégrité** assure aux utilisateurs que leurs données n'ont pas été indûment modifiées au cours de la transmission dans le réseau ;
- ✓ **La non-répudiation** empêche un utilisateur de nier la réalité d'un échange de données.

Plusieurs mécanismes de sécurité sont mis en œuvre dans la transmission des données pour assurer les services ci-dessus. Citons principalement :

- ✓ **Le chiffrement ou cryptage**, qui empêche la lecture des données par des utilisateurs non autorisés ;
- ✓ **La notarisation des échanges**, qui conserve une trace de l'échange auprès d'un tiers de confiance, pour prouver ultérieurement l'existence même de la communication ;
- ✓ **Le bourrage**, qui est une technique de transmission permanente d'un flot d'informations inutiles pour cacher celles qui sont importantes ;
- ✓ **La signature numérique**, qui calcule un bloc de données de contrôle à partir de l'identité de l'utilisateur.

### 3 Réseaux sans fil

Un réseau sans fil est un système de communication permettant de véhiculer les informations sans contraintes de câblage. Dans les réseaux sans fil, on entend parfois parler de « mobilité », du fait qu'un utilisateur a la possibilité de rester connecté tout en se déplaçant dans un périmètre géographique plus ou moins étendu. Dans un réseau sans fil les informations sont transmises soit par liaison infrarouge, soit par onde radio. La transmission par onde radio est la méthode la plus répandue en raison de sa plus large couverture géographique et son débit plus élevé. Il existe plusieurs technologies de transmission se distinguant d'une part par la fréquence d'émission utilisée et d'autre part par le débit et la portée. [2]

Les réseaux sans fil se sont développés au départ essentiellement pour répondre aux deux besoins suivants : mettre en place des transmissions dans les endroits où la pose de câble est difficile, voire impossible (par exemple, transmission entre deux bâtiments), et assurer la transmission de données pour des applications mobiles. Là où le câblage est difficile, les réseaux sans fil répondent à la motivation classique de l'économie des coûts [9]. Ajoutons que l'installation des réseaux sans fil est assez facile à mettre en place, ce qui a valu un développement rapide de ce type de réseaux. En contrepartie, se pose le problème de la réglementation relative aux transmissions radio. En effet, ces transmissions sont utilisées dans un grand nombre d'applications (militaires, scientifiques, amateurs ...), mais sont

sensibles aux interférences. Par conséquent, une réglementation est nécessaire afin de définir les puissances maximales d'émission et les règles de coexistence dans les bandes de fréquences utilisées par plusieurs applications.

Selon la zone de couverture géographique, on distingue habituellement plusieurs catégories de réseaux sans fil :

### 3.1 Réseaux étendus sans fil : WWAN

Le réseau étendu sans fil WWAN (Wireless Wide Area Network), connu également sous le nom de réseau cellulaire mobile, est le réseau sans fil le plus répandu. Les principales technologies utilisées dans ces réseaux sont les suivantes :

- **GSM (2G)** (*Global System for Mobile Communication ou en français Groupe Spécial Mobile*) Le service le plus important dans les réseaux cellulaires GSM est le service de la voix. Cette technologie a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles et abonnés du réseau fixe (RTC). Le réseau GSM s'interface avec le réseau RTC et comprend des commutateurs. Il se distingue par un accès spécifique : la liaison radio.

La satisfaction de l'utilisateur final se traduit par trois contraintes de fonctionnement :

- ✓ L'abonné doit pouvoir joindre n'importe qui, n'importe quand et n'importe où ;
- ✓ Après établissement de la communication, la conversation est audible et compréhensible par les deux interlocuteurs ;
- ✓ La ligne téléphonique n'est pas coupée en cours de communication.

Pour l'opérateur, ceci se traduit par trois contraintes techniques :

- ✓ Une couverture nationale ;
  - ✓ Un dimensionnement correct des liens radio et réseau (pour la disponibilité des ressources);
  - ✓ La mise en place de mécanismes efficaces de gestion du lien radio (pour la minimisation du taux de coupure) ; [10]
- **GPRS (2.5G)** (*General Packet Radio Service*) Le standard GPRS représente une évolution majeure de la norme GSM et une transition vers la troisième génération, on parle généralement de 2.5G pour classer ce standard. L'exploitation du mode de transfert des données par paquets et l'augmentation des débits ouvrent la porte aux communications mobiles multimédia. Ce standard peut être considéré

comme un réseau de données à part entière (commutation de paquet) qui dispose d'un accès radio réutilisant une partie du réseau GSM [11]. Le réseau GPRS est relié à différents réseaux de données par l'intermédiaire de l'Internet (Protocole IP). Pour cela, il est indispensable qu'un terminal GPRS dispose d'une adresse IP dont le champ réseau est spécifique à ce type de support.

Les débits théoriques autorisés par cette génération (de 9.6 Kbps à 171.2 Kbps) permettent d'envisager de nombreuses applications tels que la consultation du Web, le transfert de fichiers, la transmission de vidéo compressée, etc. La facturation en GPRS se fait selon le volume échangé plutôt qu'à la durée de connexion, ce qui signifie notamment qu'il peut rester connecté sans surcoût.

- **HSCSD ou EDGE EDGE** représente une seconde forme d'évolution des systèmes 2G. Il s'agit d'une simple évolution de la technologie GSM/GPRS et du système TDMA permettant d'obtenir un débit qui peut aller jusqu'à 384 Kbps. Mais c'est beaucoup moins performant que la 3G et son rendement optimal est obtenu lorsqu'il est combiné avec un réseau de commutation par paquet (GPRS). Ce standard utilise une nouvelle modulation du signal (8PSK) qui permet d'améliorer l'efficacité spectrale et la capacité du réseau. Un terminal mobile dans un réseau EDGE est capable de transmettre et de recevoir sur plusieurs intervalles de temps (IT) [10]. Cette technique permet de définir des circuits allant jusqu'à 6 IT alloués aux mobiles par trame TDMA ; ce qui permet d'envisager des débits de l'ordre 19.2 Kbps, 28.8 Kbps, 38.4 Kbps, 48 Kbps, 56 Kbps ou 64 Kbps suivant le nombre des canaux alloués.
- **UMTS (3G)** (*Universal Mobile Telecommunication System*) La norme UMTS est une évolution de la deuxième génération à la troisième génération (3G). Elle constitue une voie royale pour le développement de produits et de services multimédias. Les technologies développées autour de cette norme conduisent à une amélioration significative des services et des vitesses de transfert avec des débits supérieurs à 144 Kbps et pouvant aller jusqu'à 2 Mbps. Cette amélioration des débits est rendue possible grâce à l'évolution des technologies radio qui autorisent une meilleure efficacité spectrale et l'exploitation de bandes de spectre de fréquences supérieures à celles utilisées par la technologie GSM. [12]

- **Technologie HSDPA (3.5G)** La troisième génération (UMTS) impose des investissements énormes pour des débits qui ne sont pas éloignés de ceux du GPRS et se voit rapidement remplacée par la nouvelle génération 3,5G, appelée HSDPA. Cette nouvelle technologie offre des débits pouvant aller au-delà de 10 Mbps sur le lien descendant [13]. Le HSDPA peut être installé et déployé sans changer radicalement l'architecture de l'UMTS. Il permet du coup aux opérateurs de réaliser cette évolution à moindre coût.
- **Technologie HSUPA (3.75G)** La 3.75G est une variante de HSDPA sur la voie montante. HSUPA peut être considéré comme le successeur de HSDPA, il porte un débit montant (Uplink) à 5,8 Mbps théorique, le flux descendant (Downlink) étant de 14 Mbps comme en HSDPA [14]. L'intérêt de cette technologie sera d'offrir la possibilité d'émettre vers d'autres mobiles toutes sortes des documents électroniques (images, vidéos...) favorisant ainsi le développement de l'Internet haut débit mobile.
- **Technologie 4G** Les futures générations de réseaux opérés (4G) reposent sur l'intégration de plusieurs systèmes et technologies d'accès sans fils. Ce système de télécommunication représente la convergence entre la 3ème génération et les diverses technologies radio complémentaires. Cela permet de réduire les coûts de déploiement et d'augmenter la couverture à moindre frais [15]. Les terminaux de cette technologie devront donc être capables de sélectionner à chaque instant la meilleure solution pour accéder à un réseau donné. L'objectif ici, est de fournir aux utilisateurs mobiles des services rapides et sans interruption dans un environnement hybride. Cette génération offre des taux de données supérieurs à 100 Mbps.

### 3.2 Réseaux métropolitains sans fil : WMAN

Les réseaux métropolitains sans fil WMAN (*Wireless Metropolitan Area Networks*) sont fondés sur le standard IEEE 802.16 [9]. La norme la plus connue du réseau métropolitain sans fil est le WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), permettant d'obtenir théoriquement des débits de l'ordre de 70 Mbits/s sur une portée de plusieurs kilomètres. [9]

### 3.3 Réseaux locaux sans fil : WLAN

Le réseau local sans fil WLAN (Wireless Local Area Network) est un réseau permettant de couvrir l'équivalent d'un réseau local d'entreprise, d'une maison, ou d'un espace public tel qu'un aéroport, un hôtel... Tous les terminaux présents dans la zone de couverture peuvent être reliés entre eux. Dans ce type de réseaux on trouve :

- **La technologie WiFi** (*Wireless Fidelity*) (fondée sur les standards IEEE 802.11), opérant dans la bande de fréquences autour de 2.4 GHz, offre des débits allant jusqu'à 11 Mbits/s en 802.11b et 54 Mbits/s en 802.11g sur une distance de plusieurs dizaines de mètres en intérieur (généralement entre une vingtaine et une cinquantaine de mètres). Dans un environnement ouvert, la portée peut atteindre plusieurs centaines de mètres voire dans des conditions optimales plusieurs dizaines de kilomètres. Notons aussi l'existence de la norme IEEE 802.11a (baptisée WiFi5), fonctionnant dans la bande des 5 GHz et offrant un débit théorique de 54 Mbits/s jusqu'à 10 m de portée. [9]
- **Le standard 802.11n**. Il s'agit d'un standard de seconde génération, très haut débit. Le groupe de travail lancé mi-2004 pour succéder 802.11g, étudie un standard pour la technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output) qui pourrait multiplier par 4 voire 8 le débit de 802.11g, c'est-à-dire atteindre des débits de l'ordre de quelques centaines de Mbits/s.
- **HiperLAN2** (*pour High Performance Radio Local Area Network 2.0*), norme européenne élaborée par l'ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*). HiperLAN2 opère dans la bande de fréquences autour de 5 GHz en utilisant l'OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) et permet d'obtenir un débit théorique allant jusqu'à 54 Mbits/s sur une zone de couverture de plusieurs dizaines de mètres. Cette norme est concurrencée par 802.11a, malgré de meilleures performances puisqu'elle apporte une certaine qualité de service et la gestion du roaming.

### 3.4 Réseaux personnels sans fil : WPAN

Le réseau personnel sans fil WPAN (*Wireless Personal Area Network*) concerne les réseaux sans fil d'une faible portée, de l'ordre de quelques mètres. Ce type de réseau sert généralement à relier des périphériques (imprimante, téléphone portable, appareils domestiques, ...) ou un assistant personnel (PDA) à un ordinateur sans liaison filaire ou bien permettre la liaison sans fil entre deux machines très peu distantes [9]. Plusieurs technologies sont utilisées dans les réseaux WPAN :

- **La technologie Bluetooth** est la principale technologie des réseaux WPAN. Elle opère dans la bande de fréquences autour de 2.4 GHz. La portée dépend de la classe du terminal utilisé. On distingue normalement trois classes. La classe 2, qu'on trouve d'une manière assez commune dans les terminaux mobiles, a une portée de 10 m. La puissance utilisée dans cette classe est de 2.5 mW. La technologie Bluetooth a été conçue de manière à avoir une très faible consommation. Le débit quant à lui est d'1 Mbit/s pour la version 1.2 (adoptée en Novembre 2003) et peut aller jusqu'à 3 Mbits/s pour la version 2.0 + EDR (*Enhanced Data Rate*) (adoptée en Novembre 2004). [9]
- **HomeRF** (*Home Radio Frequency*), soutenue initialement par le « *HomeRF Working Group* » (formé notamment par les constructeurs Compaq, HP, Intel, Siemens, Motorola et Microsoft). La technologie HomeRF a été imaginée à l'origine pour un usage domestique. Elle propose un débit théorique de 10 Mbits/s avec une portée d'environ 50 à 100 mètres sans amplificateur. Le standard HomeRF, sévèrement concurrencée par Wi-Fi aux Etats-Unis, a perdu le soutien de deux sponsors de poids, Intel et Microsoft. Par conséquent, c'est un standard qui est en perte de vitesse. [9]
- **La technologie ZigBee** (IEEE 802.15.4) permet d'obtenir des liaisons sans fil à très faible coût et avec une très faible consommation d'énergie, ce qui la rend particulièrement adaptée pour être directement intégrée dans les petits appareils électroniques (appareils électroménagers, hifi, capteurs ...). La technologie ZigBee, opérant sur la bande de fréquences autour de 2.4 GHz, permet d'obtenir des débits pouvant atteindre 250 Kbits/s avec une portée maximale de plusieurs dizaines de mètres. [9]
- **Les liaisons infrarouges** permettent de créer des liaisons sans fil point à point de quelques mètres avec des débits pouvant aller jusqu'à quelques mégabits par seconde. Ces liaisons nécessitent principalement une visibilité directe entre l'émetteur et le récepteur. Cette technologie est largement utilisée pour la domotique (télécommandes) mais souffre toutefois des perturbations dues aux interférences lumineuses. L'association irDA (*infrared data association*) formée en 1994 regroupe plus d'une centaine de membres. Son objectif est de développer les spécifications globalement adoptées pour des communications infrarouges. [9]

Notons l'influence de l'environnement proche et en particulier la présence de personnes sur la qualité de la liaison sans fil. La liaison à courte portée en présence de personnes est associée aux réseaux WBAN (Wireless Body Area Networks réseaux WPAN).

La **Figure III.8** Récapitule les différentes catégories des réseaux technologies utilisées dans ces réseaux.

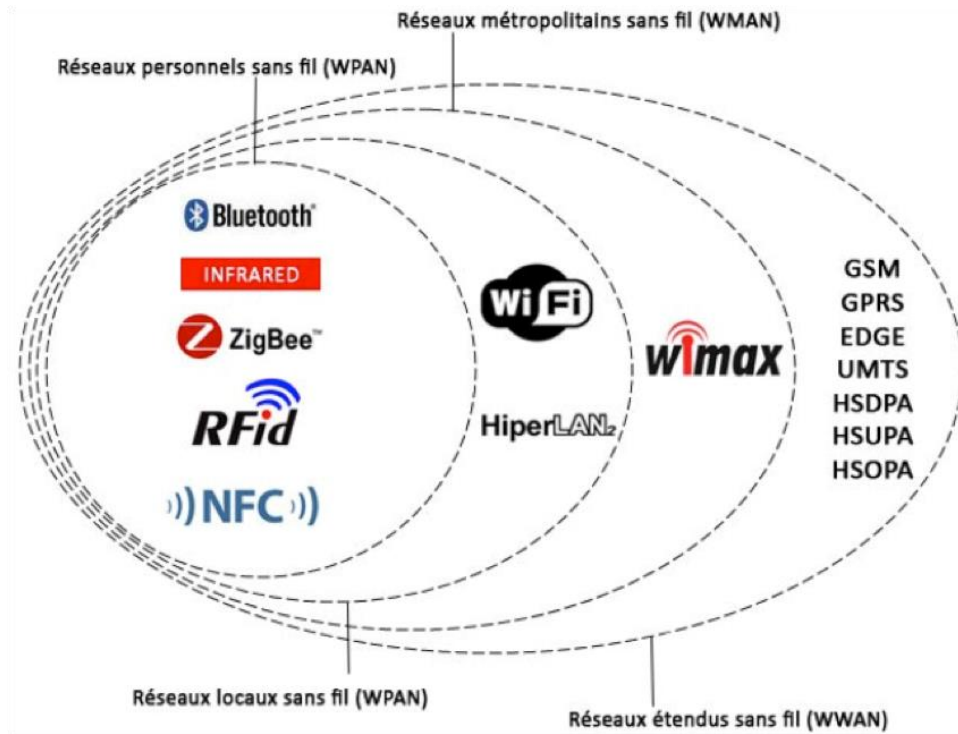


Figure III. 8 les catégories des réseaux sans fils.

Catégories	Portée max	Débit	Usages	Normes
<b>WPAN</b>	Quelques m	1 Mbit/s	Réseau particulier	IEEE 802.15 ( <i>Bluetooth</i> ) NFC ETSI HyperPan
<b>WLAN</b>	500 m	+50 Mbit/s	Réseau internes. Propre à un bâtiment	IEEE 802.11 ( <i>a,b,c...</i> ) ETSI HyperLan
<b>WMAN</b>	4 à 10 Km	1 à 10 Mbit/s	Ville, Campus, ... Interconnecte plusieurs WLAN	IEEE 802.16 WiMax ETSI HyperMan
<b>WWAN</b>	+100 km	1 à 10 Mbit/s	Régional, National Interconnecte plusieurs villes	Basé sur des technologies cellulaires

Tableau III. 3 : Classification des réseaux sans fil.

## 4 Protocoles des réseaux

Un protocole de communication est un ensemble de règles permettant à plusieurs ordinateurs de dialoguer entre eux. Les humains ont besoin d'un langage pour se comprendre, il en est de même pour les ordinateurs. A l'ONU, les diplomates des différentes nations se comprennent grâce aux interprètes qui traduisent sur le champ les discours des uns et des autres. Les ordinateurs ne font que copier les méthodes de communication des humains. [16]

Le terme couche de protocole suggère qu'il y a une interaction entre les différents protocoles. Chaque couche de protocoles interagit avec la couche suivante grâce à une interface spécifique. Il y a deux modèles décrivant les couches de protocole : les modèles OSI et TCP/IP. [17]

### 4.1 Modèle OSI

Les réseaux informatiques fondent leur conception sur le modèle de référence à 7 couches OSI (Open System Interconnection) (*Figure III.9*) défini par l'ISO (International Standard Organization). Dans ce modèle, chaque couche a une fonction particulière et se base sur les services de la couche immédiatement inférieure. Rappelons succinctement les fonctionnalités de ces différentes couches :

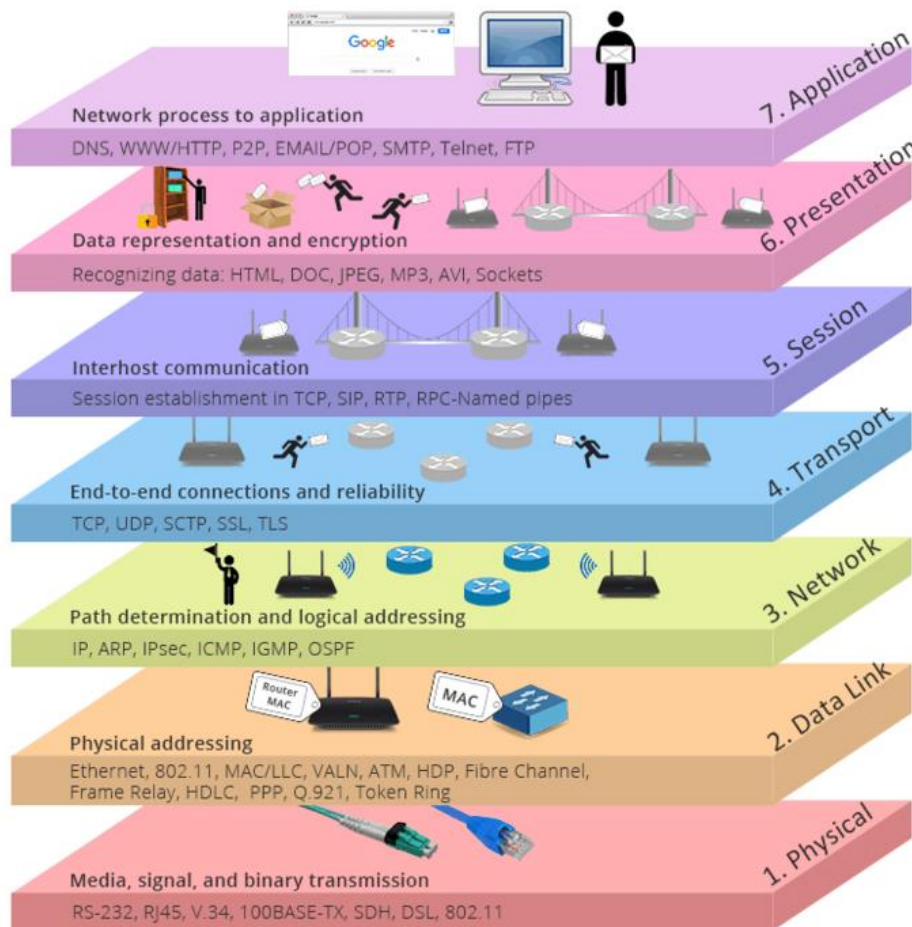


Figure III. 9 Les couches du modèle OSI.

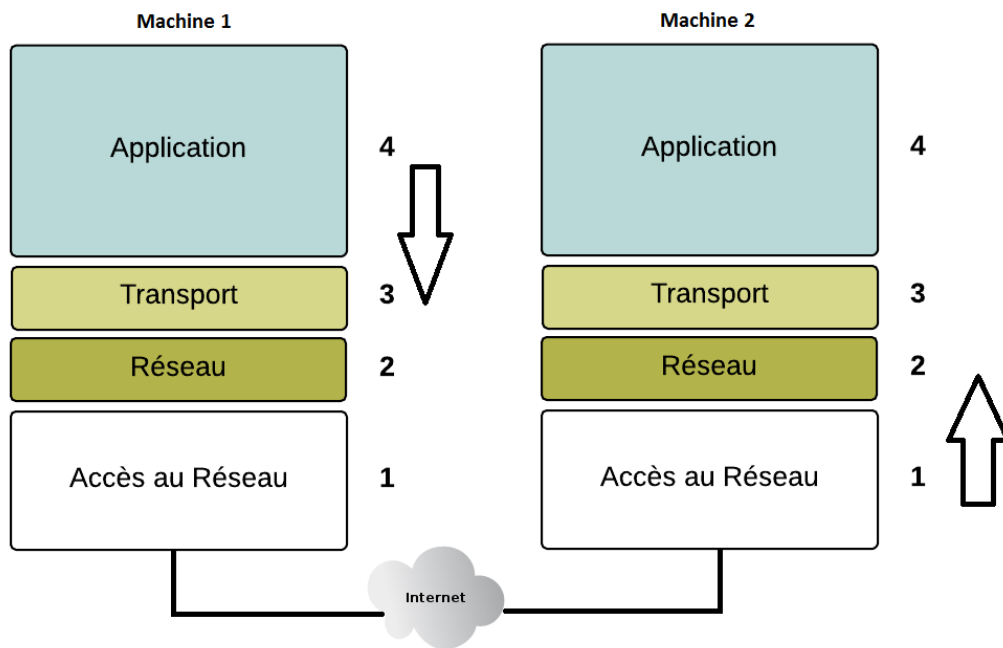


- **La couche 1 ou couche physique** permet d'adapter les données binaires informatiques au support physique de transmission ;
- **La couche 2 ou couche liaison** assure une transmission fiable de l'information. Les données sont regroupées dans des trames. La portée d'une trame est celle du support physique qui la véhicule ;
- **La couche 3 ou couche réseau** permet l'accès à n'importe quel équipement sur le réseau. Ce niveau permet de s'affranchir de la limitation de portée des trames. Cette couche introduit la notion d'adresse, nécessaire pour localiser les équipements, et la notion de routage. Les informations véhiculées à ce niveau sont des paquets ;
- **La couche 4 ou couche transport** gère la communication de bout en bout entre les deux équipements communicants. Elle assure entre autres le reséquent des données si les paquets n'arrivent pas dans le bon ordre et la détection des pertes si certains paquets n'arrivent pas à destination ;
- **La couche 5 ou couche session** garantit par exemple qu'en cas de coupure du réseau, les transferts d'information reprendront à des points de synchronisation que cette couche établit avec son entité homologue ;
- **La couche 6 ou couche présentation** permet de s'affranchir des représentations locales des données. Par exemple, il ne sert à rien qu'un réseau transmette sans erreur des nombres entiers, si les ordinateurs émetteur et récepteur n'en ont pas la même représentation, comme c'est le cas entre les ordinateurs Macintosh et PC ;
- **La couche 7 ou couche application** contient les applications qui utilisent le réseau. Ces applications peuvent être lancées par un utilisateur ou par le système d'exploitation de la machine. Il n'y a pas de difficulté pour appliquer les couches hautes de ce modèle de référence aux réseaux locaux. Cependant, les couches basses posent des problèmes. En effet le modèle de l'ISO a été conçu en ayant comme référence des réseaux publics maillés, c'est-à-dire, des réseaux construits sur des liaisons point à point, conduisant à des topologies (les graphes des connexions) irrégulières.

## 4.2 Modèle TCP/IP

Le modèle TCP/IP est également un modèle de référence en couches, mais c'est un modèle à quatre couches. Il est généralement appelé TCP/IP parce que les protocoles de base sont TCP et IP, mais ce ne sont pas les seuls protocoles utilisés dans ce modèle. [18]

La *Figure III.10* décrit le modèle TCP/IP, formé de quatre couches



**Figure III. 10 Les couches du modèle TCP/IP.**

- **La couche d'accès réseau ou couche de liaison** est responsable de placer et de recevoir les paquets TCP/IP dans et en dehors du support réseau. TCP/IP est conçu pour être indépendant de la méthode d'accès au réseau, du format de trame et du support. En d'autres termes, il est indépendant de toute technologie de réseau spécifique. De cette façon, TCP/IP peut être utilisé pour connecter différents types de réseaux, tels que l'Ethernet, Token Ring, et Asynchronous Transfer Mode (ATM) ;
- **La couche Internet** est responsable des fonctions d'adressage, du conditionnement et de routage des hôtes. Les principaux protocoles de la couche de protocole Internet sont IP, Protocole de résolution d'adresse (ARP), Protocole de message de contrôle Internet (ICMP) et protocole de gestion de groupe Internet (IGMP). Dans cette couche, l'IP ajoute un en-tête aux paquets, qui est connu comme adresse IP. Il existe maintenant une adresse IPv4 (32 bits) et une adresse IP Ipv6 (128 bits) ; *Figure III.11*

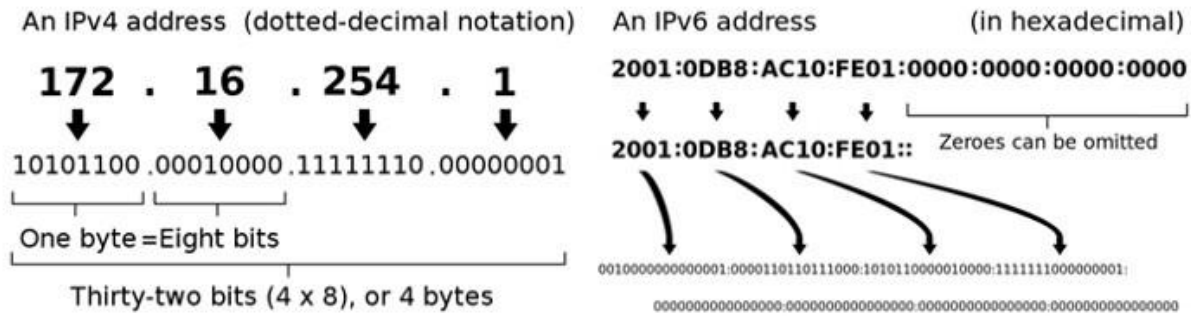


Figure III. 11 IPv4 address and IPv6 address examples.

- **La couche de transport** est chargée de fournir à la couche application des services de communication de session et de datagramme. Les protocoles de base de cette couche sont TCP et UDP. TCP fournit un service de communication fiable de dispositif à dispositif et axé sur la connexion. Il est responsable de la séquence et reconnaissance de réception des paquets envoyés, et récupération des paquets perdus en transmission. UDP fournit un service de communication sans connexion et peu fiable de dispositif à dispositif ou dispositif à plusieurs dispositifs. UDP est généralement utilisé lorsqu'il y a une faible quantité de données à transférer (par exemple, lorsque les données peuvent tenir dans un seul paquet) ;
- **La couche d'application** du modèle TCP/IP permet aux applications-là d'accéder aux services des autres couches, et détermine les protocoles que les applications utilisent pour échanger des données. Les protocoles de couche d'application les plus connus sont HTTP, FTP, SMTP, Telnet, DNS, SNMP et Routing Information Protocol (RIP) ;

#### 4.2.1 Protocole IP

Le protocole IP est le cœur du fonctionnement de l'internet. Il assure sans connexion un service non fiable de délivrance de datagrammes IP. Le service est non fiable car il n'existe aucune garantie pour que les datagrammes IP arrivent à destination. Certains peuvent être perdus, dupliqués, retardés, altérés ou remis dans le désordre. Le mode de transmission est non connecté car IP traite chaque datagramme indépendamment de ceux qui le précèdent et du suivant. [19]

#### 4.2.2 Protocole UDP

Ce protocole utilise IP pour acheminer, d'un ordinateur à un autre, en mode non fiable des datagrammes qui lui sont transmis par une application. UDP n'utilise pas d'accusé de réception et ne peut pas donc garantir que les données ont bien été reçues. Il ne réordonne pas les messages si ceux-ci n'arrivent pas

dans l'ordre dans lequel ils ont été émis et il n'assure pas non plus de contrôle de flux. Cependant, UDP fournit un service supplémentaire par rapport à IP car il permet de distinguer plusieurs applications destinataires sur la même machine par l'intermédiaire des ports. [19]

#### 4.2.3 Protocole TCP

Contrairement à UDP, TCP est un protocole qui procure un service de flux d'octets orienté connexion et fiable. Les données transmises par TCP sont encapsulées dans des datagrammes IP en y fixant la valeur du protocole à 6. [19]

#### 4.2.4 Protocole HTTP

HTTP est un protocole de niveau application suffisamment léger et rapide pour une communication Client-serveur. Il peut fonctionner sur n'importe quelle connexion fiable. Les Clients http les plus connus sont les navigateurs Web permettant à l'utilisateur final d'accéder à un serveur de données. Il existe aussi des systèmes pour récupérer automatiquement les données sur Internet tel que les aspirateurs. Mis à part la récupération de données, les systèmes d'information évolués nécessitent d'autres fonctions telles que la possibilité d'effectuer des recherches, les fonctions de remise à jour et l'annotation. Les messages sont transmis sous une forme similaire à celle de la messagerie électronique (E-mail) et des extensions MIME. [20]

### 4.3 Comparaison des modèles OSI et TCP/IP

La *Figure III.12* établit un parallèle entre les modèles OSI et TCP/IP.

Aux deux couches physiques et liaison de données du modèle OSI correspond la couche accès réseau du modèle TCP/IP.

La couche réseau du modèle OSI correspond à la couche Internet du modèle TCP/IP.

La couche transport du modèle OSI correspond à la couche hôte à hôte du modèle TCP/IP.

Les trois couches les plus hautes du modèle OSI (session, présentation et application) correspondent à la seule couche application du modèle TCP/IP. La terminologie utilisée pour décrire les données au niveau de chaque couche diffère dans les deux modèles. Dans le modèle OSI, l'expression PDU (Protocol Data Unit) est employée pour décrire les données d'une couche. Dans le modèle TCP/IP, le terme message est utilisé au niveau de la couche application ; le terme segment, au niveau de la couche hôte à hôte ; le terme datagramme, au niveau de la couche Internet ; et le terme trame, au niveau de la couche accès réseau.

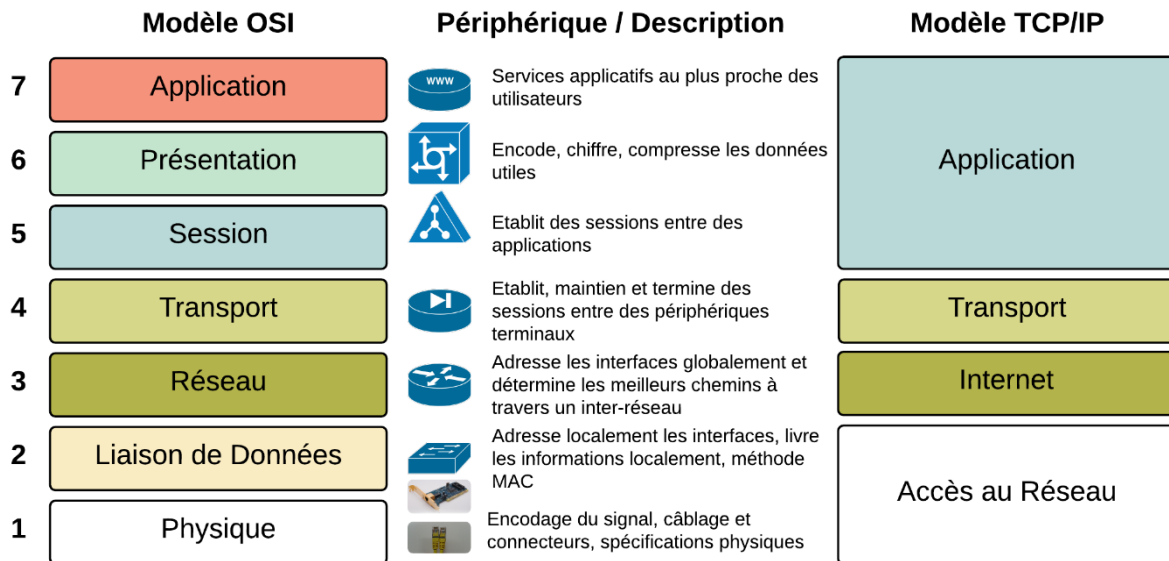


Figure III. 12 Comparaisons des modèles OSI et TCP/IP.

## 5 ARchitecture client / serveur

### 5.1 Généralité

L'environnement client/serveur désigne un mode de communication organisé par l'intermédiaire d'un réseau et d'une interface Web entre plusieurs ordinateurs (Figure III.13). "Cela signifie que des machines clientes (machines faisant partie du réseau) contactent un serveur, une machine généralement très puissante en termes de capacités d'entrées-sorties, qui leur fournit des services. Lesquels services sont exploités par des programmes, appelés programmes clients, s'exécutant sur les machines clientes". De nombreuses applications fonctionnent selon un environnement client/serveur, cela signifie que des machines clientes (des machines faisant partie du réseau) contactent un serveur, une machine généralement très puissante en termes de capacités d'entrée-sortie, qui leur fournit des services. [21]

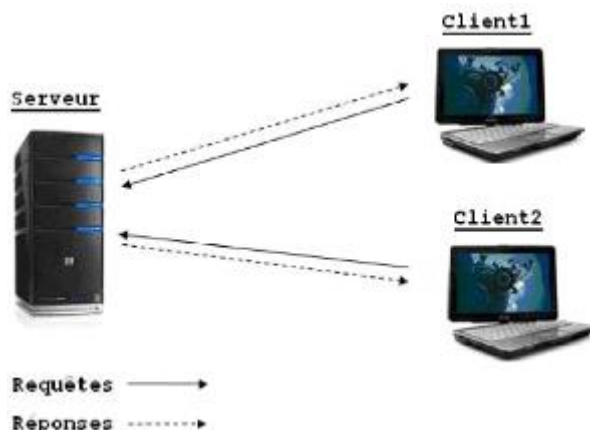


Figure III. 13 Communication client et serveur.

## 5.2 Les atouts de cette architecture [21]

- **Information centralisée** : pour un site web dynamique par exemple (comme vulgarisation-informatique.com), certains articles du site sont stockés dans une base de données sur le serveur. De cette manière, les informations restent identiques. Chaque utilisateur accède aux mêmes informations.
- **Sécurité plus importante** : Lors de la connexion un PC client ne voit que le serveur, et non les autres PC clients. De même, les serveurs sont en général très sécurisés contre les attaques de pirates.
- **Fiabilité plus importante** : En cas de panne, seul le serveur fait l'objet d'une réparation, et non le PC client. Facilité d'évolution : Une architecture client/serveur est évolutive car il est très facile de rajouter ou d'enlever des clients, et même des serveurs. *Figure III.14*

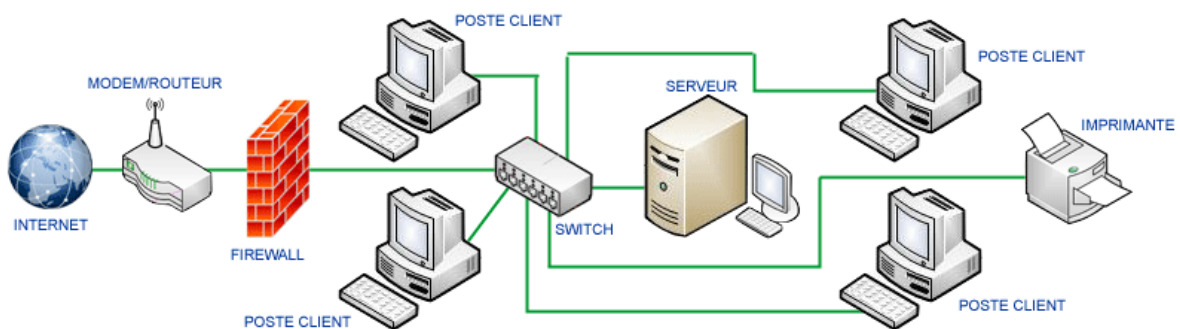


Figure III. 14 Exemple d'une architecture Client / Serveur.

## 5.3 Les différents Environnements Client-Serveur

Plusieurs environnements sont organisés qui diffèrent par les caractéristiques du réseau ou du client qu'ils contiennent : [21]

- **Architecture "Peer to Peer"** Il existe deux types pour cette architecture. Le centralisé et le décentralisé. Le réseau est dit pair à pair (peer-to-peer en anglais, ou P2P), lorsque chaque ordinateur connecté au réseau est susceptible de jouer tour à tour le rôle de client et celui de serveur. *Figure III.15*

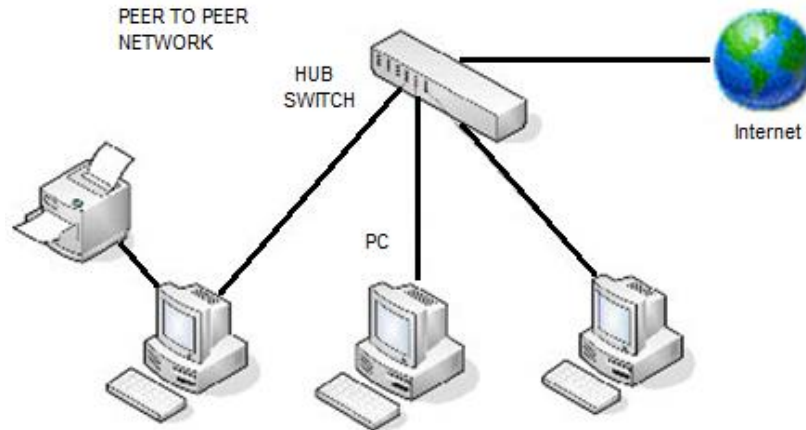


Figure III. 15 Architecture Peer to Peer.

- **Architecture à 2 niveaux :** Ce type d'architecture (2-tier en anglais) caractérise les systèmes client-serveur où le poste client demande une ressource au serveur qui la fournit à partir de ses propres ressources.
- **Architecture à 3 niveaux :** Dans cette architecture (3-tier en anglais), existe un niveau supplémentaire : Un client (l'ordinateur demandeur de ressources) équipé d'une interface utilisateur (généralement un navigateur web) chargé de la présentation. Un serveur d'application (appelé middleware) qui fournit la ressource, mais en faisant appel à un autre serveur. Un serveur de données qui fournit au serveur d'application les données requises pour répondre au client.
- **Architecture à N niveaux :** On voit que l'architecture 3 niveaux permet de spécialiser les serveurs dans une tâche précise : Avantage de flexibilité, de sécurité et de performance. Potentiellement, l'architecture peut être étendue sur un nombre de niveaux plus important : On parle dans ce cas d'architecture à N niveaux (ou multi-tier). Voici schématisez cette architecture sur la figure ci-dessous.

## N-Tier Architecture

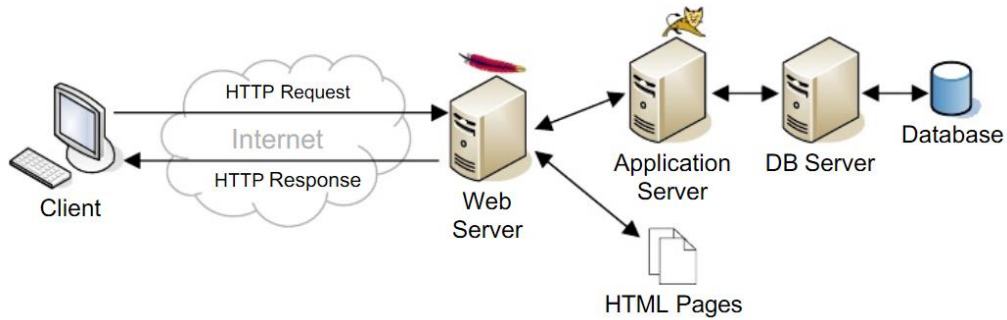


Figure III. 16 Architecture à N niveaux.

### 5.4 Les types de Clients

- **Client "léger"** Le poste client accède à une application située sur un ordinateur dit "serveur" via une interface et un navigateur Web. L'application fonctionne entièrement sur le serveur, le poste client reçoit la réponse "toute faite" à sa demande qu'il a formulée. (Appelée : requête).
- **Client "lourd"** Le poste client doit comporter un système d'exploitation capable d'exécuter en local une partie des traitements. Car le traitement de la réponse à la requête du client utilisateur va mettre en œuvre un travail combiné entre l'ordinateur serveur et le poste client.
- **Client "riche"** Un interface graphique plus évolué permet de mettre en œuvre des fonctionnalités comparables à celles d'un client "lourd". Les traitements sont effectués majoritairement sur le serveur, la réponse "semi-finie" étant envoyée au poste client, où le client "riche" est capable de la finaliser et de la présenter. [21]

## 6 Sockets

### 6.1 Introduction aux sockets

La notion de sockets a été introduite dans les distributions de Berkeley (un fameux système de type UNIX, dont beaucoup de distributions actuelles utilisent des morceaux de code), c'est la raison pour laquelle on parle parfois de sockets BSD (Berkeley Software Distribution). [22]

Il s'agit d'un modèle permettant la communication inter processus (IPC - Inter Processus Communication) afin de permettre à divers processus de communiquer aussi bien sur une même machine qu'à travers un réseau TCP/IP.



La communication par socket est souvent comparée aux communications humaines. On distingue ainsi deux modes de communication :

- **Le mode connecté** (comparable à une communication téléphonique), utilisant le protocole TCP. Dans ce mode de communication, une connexion durable est établie entre les deux processus, de telle façon que le socket de destination n'est pas nécessaire à chaque envoi de données.
- **Le mode non connecté** (analogue à une communication par courrier), utilisant le protocole UDP. Ce mode nécessite l'adresse de destination à chaque envoi, et aucun accusé de réception n'est donné.

## 6.2 Position des sockets dans le modèle OSI

Les sockets se situent juste au-dessus de la couche transport du modèle OSI (protocoles UDP ou TCP) (*Figure III.17*), elle-même utilisant les services de la couche réseau (protocole IP / ARP).

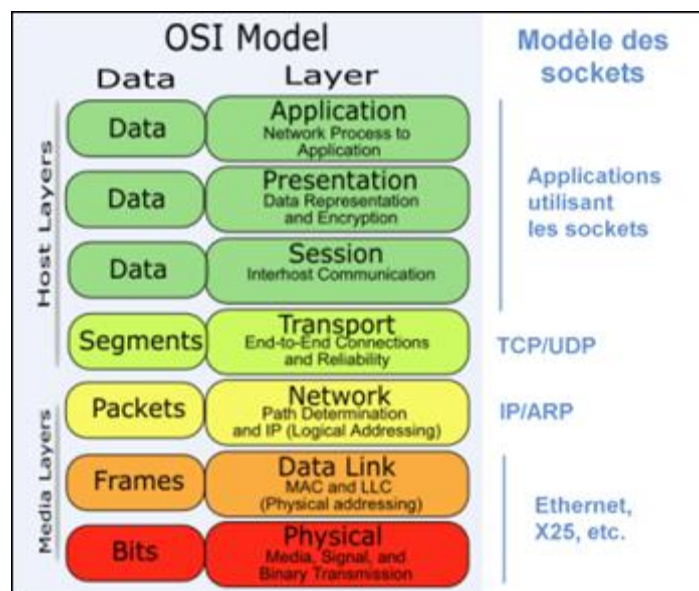


Figure III. 17 Position des sockets dans le modèle OSI.

## 6.3 Déroulement d'une connexion

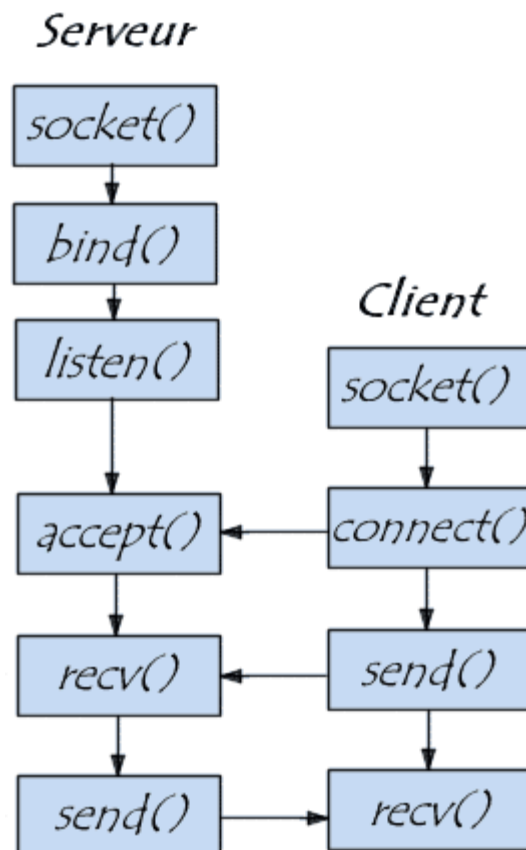
Comme dans le cas de l'ouverture d'un fichier, la communication par socket utilise un descripteur pour désigner la connexion sur laquelle on envoie ou reçoit les données. Ainsi la première opération à effectuer consiste à appeler une fonction créant un socket et retournant un descripteur (un entier) identifiant de manière unique la connexion. Ainsi ce descripteur est passé en paramètres des fonctions permettant d'envoyer ou recevoir des informations à travers le socket. [22]

L'ouverture d'un socket se fait en deux étapes :

- ✓ La création d'un socket et de son descripteur par la fonction `socket ()` ;
- ✓ La fonction `bind ()` permet de spécifier le type de communication associé au socket (protocole TCP ou UDP) ;

Un serveur doit être à l'écoute de messages éventuels. Toutefois, l'écoute se fait différemment selon que le socket est en mode connecté (TCP) ou non (UDP). [22]

- **En mode connecté**, le message est reçu d'un seul bloc. Ainsi en mode connecté, la fonction `listen ()` permet de placer le socket en mode passif (à l'écoute des messages). En cas de message entrant, la connexion peut être acceptée grâce à la fonction `accept ()`. Lorsque la connexion a été acceptée, le serveur reçoit les données grâce à la fonction `recv ()`. *Figure III.18*



**Figure III. 18 Schéma d'une communication en mode connecté.**

- **En mode non connecté**, comme dans le cas du courrier, le destinataire reçoit le message petit à petit (la taille du message est indéterminée) et de façon désordonnée. Le serveur reçoit les données grâce à la fonction `recvfrom ()`. *Figure III.19*

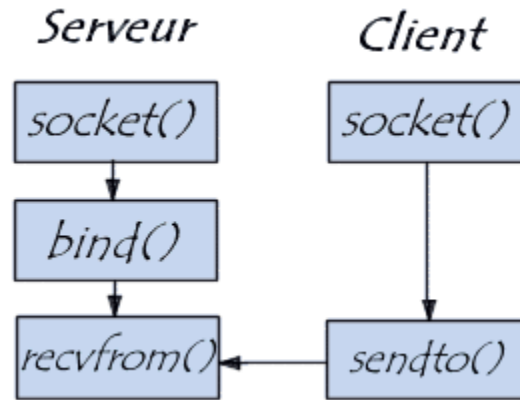


Figure III. 19 Schéma d'une communication en mode non connecté.

La fin de la connexion se fait grâce à la fonction `close()`. [22]

## 7 Conclusion

Les réseaux de télécommunications ont énormément évolués au fil du temps. La majorité des populations sont maintenant connectées. Ces réseaux sont devenus aujourd'hui des moyens et des outils indispensables. Ils sont utilisés quotidiennement au travail, pour communiquer, accéder à l'information et aux sources documentaires, ils sont également utilisés comme moyens de communications personnels.

Les progrès considérables de la télécommunication depuis la moitié du XIX<sup>e</sup> siècle ont contribué aux changements considérables de la façon de vivre au quotidien de l'être humain.

Le présent travail de thèse de doctorat concernant l'étude et la réalisation d'une plateforme dédiée à la télésurveillance d'un conducteur est basé sur l'utilisation des réseaux de télécommunication.

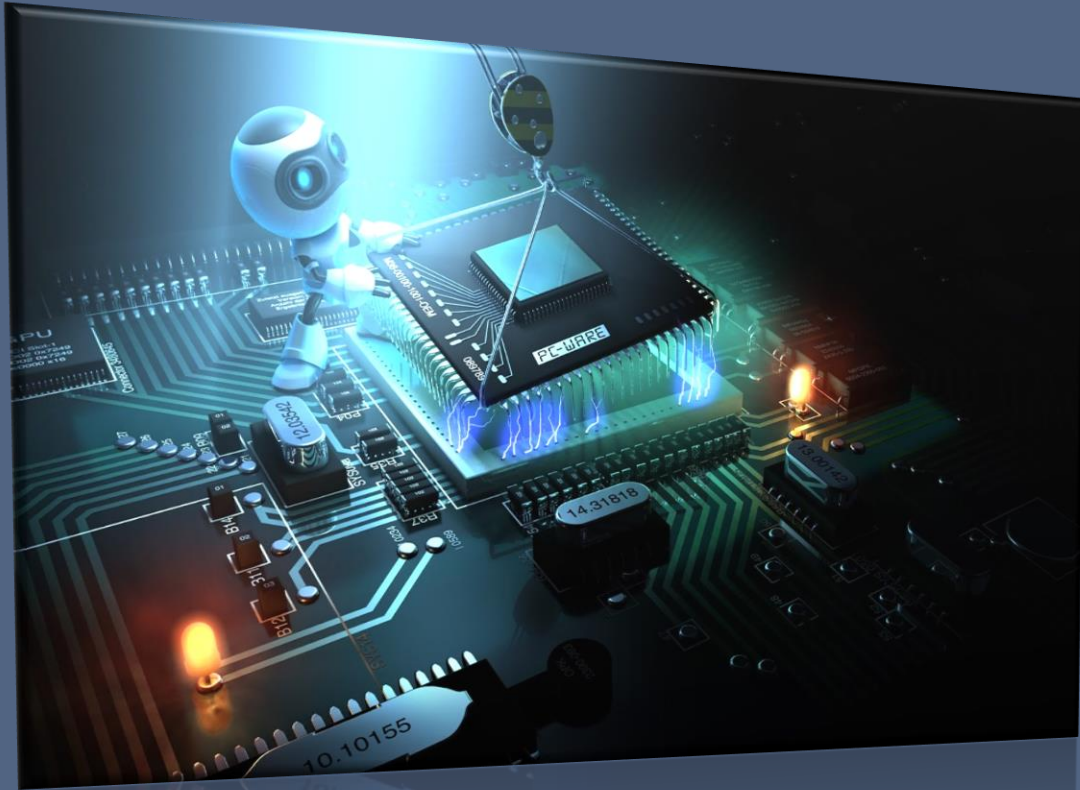
Le quatrième chapitre sera consacré à la méthodologie et aux résultats de la plateforme (Hardware).

## 8 Bibliographie

- [1] S. Claude, RÉSEAUX & TÉLÉCOMS, Cours avec 129 exercices corrigés 2e édition , Dunod, Paris, 2003, 2006.
- [2] N. HAMLIL, ETUDE ET REALISATION D'UNE PLATEFORME DEDIEE A LA PRATIQUE TELEMEDICALE APPLICATION EN CARDIORESPIROGRAPHIE, Tlemcen, thèse de doctorat, 23 février 2014.
- [3] wikipedia, «Réseau informatique,» wikipedia enciclopedia libre, 26 11 2018. [En ligne]. Available: [https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau\\_informatique](https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau_informatique). [Accès le 28 11 2018].
- [4] G. Dominique, Systèmes et réseaux, Université Lille3-Charles de Gaulle, Lille, 2005.
- [5] R. d. Scala, l'Essentiel en Informatique & programmation, éditions Berti à Alger, Novembre 2004.
- [6] R. Gerardo et T. Laurent, Réseaux locaux, École Nationale Supérieure des Télécommunications de Bretagne - Campus de Rennes, Techniques de l'Ingénieur, traité Informatique.
- [7] L. Philippe, «Modélisations réseau,» 2000,2012. [En ligne]. Available: <http://www.inetdoc.net>.
- [8] D. DROMARD et D. SERET, «RÉSEAUX INFORMATIQUES,» Encyclopædia Universalis, [En ligne]. Available: <https://www.universalis.fr/encyclopedie/reseaux-informatiques/6-securite-dans-les-reseaux/>. [Accès le 24 06 2019].
- [9] H. GHANNOUM, Etude conjointe antenne/canal pour les communications Ultra Large Bande en présence du corps humain, Thèse de Doctorat en Electronique et Communications Ecole Doctoral d'Informatique, Télécommunications et Electronique de Paris, 11 Décembre 2006. .
- [10] A. RADU, Évaluation de la Qualité de Service par l'utilisateur final dans les systèmes mobiles, Thèse de doctorat en Informatique et Télécom de l'Université de Mame-La-Vallée, France, Mars, 2004..
- [11] P. GODLEWSKI, X. LAGRANGE et S. TABBANE, Réseaux GSM-DCS, 4e Édition Hermès, Paris, France, 1999.
- [12] U. HORN, R. KELLER et N. NIEBERT, «Services mobiles interactifs – La convergence de la radiodiffusion et des communications mobiles,» UER – Revue Technique, N° 281, pp. 1–10, Automne 1999.. [En ligne]. Available: [http://www.ebu.ch/en/technical/trev/trev\\_281-umts\\_f.pdf](http://www.ebu.ch/en/technical/trev/trev_281-umts_f.pdf).
- [13] G. PUJOLLE, «Les réseaux,» Édition EYROLLES, Paris, France, 2008 ISBN: 978-2-212-11757-8. [En ligne]. Available: [http://www.friendlyduck.com/AF\\_TA/rel/index.cfm?RST=UNF&TAD=420036](http://www.friendlyduck.com/AF_TA/rel/index.cfm?RST=UNF&TAD=420036).
- [14] K. IBRAHIMI, Gestion des ressources des réseaux mobiles de nouvelle génération par rapport à la mobilité des utilisateurs, Thèse de doctorat en Informatique, Sciences de l'Université

d'Avignon et des Pays de Vaucluse France & Université Mohammed V-Agdal Rabat - Maroc, Laboratoire LIA, Avignon, France Laboratoire LIMIARF, Rabat, Maroc, 20 Novembre 2009.

- [15] R. MERAIHI, Gestion de la qualité de service et contrôle de topologie dans les réseaux ad hoc, Thèse présentée en Informatique et Réseaux pour obtenir le grade de docteur de l'École nationale supérieure des télécommunications, ENST, Paris, France, 2003.
- [16] C. Servin, RÉSEAUX & TÉLÉCOMS Cours avec 129 exercices corrigés 2e édition, Dunod, Paris, 2003, 2006.
- [17] K. S.SIYAN, TCP/IP, le campus,campusePRESS,2002.
- [18] C. Peng, «TCP/IP vs. OSI : Quelle est la différence entre les deux modèles ?,» A medium corporation, 28 12 2018. [En ligne]. Available: <https://medium.com/@choquantecp/tcp-ip-vs-osi-quelle-est-la-diff%C3%A9rence-entre-les-deux-mod%C3%A8les-e118169bd42f>. [Accès le 25 06 2019].
- [19] f. Hamza-Cherif et s. Menouar, «TRANSFERT DU SIGNAL ECG D'UN POSTE LOCAL A UN POSTE DISTANT POUR LA TELESURVEILLANCE MEDICALE,» *memoire de projet de fin d'etudes*, Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen,28 mai 2015.
- [20] R. Merzougui, «Conception Et Développement D'applications Et Services Dédiés A La Santé Sur Des Terminaux Mobiles,» *Thèse De Doctorat, Université Abou bekr belkaid*, Tlemcen, Algerie, Année 2011.
- [21] O. DIANE, «ARCHITECTURE CLIENT / SERVEUR,» SUPINFO International University , 11 10 2016. [En ligne]. Available: <https://www.supinfo.com/articles/single/2519-architecture-client-serveur>. [Accès le 25 06 2019].
- [22] F. Gotti, «Les sockets réseau,» 07 11 2009. [En ligne]. Available: <http://www-etud.iro.umontreal.ca/~gottif/bdeb/infc32/show.php?page=sockets>. [Accès le 25 06 2019].
- [23] E. CAUCHY, Pôle d'excellence en médecine de montagne au pays du Mont Blanc, Projet en médecine, Institut de formation et de recherche en médecine de montagne, France, 2010.



# Méthodologie et résultats

---

*CHAPITRE IV*

*HAMZA CHERIF Fayssal*

## Table des matières

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>87</b>
<b>2</b>	<b>MATERIELS UTILISES .....</b>	<b>87</b>
2.1	CAPTEUR DE L'ÉLECTROCARDIOGRAMME .....	87
2.2	CAPTEUR PHOTOPLETHYSMOGRAPHIQUE .....	89
2.3	CARTE ARDUINO .....	90
2.4	CARTE RASPBERRY .....	91
2.5	MODULE BLUETOOTH .....	92
2.6	AFFICHAGE .....	92
2.7	ALIMENTATION .....	93
<b>3</b>	<b>METHODE PROPOSEE.....</b>	<b>93</b>
3.1	CAPTEURS PHYSIOLOGIQUES .....	94
3.2	TRANSMISSION DES SIGNAUX.....	95
3.3	STATION DE TELESURVEILLANCE.....	95
<b>4</b>	<b>RESULTATS.....</b>	<b>95</b>
4.1	MISE EN ŒUVRE DE LA TELESURVEILLANCE ELECTROCARDIOGRAPHIQUE .....	95
4.2	MISE EN ŒUVRE DE LA TELESURVEILLANCE PHOTOPLETHYSMOGRAPHIQUE .....	96
4.3	LA STATION DE TELESURVEILLANCE LOCALE .....	96
4.4	LA STATION DE TELEVIGILANCE DISTANTE .....	97
<b>5</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>97</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>98</b>

## 1 Introduction

La surveillance des signes vitaux d'un conducteur au volant, dépend des mesures relevées en continues de son état physiopathologique à partir de la détection des signaux biomédicaux (Bio-signaux), tels que l'électrocardiogramme (ECG), le signal respiratoire et le photopléthysmogramme (PPG). [1] [2] [3]

Beaucoup d'efforts ont été consentis pour développer un dispositif qui assure la surveillance des paramètres vitaux d'un conducteur dans un environnement pratique et non intrusif, avec un :

- Un oxymètre de pouls portable et sans fil. [4]
- Mesure sans contact de la respiration et du rythme cardiaque par le laser [5] [6] [7]
- Les signaux ECG non intrusifs et pratiques, obtenus par la mesure de l'inductance sur un fauteuil [8] [9]. Des électrodes sont placées sur le dossier du siège du conducteur. Cependant, la méthode est très sensible à l'épaisseur des vêtements du conducteur et à ses mouvements. [8]
- Récemment le développement d'une ceinture thoracique portable avec deux ou trois électrodes conductrices est utilisée pour garantir le non-intrusif. [1] [10] [11]

Les moyens matériels, la méthodologie et les résultats de la plateforme proposée seront détaillés dans ce chapitre.

## 2 Matériels utilisés

### 2.1 Capteur de l'électrocardiogramme

Le Capteur Moniteur de Rythme Cardiaque de DFRobot (SEN0213) sert à mesurer l'activité électrique du cœur. Cette activité électrique peut être cartographiée comme ECG, la sortie sera en lecture analogue. Le signal ECG détecté par le capteur est filtré, amplifié pour mettre en évidence des intervalles PR et QT par l'intermédiaire de la puce AD8232 incluse dans le circuit [12]. La tension d'alimentation recommandée est de 5volt. L'emplacement des électrodes du capteur ECG est illustré dans la *Figure IV.1* quant à son circuit électrique, il est dans *Figure IV.2*. [12]



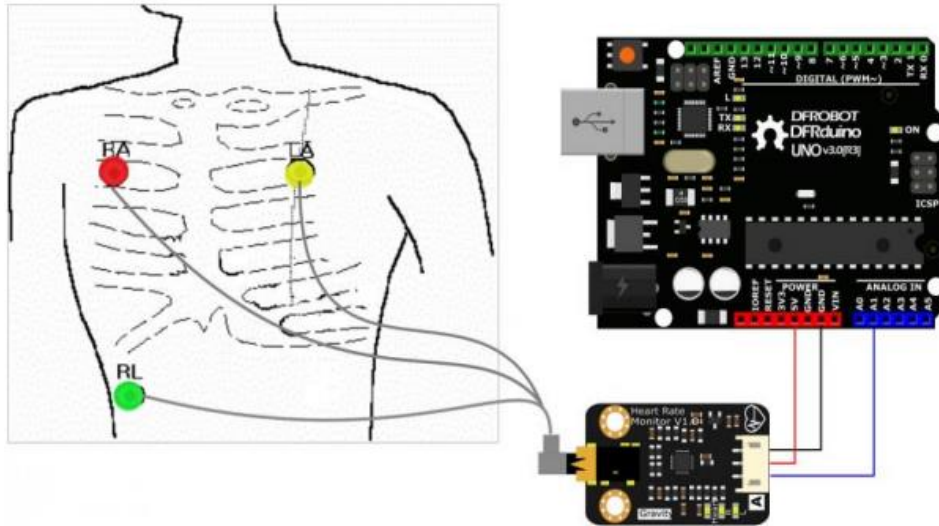


Figure IV. 1 Emplacement des électrodes du capteur ECG.

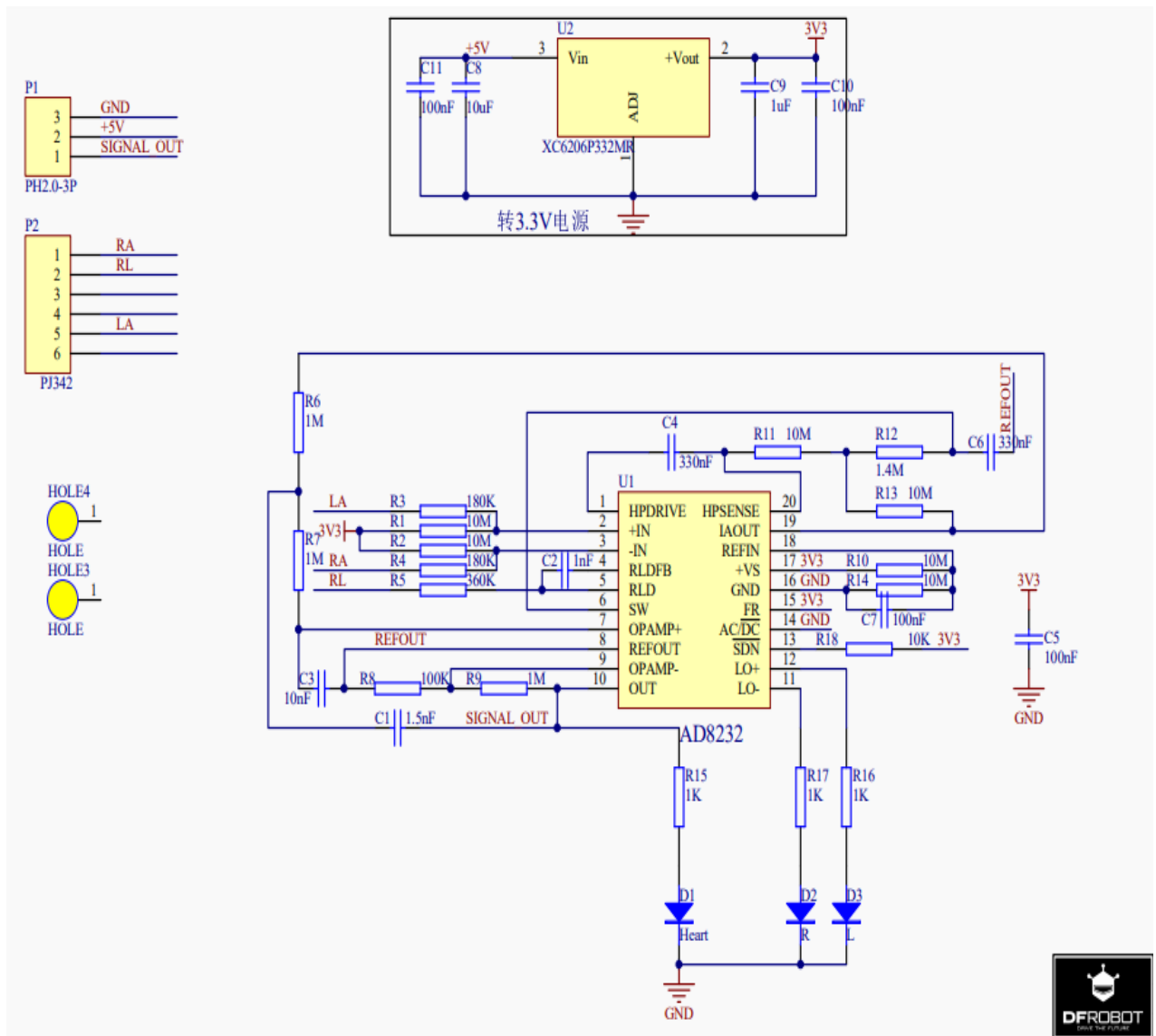


Figure IV. 2 Schéma de circuit électrique ECG SEN0213.

## 2.2 Capteur photoplethysmographique

Le max30100 (*Figure IV.3*) est une solution intégrée de capteur d'oxymétrie de pouls et moniteur de fréquence cardiaque conçue pour les besoins exigeants des appareils portables. Le MAX30100 fournit une solution totale, très petite sans sacrifier les performances optiques ou électriques. Un minimum de composants matériels externes est nécessaire pour son l'intégration dans un périphérique portable. Il combine deux voyants (LED rouge/ infrarouge), une cellule photoélectrique, le traitement du signal analogique et le contraste des optiques optimisées, et ce afin de détecter l'oxymétrie de pouls et signaux de fréquence cardiaque. [13]

Le MAX30100 fonctionne avec une tension d'alimentation de 1.8 V et 3.3 V et peut être mis hors tension ou réalimenté par un logiciel via un courant de veille négligeable. Ce logiciel permet au MAX30100 de rester connecté en continu. Le schéma électrique de capteur ECG SEN0213 est représenté sur la *Figure IV.4*. [13]



Figure IV. 3 Capteur PPG MAX30100

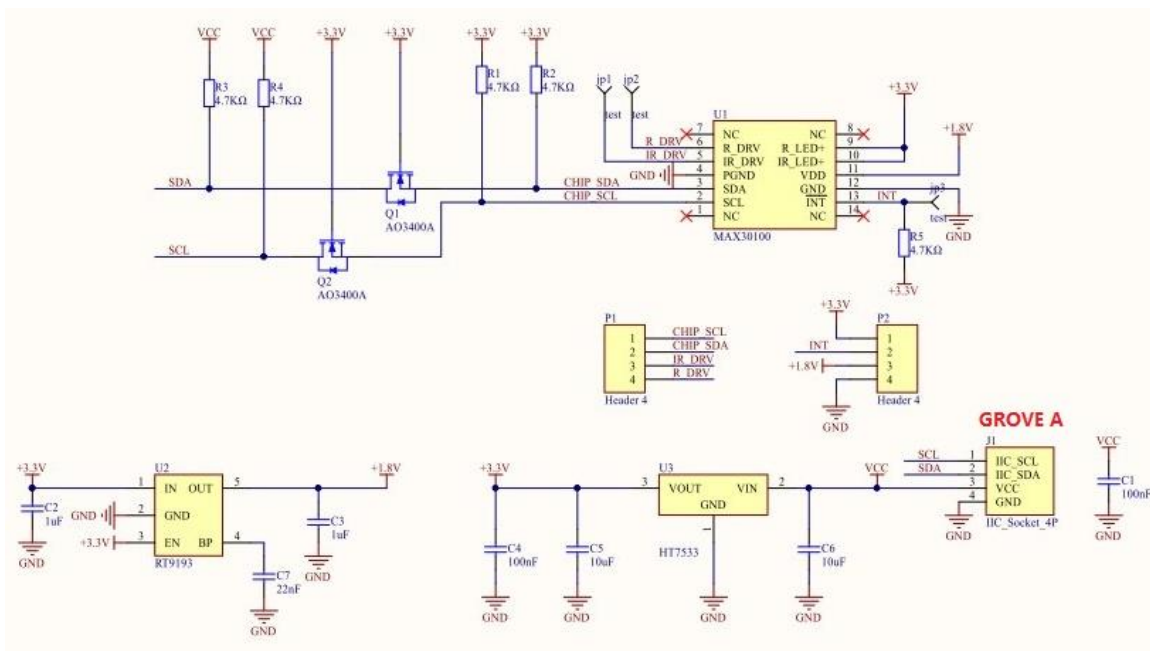
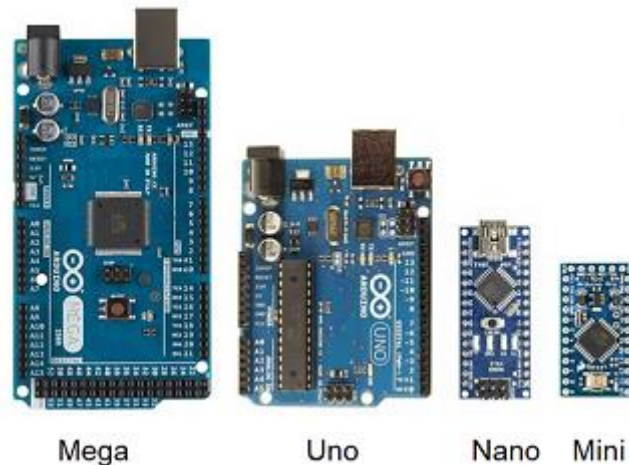


Figure IV. 4 Schéma de circuit électrique PPG

## 2.3 Carte Arduino

Arduino, et son synonyme Genuino [14], est une marque qui couvre des cartes électroniques matériellement libres (*Figure IV.5*). Un module Arduino est généralement construit autour d'un microcontrôleur Atmel AVR (ATmega328, ATmega32u4 ou ATmega2560 pour les versions récentes, ATmega168, ATmega1280 ou ATmega8 pour les plus anciennes), et de composants complémentaires qui facilitent la programmation et l'interfaçage avec d'autres circuits. Chaque module possède au moins un régulateur linéaire 5 V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles).



**Figure IV. 5 Cartes Arduino les plus utilisées.**

Deux cartes Arduino sont utilisées dans la plateforme :

- une carte Arduino Uno.
- une carte Arduino Mini.

Les caractéristiques et une comparaison rapide entre ces deux cartes sont représentées dans le tableau ci-dessous. [15] [16]

	Arduino Uno	Arduino Mini
Processeur	ATmega328P	ATmega328P
Fréquence	16 MHz	8 MHz -16 MHz
Tension entrée	5 à 12 V	3.3 à 12V -5 à 12 V
IN/OUT digitales	14/6	14/6
IN/OUT analogique	6/0	8/0
Mémoire Flash	32 Ko	32 Ko
Mémoire SRAM	2 Ko	2 Ko
Mémoire EEPROM	1 Ko	1 Ko
Connecteur USB	USB-B mâle	Aucun
Dimension	68×53 mm	30×18 mm
UART	1	-

**Tableau IV. 1 Comparaison entre Arduino Uno et Arduino Mini.**

## 2.4 Carte Raspberry

Le Raspberry Pi est un nano-ordinateur mono-carte à processeur ARM conçu par des professeurs du département informatique de l'université de Cambridge dans le cadre de la fondation Raspberry Pi (*Figure IV.6*). Cet ordinateur, de la taille d'une carte de crédit, est destiné à encourager l'apprentissage de la programmation informatique ; il permet l'exécution de plusieurs variantes du système d'exploitation libre GNU/Linux, notamment Debian, et des logiciels compatibles. Mais il fonctionne également avec le système d'exploitation Microsoft Windows : Windows 10 IoT Core et celui de Google, Android Pi. [17]

Dans notre plate-forme, on a eu recours à la carte de troisième génération « RASPBERRY PI 3 TYPE B ». Cette carte est de 50 à 60 % plus performante et puissante que la carte de deuxième génération, la Raspberry Pi 3 Model B. La carte Raspberry Pi 3 Model B a l'avantage d'être équipée du Wi-Fi b/g/n et du Bluetooth 4.1. Elle est équipée également d'un puissant processeur Quad-Core ARM Cortex-A53 1.2 GHz (Broadcom BCM2837), de 1024 Mo de RAM et d'un GPU Dual-Core VideoCore IV capable de décoder les flux vidéo HD 1080p. La carte mère Raspberry Pi 3 Type B est une solution performante et abordable pour tous types de systèmes compacts ou embarqués (MediaCenter, domotique, affichage dynamique, robotique...etc.). [17]



**Figure IV. 6 Carte Raspberry Pi 3 Type B**

### **Caractéristiques de la carte mère Raspberry Pi 3 Type B : [17]**

- Carte mère Raspberry Pi 3 Type B
- Processeur intégré Quad-Core ARM Cortex-A53 1.2 GHz (Broadcom BCM2837)
- RAM : 1024 Mo
- GPU Dual Core VideoCore IV MultiMedia Co-Processor
- Lecteur de cartes Micro SD
- Ports : HDMI, 4x USB, RJ45, jack 3.5 mm, connecteurs pour APN et écran tactile
- Wi-Fi b/g/n et Bluetooth 4.1
- Support des distributions dédiées basées sur Linux et Windows 10

## 2.5 Module Bluetooth

Le HC-06 est un module Bluetooth esclave de classe 2 conçu pour une communication série sans fil transparente. Une fois couplé à un appareil Bluetooth maître tel qu'un PC, un smartphone ou une tablette, son fonctionnement devient transparent pour l'utilisateur. Toutes les données reçues via l'entrée série sont immédiatement transmises par voie hertzienne. Lorsque le module reçoit des données sans fil, elles sont envoyées via l'interface série exactement au moment où elles sont reçues. [18]

La tension d'alimentation de ces modules doit être comprise entre 3,3 et 5 V, mais la broche RX ne peut recevoir qu'une tension maximale de 3,3 V. Il faudra prévoir un pont diviseur de tension pour ramener la tension 5 V délivrée par la carte Arduino pour ne pas endommager la broche RX du module Bluetooth. Le montage du Bluetooth HC-06 avec la carte Arduino Mini est représenté dans la *Figure IV.7*. [18]

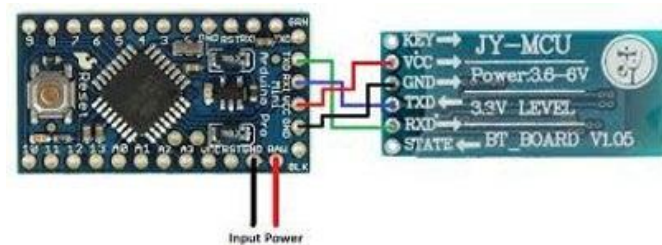


Figure IV. 7 Montage du module Bluetooth HC-06.

## 2.6 Affichage

L'affichage et la saisine s'effectue sur un Ecran couleur LCD tactile résistif HDMI de 5 pouces et résolution de 800 x 480 pixels compatible avec la carte Raspberry Pi3. Cet écran s'enfiche directement sur les ports HDMI et GPIO du Raspberry Pi. *Figure IV.8* [19]

### Caractéristiques de l'écran LCD : [19]

- Alimentation :
  - Commande de l'écran via le Raspberry (port GPIO et HDMI)
  - 5 Vcc pour le rétroéclairage (via prise micro-USB)
- Dimension écran : 5" (12,7 cm)
- Résolution : 800 x 480 pixels
- Interface : HDMI (affichage) et SPI (tactile)
- Systèmes d'exploitation supportés : Raspbian et Ubuntu
- Compatibilité : Raspberry Pi 3B+ et 4B
- Dimensions : 120 x 79 mm



Figure IV. 8 Montage de l'écran LCD avec la carte Raspberry.

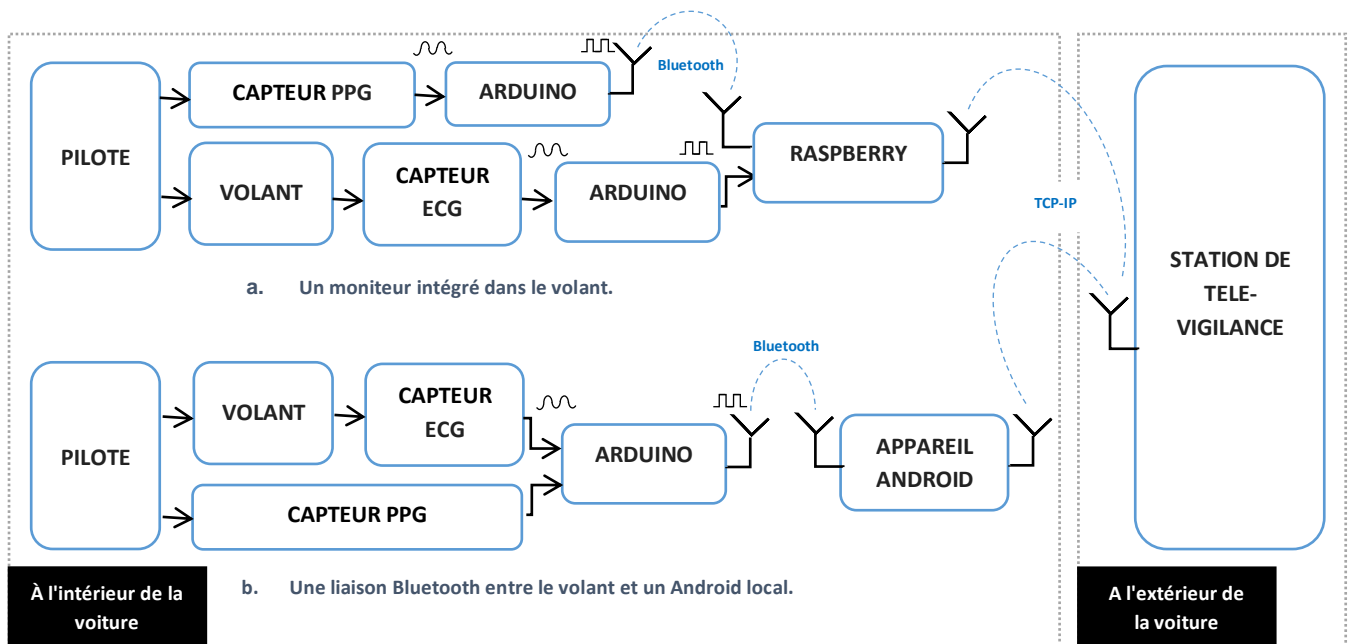
### 2.7 Alimentation

La tension d'alimentation primaire de l'ensemble des composantes est en 5v, elle peut être obtenue facilement dans une voiture. Le capteur ECG est alimenté par la carte Raspberry qui est branchée avec un Power Bank rechargeable de 5V. Pour l'alimentation du Capteur PPG, on utilise deux piles de 3V chacune.

## 3 Méthode proposée

Le projet du volant intelligent pour détecter les signaux physiologiques d'un conducteur, peut être conçu en deux façons, soit en utilisant un moniteur intégré dans le volant ou par une liaison Bluetooth entre le volant et un Android local. Ces deux configurations sont représentées sur la *Figure IV.9*. [20]

Il a été choisi de développer la conception du moniteur intégré dans le volant.



**Figure IV. 9 Architecture du volant intelligent pour détecter les deux signaux physiologiques d'un conducteur.**

### 3.1 Capteurs physiologiques

Deux capteurs sont utilisés pour détecter les signaux physiologiques vitaux à savoir l'activité cardiaque et l'activité respiratoire.

Un premier capteur de l'électrocardiogramme (DFRobot SEN0213) est utilisé pour détecter l'activité électrique du cœur. Cette mesure s'effectue à travers les mains du conducteur et par l'intermédiaire d'électrodes conductrices d'un tissu fixées au volant *Figure IV.10*. Ce tissu électriquement conducteur sert comme électrodes et couvre chaque moitié du volant. Le textile du tissu conducteur pour la mesure non intrusive du signal ECG est souple et couvre le volant de manière étanche et sans gêner le chauffeur. Ce tissu est d'une épaisseur de 0,05-0,21 mm et d'une résistance de surface  $<0,05 \Omega / \text{carré}$ .



**Figure IV. 10 Emplacement des électrodes et de la station de surveillance.**

Un second capteur photoplethysmographique (rcwl-0530) fixé sur le lobe de l'oreille est utilisé pour mesurer la saturation pulsée de l'oxygène dans le sang SpO2 (signal PPG). *Figure IV.11*

L'oxymétrie de pouls est basé sur la spectrophotométrie d'absorption moléculaire dans le rouge et l'infrarouge par l'oxyhémoglobine HbO2 et hémoglobine réduite Hb. Pour assurer une transmission sans fil (voie hertzienne) des informations, le capteur photopléthysmographique rcwl-0530 est couplé à une carte Arduino Mini équipée d'un module Bluetooth HC-06.



**Figure IV. 11 Capteur PPG sans fil fixé au lobe d'oreille.**

### 3.2 Transmission des signaux

Chacun de ces deux signaux analogiques captés seront transmis au convertisseur analogique-numérique à approximations successives, intégré dans une carte Arduino correspondante. La conversion des signaux provenant des dispositifs analogiques se fait sur 10 bits avec une fréquence d'échantillonnage de 200 Hz.

Après la conversion des signaux sous forme numérique, la carte Arduino envoie en temps réel et en continue les deux signaux. Le signal ECG est transmis par l'intermédiaire de liaison série sous protocole USB quant au signal PPG, il est envoyé par le biais d'une liaison sans fil sous protocole Bluetooth, avec des débits de communication à 250000 bauds, vers une station de télésurveillance locale au niveau de l'habitacle de véhicule.

### 3.3 Station de télésurveillance

La station de télésurveillance fixée au centre du volant du véhicule est composée d'une carte Raspberry Pi3 et d'un écran tactile LCD 5 pouces *Figure IV.10*. La station affiche en continu les signaux, elle stocke les données et permettra à partir d'un algorithme de détecter les complexes QRS, de calculer la fréquence cardiaque, de mesurer la saturation pulsée de l'oxygène dans le sang SPO2 et de détecter d'éventuels dysfonctionnements cardiaques et/ou respiratoires.

## 4 Résultats

### 4.1 Mise en œuvre de la télésurveillance électrocardiographique

Les essais de laboratoire pour la détection du signal électrocardiographique ont été concluants. L'activité électrique du cœur du conducteur est interceptée à travers les mains posées sur des électrodes.

Le volant du conducteur est doté d'un tissu conducteur sur ses deux moitiés pour servir d'électrodes.

*Figure IV.12*





Figure IV. 12 Enregistrement de l'activité électrique du cœur.

#### 4.2 Mise en œuvre de la télésurveillance photopléthysmographique

Pour détecter les impulsions oxymétriques du sang, un capteur photopléthysmographique est fixé sur le lobe de l'oreille pour transmettre le signal PPG. Les essais de laboratoire ont été aussi concluants. Cette expérience est représentée sur la *Figure IV.13*.

#### 4.3 la station de télésurveillance locale

L'envoi en temps réel vers la station locale des signaux (ECG et PPG) ainsi que l'affichage et l'enregistrement en continu de ces deux signaux au niveau de cette station ont été également concluants *Figure IV.12* et *Figure IV.13*.



Figure IV. 13 la station de télésurveillance et la station de télé-vigilance.

#### 4.4 la station de télévigilance distante

L'envoi des informations vers la station de télé-vigilance en cas de complication cardiaque et/ou respiratoire du conducteur a été aussi concluant. Pour les essais de laboratoire, un PC a été utilisé comme station de télé-vigilance distante.

### 5 Conclusion

En termes préventifs de la maladie cardiaque et/ou respiratoire, une plateforme a été développée et ce, afin d'obtenir des signaux ECG et PPG des conducteurs aux volants, dans un environnement pratique et non intrusif. Cette plateforme est installée à l'intérieur d'une voiture, elle est indépendante et facile à utiliser. En cas d'incidents, elle déclenche automatiquement des alarmes sonores et vocales pour ne pas perturber le conducteur. Elle est conçue pour faciliter la vie quotidienne de tous les chauffeurs et surtout les personnes âgées, souffrant de ces maladies. Cette plateforme est aussi extensible et pourra facilement

recevoir en lui intégrant d'autres capteurs tels que la carte e-health v2.0 pour une surveillance plus complète du conducteur.

Le chapitre suivant sera consacré aux applications et à la détection des pathologies cardiorespiratoire avec la plateforme développée (le Software).

## 6 Bibliographie

- [1] C.-T. Lin et al., "EEG-based drowsiness estimation for safety driving using independent component analysis," *IEEE Trans. Circuits Syst. I* 52(12), 2726–2738 (2005).
- [2] H. J. Eoh, M. K. Chung, and S.-H. Kim, "Electroencephalographic study of drowsiness in simulated driving with sleep deprivation," *Int. J. Ind. Ergon.* 35(4), 307–320 (2005).
- [3] S. K. L. Lal et al., "Development of an algorithm for an EEG-based driver fatigue countermeasure," *J. Saf. Res.* 34(3), 321–328 (2003).
- [4] B.-S. Lin et al., "Design of a finger base-type pulse oximeter," *Rev. Sci. Instrum.* 87(1), 013108 (2016).
- [5] P. Marchionni et al., "An optical measurement method for the simultaneous assessment of respiration and heart rates in preterm infants," *Rev. Sci. Instrum.* 84(12), 121705 (2013).
- [6] L. Scalise, P. Marchionni, and I. Ercoli, "Non-contact laser-based human respiration rate measurement," *AIP Conf. Proc.* 1364, 149 (2011).
- [7] L. Scalise et al., "Simultaneous measurement of respiration and cardiac period in preterm infants by laser Doppler vibrometry," *AIP Conf. Proc.* 1457, 275 (2012).
- [8] Y. G. Lim, Ko K. Kim, and S. Park, "ECG measurement on a chair without conductive contact," *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 53(5), 956–959 (2006).
- [9] S.-J. Jung, T.-H. Kwon, and W.-Y. Chung, "A new approach to design ambient sensor network for real time healthcare monitoring system," in *2009 IEEE Sensors* (IEEE, 2009).
- [10] Y.-D. L. a. S.-J. J. W.-Y. Chung, "A wireless sensor network compatible wearable u-healthcare monitoring system using integrated ECG, accelerometer and SpO<sub>2</sub>," in *2008 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (IEEE, 2008).
- [11] I. B. Lee et al., "Comparison of conductive fabric sensor and Ag-AgCl sensor under motion artifacts," in *2008 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (IEEE, 2008).

- [12] DFRobot, «Heart Rate Monitor Sensor SKU SEN0213,» [En ligne]. Available: [https://wiki.dfrobot.com/Heart\\_Rate\\_Monitor\\_Sensor\\_SKU\\_\\_SEN0213](https://wiki.dfrobot.com/Heart_Rate_Monitor_Sensor_SKU__SEN0213).
- [13] M. I. Products, «Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor IC,» 2014. [En ligne]. Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30100.pdf>.
- [14] Wikipedia, «Arduino,» Wikipedia, 28 Avril 2020. [En ligne]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino>.
- [15] Arduino, «ARDUINO UNO REV3,» [En ligne]. Available: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>.
- [16] Arduino, «Arduino Mini 05,» [En ligne]. Available: <https://store.arduino.cc/arduino-mini-05>.
- [17] Raspberry, «Raspberry Pi 3 Model B,» [En ligne]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>.
- [18] «Product Data Sheet,» Guangzhou HC Information Technology Co., Ltd., [En ligne]. Available: [http://www.sgbotic.com/products/datasheets/wireless/hc06\\_datasheet.pdf](http://www.sgbotic.com/products/datasheets/wireless/hc06_datasheet.pdf).
- [19] waveshare.com, «5inch HDMI LCD (B),» 01 aout 2019. [En ligne]. Available: [https://www.waveshare.com/wiki/5inch\\_HDMI\\_LCD\\_\(B\)](https://www.waveshare.com/wiki/5inch_HDMI_LCD_(B)).
- [20] F. Hamza Cherif, L. Hamza Cherif, M. Benabdellah et G. Nassar, «Monitoring driver health status in real time,» *Review of scientific instruments*, vol. 91, n° %103, 2020 , 035110.



# Applications et détection des pathologies cardiorespiratoire

---

*CHAPITRE V*

*HAMZA CHERIF Fayssal*

## Table des matières

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>102</b>
<b>2</b>	<b>LANGAGES DE PROGRAMMATION UTILISES.....</b>	<b>102</b>
2.1	VISUAL BASIC.....	102
2.2	IDE ARDUINO .....	102
<b>3</b>	<b>APPLICATION DE LA STATION TELESURVEILLANCE LOCALE .....</b>	<b>103</b>
<b>4</b>	<b>APPLICATION DE LA STATION DE TELE-VIGILANCE .....</b>	<b>105</b>
<b>5</b>	<b>CONNEXION ENTRE APPLICATIONS VIA SOCKET.....</b>	<b>106</b>
<b>6</b>	<b>DETECTION DES PATHOLOGIES CARDIO RESPIRATOIRE.....</b>	<b>109</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>112</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>113</b>

## 1 Introduction

Dans le cadre de ce travail de recherche, deux stations principales ont été développées, la première concerne la télésurveillance et la seconde sert à la télé-vigilance. Chacune de ces deux stations contient une application qui permet d'établir une connexion entre elles, et ce dans le but de transférer les données médicales. Ces données comprenant les textes et les fichiers multi format ainsi que des données multimédias. Le principe de connexion est basé sur l'architecture client/serveur. Cet échange de transfert de données ouvre le champ à un acte télé-médical dédié à la télésurveillance d'une personne au volant (télédiagnostic, téléassistance).

Ce chapitre est consacré aux logiciels. Il illustrera les langages de programmations utilisés, des applications développées et de la détection des pathologies.

## 2 Langages de programmation utilisés

Les langages de programmation utilisés pour la conception des applications et la programmation des cartes Arduino sont le Visual Basic 13 et l'IDE Arduino 1.8.

- Le Visual Basic 13 pour les deux applications de la station de télésurveillance locale et distante.
- L'IDE Arduino 1.8 pour programmer les deux cartes Arduino Uno et Mini.

Concernant la carte Raspberry, le Windows 10 Iot Core est installé sur une carte mémoire de 128GB, cette carte mémoire est utilisée comme disque dur de la carte Raspberry où les informations du conducteur seront stockées.

### 2.1 Visual Basic

Visual Basic (VB) est un langage de programmation événementielle de troisième génération ainsi qu'un environnement de développement intégré, créé par Microsoft pour son modèle de programmation COM. Visual Basic est directement dérivé du BASIC et permet le développement rapide d'applications, la création d'interfaces utilisateur graphiques, l'accès aux bases de données en utilisant les technologies DAO, ADO et RDO, ainsi que la création de contrôles ou objets ActiveX. Les langages de script tels que Visual Basic pour Applications et VBScript sont syntaxiquement proches de Visual Basic, mais s'utilisent et se comportent de façon sensiblement différente. [1]

### 2.2 IDE Arduino

Les créateurs de l'Arduino ont développé un logiciel IDE Arduino pour que la programmation des cartes Arduino soit visuelle, simple et complète à la fois. L'IDE Arduino affiche une fenêtre graphique qui contient un éditeur de texte et tous les outils nécessaires à l'activité de programmation (saisir le programme, l'enregistrer, le compiler, le vérifier, le transférer sur une carte Arduino...). [2]

### 3 Application de la station télésurveillance locale

L'application de la télésurveillance est hébergée dans la station de télésurveillance locale (Carte Raspberry). La station de télésurveillance locale à titre de rappel est installée au volant et au niveau de véhicule. L'interface de cette application est représentée sur la [Figure V.1](#).

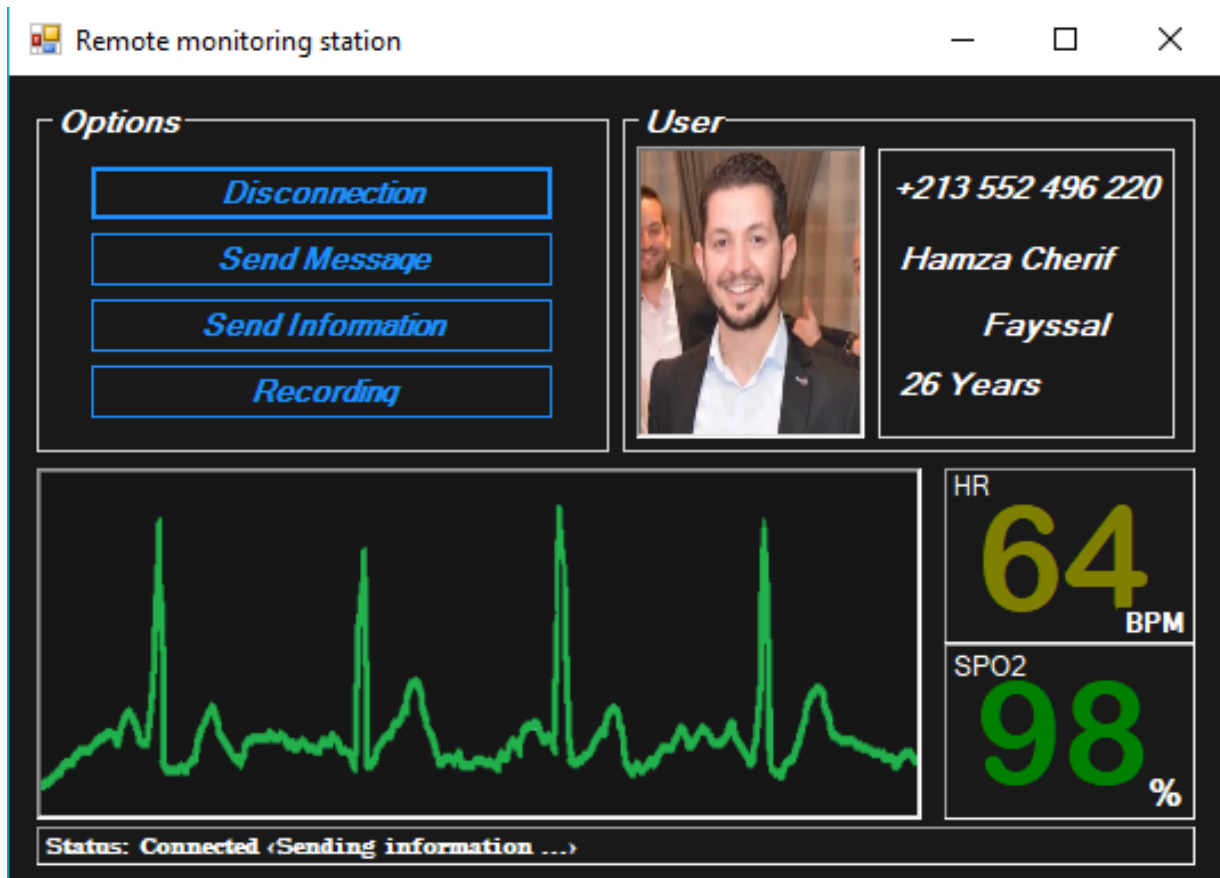


Figure V. 1 -- Interface de la station de télésurveillance.

Cette application permet l'affichage et l'enregistrement en continu des signaux ECG et PPG au niveau de la station locale du conducteur au volant. Elle permet également la détection et l'affichage de la fréquence cardiaque et la saturation pulsée d'oxygène dans le sang et la détection de certain dysfonctionnement cardiorespiratoire au niveau de cette même station locale. Elle permet aussi d'envoyer en temps réel les deux signaux ECG et PPG et l'ensemble des informations concernant le conducteur en cas d'urgence ou sur demande du patient et/ou médecin vers la station distante. L'organigramme de cette application de télésurveillance locale est représenté sur la [Figure V.2](#).



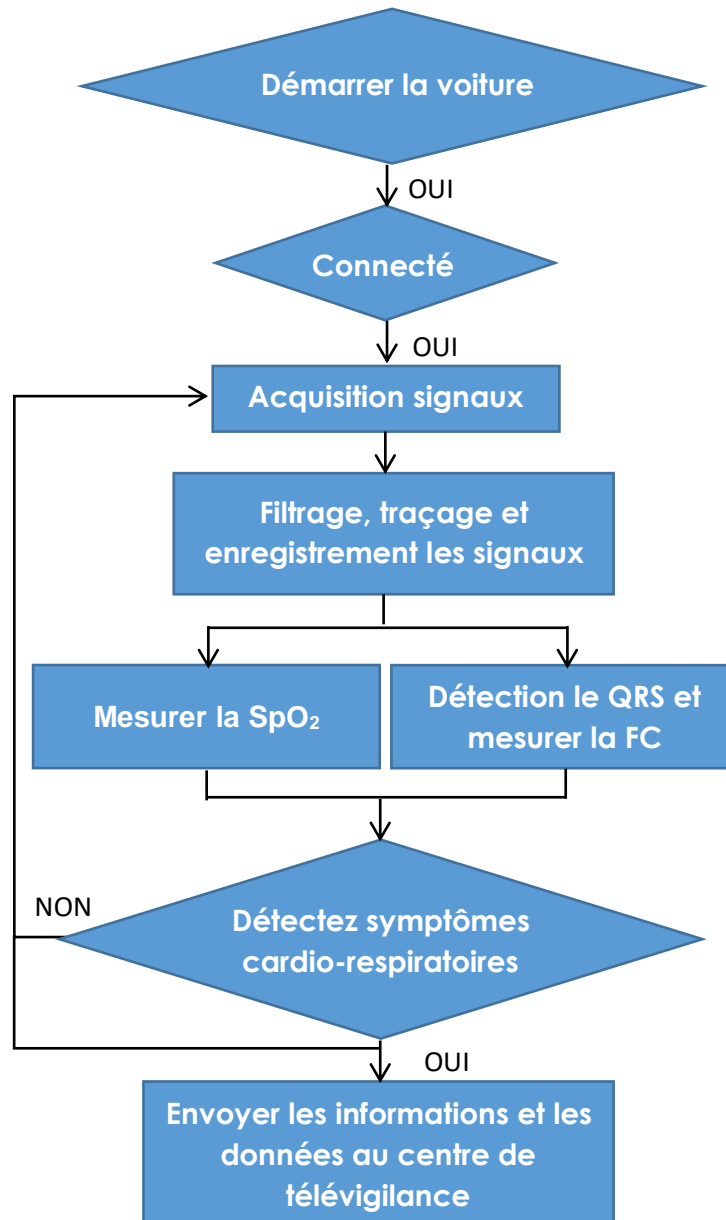


Figure V. 2 -- L'organigramme de l'application.

L'application de la station de télésurveillance peut fonctionner en deux modes :

- **Le mode en ligne** : les deux stations (télésurveillance et télé-vigilance ) sont connectées entre elles. Cette option permet de transférer automatiquement les informations concernant l'état de santé du conducteur au volant à la station de télé-vigilance distante via des connexions 3G/4G en cas d'une complication cardiorespiratoire.
- **Le mode hors ligne** : la station de télé-vigilance distante est déconnectée de la station de télésurveillance locale. La télétransmission des informations concernant l'état de santé du conducteur est alors interrompue volontairement par ce dernier.

Le fonctionnement du mode en ligne demeure conditionné par la création du chauffeur de son propre compte afin de pouvoir se connecter à la station distante. Ce compte hébergé dans une base de données, contient toutes les informations personnelles du conducteur et de son dossier médical.

## 4 Application de la station de télé-vigilance

Une application est installée au niveau d'un ordinateur de la station de télé-vigilance distante. Cette application de la station de télé vigilance est une plate-forme où les praticiens de la santé peuvent sur la base d'informations reçues de la station de télésurveillance (station locale), prendre des mesures rapides et appropriées afin d'assurer le suivi et la sécurité d'un conducteur au volant d'un véhicule en temps réel. Elle est reliée à une base de données contenant le dossier médical et les informations concernant les personnes souscrites à cette station. Cette base de données permet aux médecins d'avoir une connaissance parfaite des éventuelles maladies du conducteur et de son état de santé et ce afin de leurs permettre de prendre les bonnes décisions.

En cas de défaillance de l'état de santé du conducteur au volant du véhicule, l'application actionnera une alarme sonore et affichera automatiquement au niveau de la station de télé- vigilance, l'ensemble des informations concernant les complications des insuffisances cardio-respiratoire en relation avec les paramètres à surveiller et ce, afin de faciliter la tâche à l'équipe médicale opérant au niveau de cette dite station. L'interface de cette application est représentée sur la [Figure V.3](#).

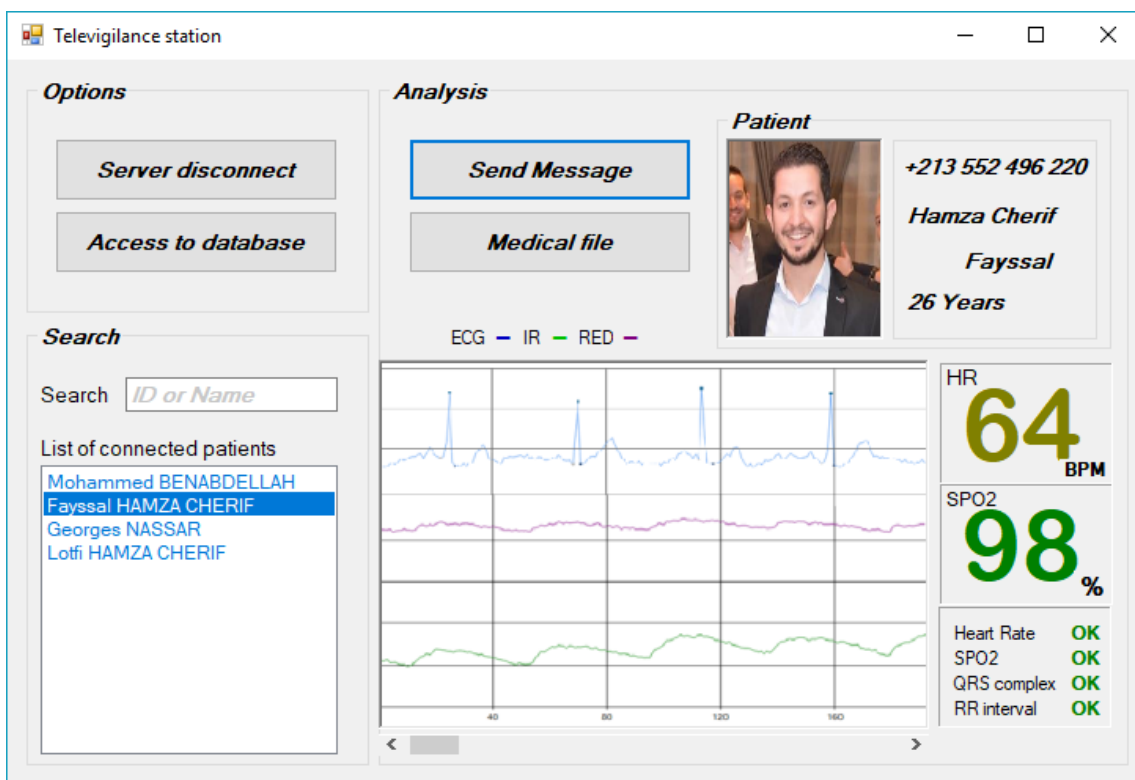


Figure V. 3 -- Interface de la station de télé-vigilance.

L'organigramme de cette application de la station de télé-vigilance est représenté sur la *Figure V.4*.

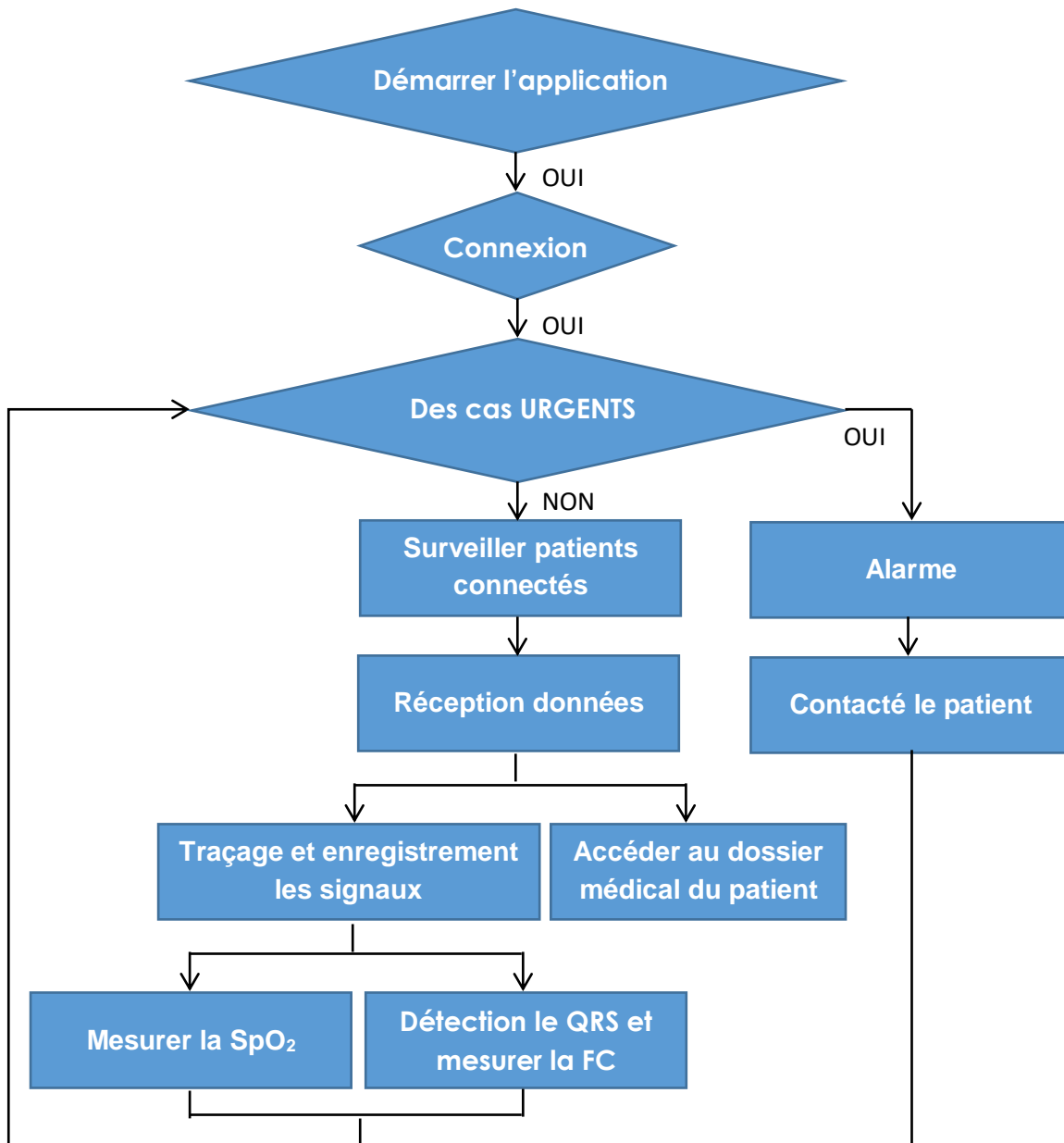


Figure V. 4 -- L'organigramme de l'application de la station de télé-vigilance.

## 5 Connexion entre applications via socket

La Connexion entre l'application de télésurveillance locale (Client) et l'application de télé-vigilance distante (Serveur) via socket doit être établie pour permettre la transmission des informations sous protocole TCP/IP.

L'établissement de cette connexion s'effectue selon la procédure décrite ci-dessous :

- **Lancement du serveur** : le démarrage du serveur est actionné par l'équipe médicale et se met en attente de connexion (le serveur est à l'écoute de l'arrivée des requêtes).
- **Connexion du client** : le client demande la connexion au serveur automatiquement en appuyant sur bouton « Connexion » sans avoir recours à faire entrer l'adresse IP du serveur.
- **Acceptation de la connexion du client** : le serveur reçoit la demande de la connexion client et l'accepte.
- **Echange des informations** : une fois la connexion établie entre le client et le serveur, les deux stations de télésurveillance et de télé-vigilance se mettent en attente de réception des informations. En cas de besoins l'échanger des données pourra alors s'effectuer (Texte, image, son, fichier, signaux physiologiques et/ou l'état du conducteur).

L'organigramme relatif à toutes ces étapes est représenté ci-dessous :

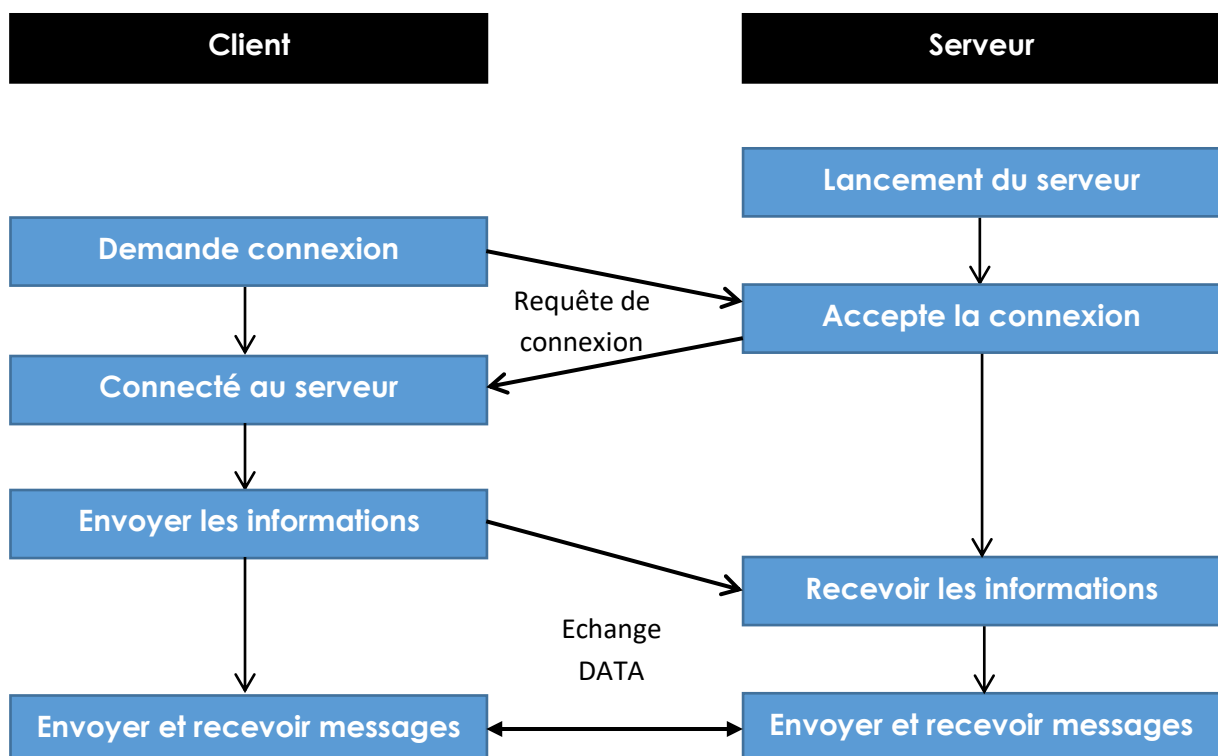


Figure V. 5 -- Organigramme de l'établissement une connexion entre le serveur et le client.

L'inconvénient avec l'utilisation de la connexion Sockets est qu'il n'est possible d'établir qu'une seule communication entre une station de télé-vigilance et un client. Autrement dit qu'il est impossible de se connecter en même temps avec d'autres clients. Cette insuffisance pourra être levée en intégrant les threads. La communication entre les clients et le serveur sans thread est représenté sur la [Figure V.6](#).

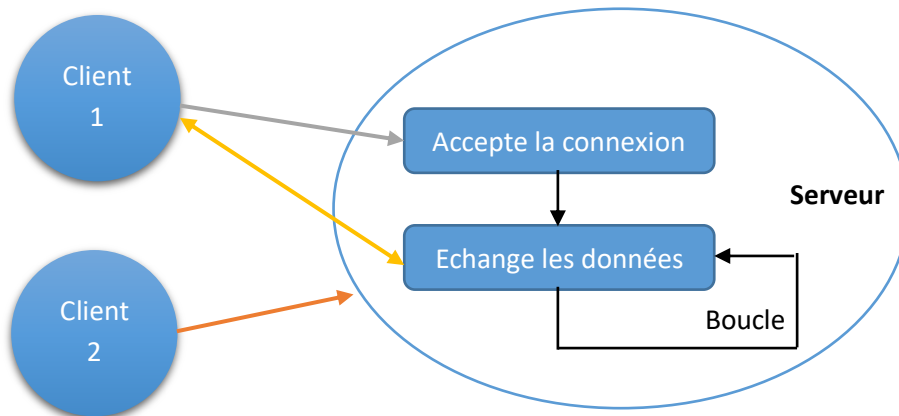


Figure V. 6 -- Connexion entre clients et serveur sans Thread.

Thread signifie qu'un serveur peut communiquer avec plusieurs clients en même temps. L'idée de base derrière les threads est que, chaque fois que le serveur reçoit une demande de connexion du client, le serveur crée un thread séparé (indépendant) pour chaque demande du client. Cela signifie que pour chaque client, il existe un thread client distinct dans le serveur. Ainsi, le client peut communiquer indépendamment avec son propre thread client dans le serveur. Cette conception de connexion de plusieurs clients en même temps est illustrée sur la [Figure V.7](#). [3]

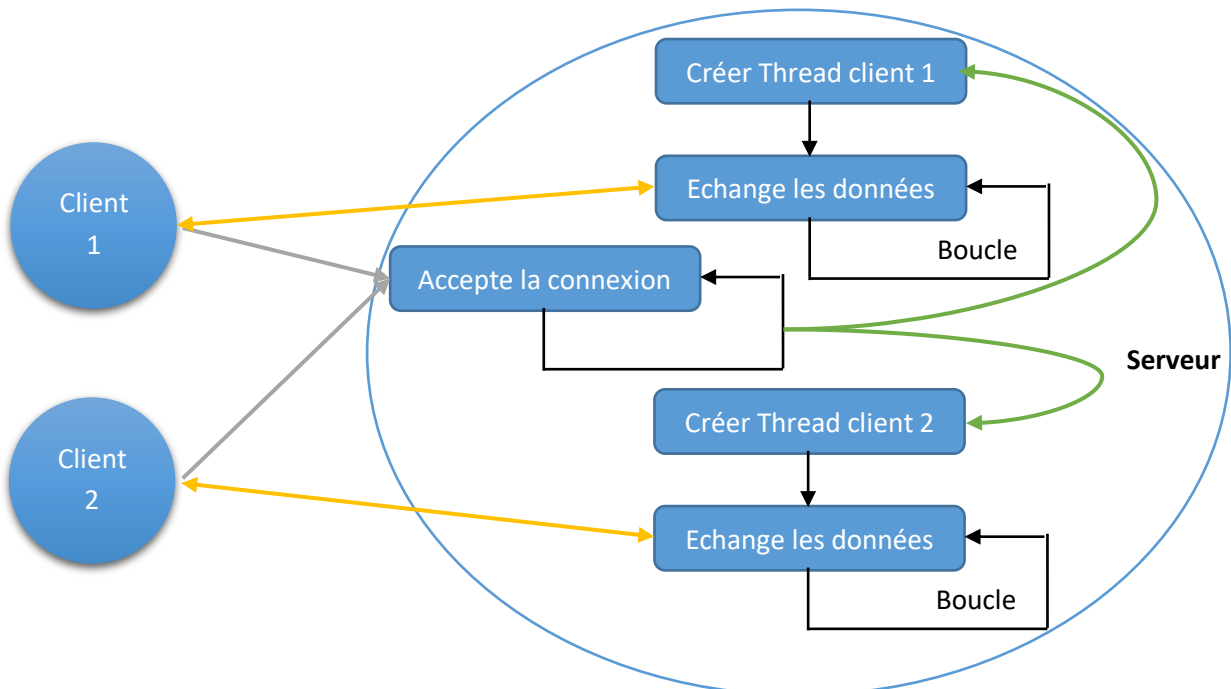


Figure V. 7 -- Connexion clients et serveur avec Thread.

## 6 Détection des pathologies cardio respiratoire

La détection des maladies cardiaques et respiratoires telles que la bradycardie, la tachycardie, la variation de la fréquence cardiaque, l'hypoxémie s'effectue automatiquement par l'application de la station de télésurveillance [4]. Cela est rendu possible grâce à l'introduction de l'ensemble des paramètres de santé du conducteur et des algorithmes de détection. Cette application pourra :

- Recueillir les signaux ECG et PPG en continu. Les signaux obtenus sont représentés respectivement sur la *Figure V.8* et *Figure IV.9*.

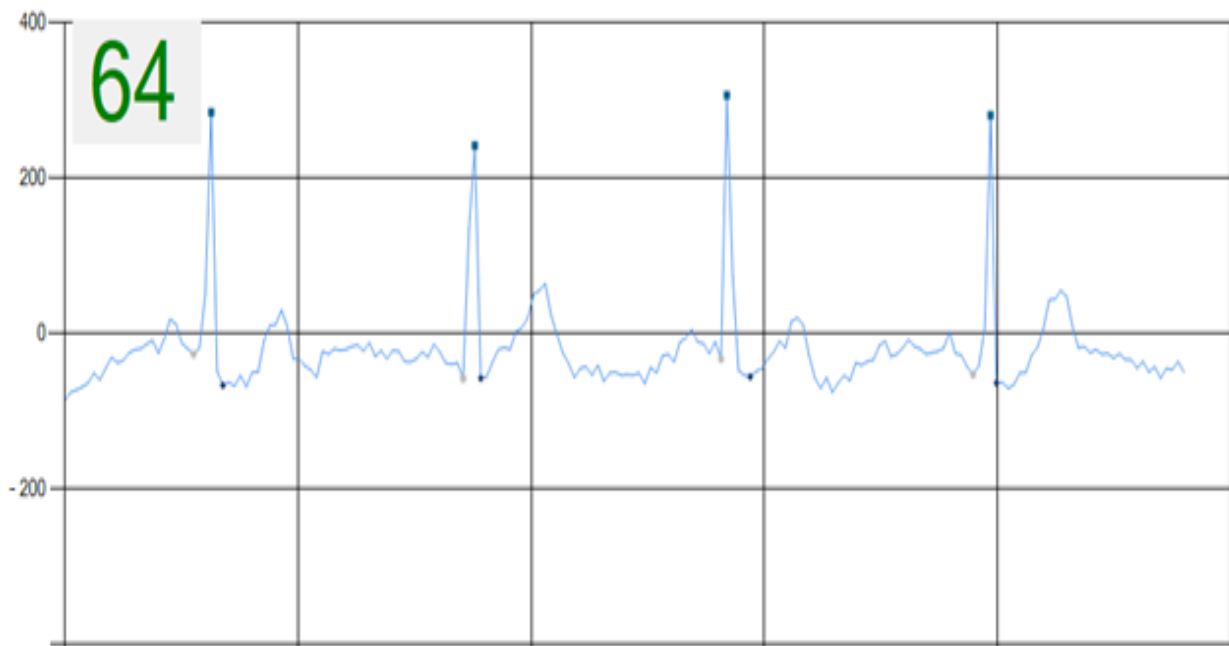


Figure V. 8 -- Signal électrocardiogramme ECG.

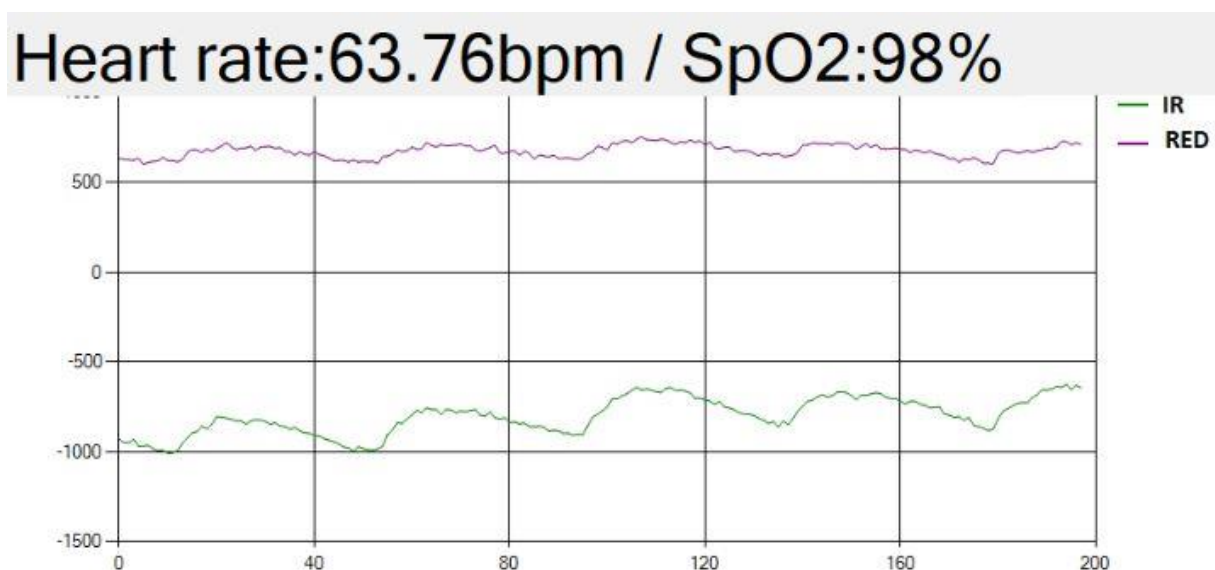
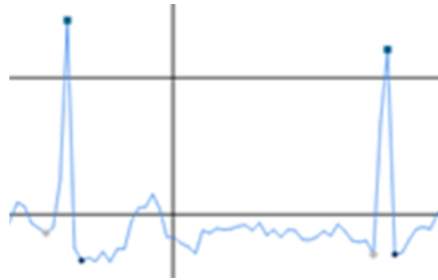


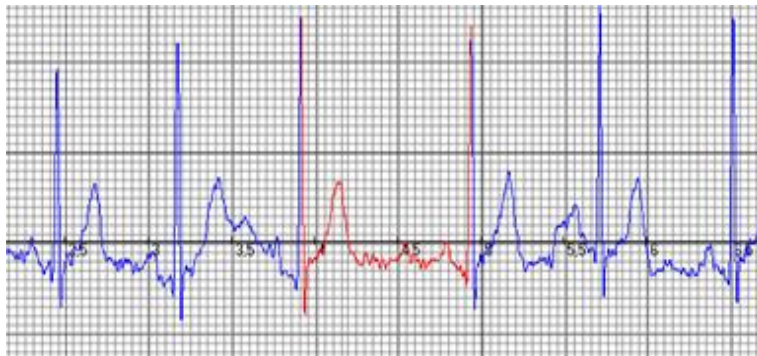
Figure V. 9 -- Signal photopléthysmogram PPG.

- Détection automatiquement les ondes Q, R et S en temps réel, ils sont représentés sur la *Figure V.10*.

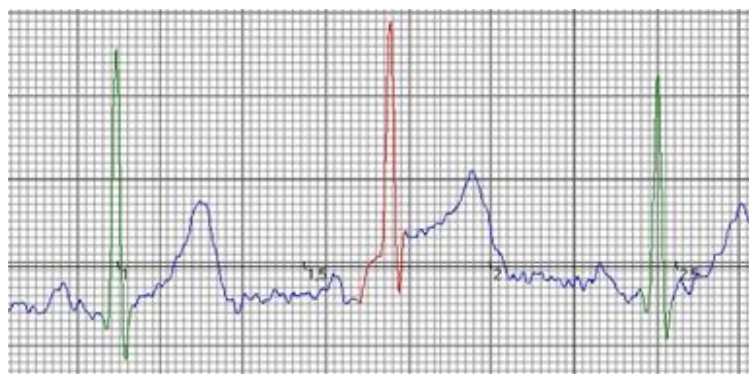


**Figure V. 10 -- Détection des ondes Q, R et S.**

- Détection automatique des irrégularités des intervalles RR et des complexes QRS. Pour faciliter la lecture aux médecins, ces irrégularités sont représentées et affichées sur l'écran en rouge. Cette détection automatique des irrégularités des intervalles RR et des complexes QRS est illustrée sur la *Figure V.11* et *Figure V.12*.



**Figure V. 11 --Détection de l'intervalle RR irrégulier.**



**Figure V. 12 -- Détection du complexe QRS irrégulier.**

- Calcul de la fréquence cardiaque ;
- Calcul de la saturation pulsée de l'oxygène dans le sang ( $SpO_2$ ).

L'application permet à partir de ces paramètres de :

- ✓ Calculer et de déceler la variation de la fréquence cardiaque des dix dernières secondes. En cas d'une bradycardie, d'une tachycardie ou la détection d'une grande variabilité de fréquence cardiaque, une alarme se déclenche automatiquement. La bradycardie ou la tachycardie se manifeste lorsque la fréquence cardiaque est en dehors de l'intervalle normal qui se situe entre 60-120BPM.
- ✓ Déceler les troubles conductifs intraventriculaires, sachant que ces troubles apparaissent lorsque la durée du complexe QRS dépasse la 0,10 seconde. Normalement le complexe QRS oscille entre 0,06 et 0,08 seconde. Au-delà de cette normalité, une alarme se déclenche.
- ✓ Calculer la saturation pulsée d'oxygène dans le sang (SpO2) et de déceler tout éventuelle décompensation respiratoire (hypoxémie). La spo2 est considérée comme normale lorsqu'elle est supérieure à 95 % et anormalement basse, si elle est inférieure à 92 %. Une alarme déclenche en cas d'anormalité.

En cas de l'une des complications citées ci-dessus :

- ✓ Une première alarme sonore et vocale, se déclenche instantanément et automatiquement au niveau de la station locale (télésurveillance) pour avertir le conducteur au volant. Un message vocal alors somme le conducteur de stationner.
- ✓ Au même temps une seconde alarme sonore se déclenche au niveau de la station distante (télévigilance). Les informations concernant son état de santé sont transmises également instantanément et automatiquement, pour permettre à l'équipe médicale de prendre les mesures rapides et appropriées assurant la sécurité du conducteur.

Lors de ce travail de recherche, il a été pris en compte des contraintes de conduite liées aux problèmes de bruit et l'interruption de la transmission du signal ECG à la suite du retrait des mains du conducteur du volant. Cette éventualité est prise en charge, et le système compare en continu la fréquence cardiaque calculée à partir du signal ECG et la fréquence cardiaque calculée à partir du signal PPG, et dans le cas où la différence est inférieure à dix battements, les deux signaux seront utilisés pour la surveillance du conducteur.

Dans le cas où cette différence dépasse les dix battements, cela signifie qu'une ou les deux mains sont levées du volant, l'application néglige automatiquement le signal ECG et passe uniquement au signal PPG jusqu'à ce que la situation soit à nouveau restaurée, c'est-à-dire lorsque la différence est moins de dix battements.



Le processus global de télé surveillance de l'état du conducteur est représenté sur le tableau suivant :  
[5]

Cas	Paramètre	Valeur	Signification clinique
Normal	Fréquence Cardiaque (BPM)	$60 < FC < 100$	Battements normaux
	Amplitude QRS (mV)	$0.5 < A_{QRS} < 2.6$	Amplitude normale
	Durée QRS (s)	$0.06 < T_{QRS} < 0.1$	Durée normale
	SpO <sub>2</sub> (%)	Plus de 95	Value normale
Alarme	Fréquence Cardiaque (BPM)	Grandes différences entre chaque FC successif	Variabilité de la fréquence cardiaque (VRC)
		$50 < FC < 60$	Battements lents (confusion, fatigue, étourdissements ou évanouissement ...)
		Moins de 50	Bradycardie
		$100 < FC < 120$	Battements rapides (peur, anxiété ou stress...)
		Plus de 120	Tachycardie
	Amplitude QRS (mV)	Très faible amplitude moins de 0,5	Épanchement péricardique ou maladie myocardique infiltrant
		Plus de 2.6	Hypertrophie ventriculaire gauche
	Durée QRS (s)	$0.1 < T_{QRS} < 0.12$	Une durée prolongée indique
		Plus de 0.12	Troubles de la conduction intraventriculaire (hyperkaliémie ou bloc de branche)
	SpO <sub>2</sub> (%)	$92 < SpO_2 < 95$	Faible saturation
Moins de 92		Hypoxémie	

Tableau V. 1 -- Le processus global de télésurveillance de l'état du conducteur.

## 7 Conclusion

Ce chapitre a été consacré au développement des applications qui permettent le traçage en continu des signaux physiologiques, l'affichage et l'enregistrement des informations médicales concernant les signes vitaux des personnes au volant, l'analyse de différents signaux ECG et PPG reçus en temps réel, à travers la détection automatique des intervalles RR, des complexes QRS, de la fréquence cardiaque et de la saturation pulsée d'oxygène dans le sang, révélatrices d'une tachycardie, d'une bradycardie, d'une HRV et/ou d'une hypoxémie et enfin l'archivages de certaines informations.

Ces deux applications facilitent le travail au groupe médical opérant au niveau de la station de télé-vigilance. Elles permettent l'interprétation de ces signaux à travers un réseau télé-médicale pour une télésurveillance en continue des insuffisants cardiaques et/ou respiratoire.

## 8 Bibliographie

- [1] P. Christensson, «Visual Basic Definition,» techterms, 5 Novembre 2007. [En ligne]. [Accès le 15 Mai 2020].
- [2] Arduino, «Arduino,» Wikipédia, 05 Mai 2020. [En ligne]. Available: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Arduino>. [Accès le 15 Mai 2020].
- [3] D. Mabbutt, «An Introduction to Threading in VB.NET,» thoughtco., 17 Janvier 2019. [En ligne]. Available: <https://www.thoughtco.com/an-introduction-to-threading-in-vbnet-3424476>. [Accès le 15 Mai 2020].
- [4] H. c. Fayssal et M. Souheyla, *Transfert du signal ECG d'un poste local à un poste distant pour la télésurveillance médicale*, Tlemcen: Université Tlemcen, 28 Mai 2015.
- [5] F. Hamza Cherif, L. Hamza Cherif, M. Benabdellah et G. Nassar, «Monitoring driver health status in real time,» *Review of scientific instruments*, vol. 03, n° 1, Review of scientific instruments. 2020 Mar 1;91(3):035110., p. 91, Mars 2020.

# Conclusion générale

---

*HAMZA CHERIF Fayssal*

## Conclusion générale et perspectives

La plupart des recherches réalisées dans le domaine de la surveillance des personnes au volant, reposent sur la détection de la fatigue et de la somnolence du conducteur, elles sont généralement basées sur l'étude des faits visuels (mouvements des yeux, expression faciale, etc.) et non pas des faits physiopathologiques (ECG, PPG, respiration), autrement dit de son état apparent et non pas de son état de santé.

Cette thèse propose un nouveau système qui offre un moyen pratique et facile à utiliser, destiné à la télésurveillance de l'état de santé d'une personne au volant, dans lequel deux capteurs ECG et PPG sont utilisés pour mesurer deux signaux physiologiques vitaux du conducteur, ainsi qu'un algorithme pour détecter la fréquence cardiaque, la spo2 et certains dysfonctionnements cardiaque et respiratoire (arythmie cardiaque, bradycardie, tachycardie, décompensation respiratoire). La personne est donc avertie suffisamment tôt pour pouvoir réagir et consulter un médecin. Le but final étant de surveiller l'état de santé du conducteur et ainsi de réduire le nombre d'accidents de la route liés à une défaillance du système cardiorespiratoire survenant au volant.

Ce système est ouvert à d'autres options telles que l'utilisation d'autres capteurs biomédicaux (capteur de température, capteur pneumotachographique, capnographique etc...). Il permettra également de combiner les informations visuelles et non visuelles et aussi l'environnement de la conduite. Il pourra analyser la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV) dans les domaines temporels et fréquentiels des signaux ECG pour détecter la fatigue et la somnolence lors de la conduite. Il pourra aussi être couplé avec le limiteur de vitesse, le freinage automatisé, le GPS et le téléphone Bluetooth. Ainsi, le véhicule pourra automatiquement ralentir, freiner, se garer et enfin appeler les secours en leur indiquant la position du véhicule.

Comme il a été signalé au précédent paragraphe que ce système est ouvert à d'autres options, d'où ce travail sera développé et amélioré prochainement à d'autres paramètres pour mieux télé surveiller la santé des personnes dans la vie quotidienne. La prochaine étape, sera consacrée aux points suivants:

- Création d'une application de télésurveillance Android sur la plateforme PlayStore utilisable sur tous les appareils Android. Cette appareil Android deviendra alors la nouvelle station de télésurveillance pour le conducteur et remplacera la carte Raspberry. Cette nouvelle vision sera plus pratique que l'installation d'une station de télé surveillance au centre du volant d'une part et d'autre part au vu de la facilité de l'acquisition d'un appareil intelligent (appareil Android).
- Extension de la télésurveillance à d'autres paramètres physiologiques en intégrant de nouveaux capteurs, développer et améliorer l'utilisation des capteurs des signaux physiologiques et ce dans le but de les rendre faciles à utiliser, plus confortables et moins gênants. Ces améliorations

permettront d'élargir leurs utilisations à d'autres personnes autres que ceux des conducteurs au volant.

- Extension de l'application pour la détection de la fatigue et la somnolence du conducteur en analysant la variabilité de la fréquence cardiaque. Cette extension contribuera à la réduction des accidents de la circulation liés à la fatigue et la somnolence.
- Développement et extension de l'application à la détection d'autres maladies cardiaques et respiratoires. Ceci permettra d'avoir une évaluation plus précise de l'état de santé d'une personne d'une part et contribuera mieux à la prise charge en cas de complication d'autre part.

# Travaux scientifique

---

*HAMZA CHERIF Fayssal*

## I. Publication

Review of Scientific Instruments

## Monitoring driver health status in real time

---

Cite as: Rev. Sci. Instrum. **91**, 035110 (2020); <https://doi.org/10.1063/1.5098308>  
 Submitted: 01 April 2019 . Accepted: 21 February 2020 . Published Online: 12 March 2020

---

Fayssal Hamza Cherif , Lotfi Hamza Cherif, Mohammed Benabdellah, and Georges Nassar

---

---

**ARTICLES YOU MAY BE INTERESTED IN**

[Super resolution convolutional neural network for feature extraction in spectroscopic data](#)  
 Review of Scientific Instruments **91**, 033905 (2020); <https://doi.org/10.1063/1.5132586>

[An apparatus to measure elastic dispersion and attenuation using hydrostatic- and axial-stress oscillations under undrained conditions](#)  
 Review of Scientific Instruments **91**, 034502 (2020); <https://doi.org/10.1063/1.5136329>

[Fabrication of Fe-based metal glass microelectrodes by a vertical liquid membrane electrochemical etching method](#)  
 Review of Scientific Instruments **91**, 035109 (2020); <https://doi.org/10.1063/1.5142702>

**Rising LHe costs? Janis has a solution.**  
 Janis' Recirculating Cryocooler eliminates the use of Liquid Helium for "wet" cryogenic systems.

sales@janis.com   www.janis.com   Click for more information.

Rev. Sci. Instrum. **91**, 035110 (2020); <https://doi.org/10.1063/1.5098308>

91, 035110

© 2020 Author(s).

# Monitoring driver health status in real time

Cite as: *Rev. Sci. Instrum.* **91**, 035110 (2020); doi: 10.1063/1.5098308

Submitted: 1 April 2019 • Accepted: 21 February 2020 •

Published Online: 12 March 2020



Fayssal Hamza Cherif,<sup>1(a)</sup> Lotfi Hamza Cherif,<sup>1</sup> Mohammed Benabdellah,<sup>1</sup> and Georges Nassar<sup>2</sup>

## AFFILIATIONS

<sup>1</sup>Biomedical Engineering Laboratory, Biomedical Engineering Department, Abou Bekr Belkaid University, Tlemcen 13000, Algeria

<sup>2</sup>Laboratory of the IEMN, Opto-Acousto-Electronic Department, University of Valenciennes and Hainaut-Cambresis, Valenciennes 59313, France

<sup>a</sup> Author to whom correspondence should be addressed: [fayssal.hamzacherif@univ-tim.dz](mailto:fayssal.hamzacherif@univ-tim.dz)

## ABSTRACT

Nowadays, surveillance systems have evolved significantly; hence, in order to meet the specific needs of the health sector and to monitor the patients' health conditions, intelligent systems have been proposed. These innovations represent a primordial role in road safety, which reduce the risk of traffic accidents. This paper describes an intelligent system design for remote monitoring (tele-monitoring) of a driver's health condition in real time. The measurement using new hardware and software devices is made possible through the contact between the driver contact and an intelligent steering wheel, which is coupled either to an integrated monitor or to a bluetooth link with a local Android smartphone. The driver's heart rate is calculated through the continuous collection of the electrocardiographic signal as well as the blood oxygen saturation SpO<sub>2</sub> by using the photoplethysmographic technique. Consequently, it is necessary to monitor the two vital functions of the driver, cardiac and respiratory activity. This information is transmitted to a remote tele-vigilance center in the case of abnormalities in these functions under the transmission control protocol/internet protocol involving a 4G/3G connection. The application is associated with the system that triggers high and low alarms locally and remotely in the events of tachycardia, bradycardia, or cardiac arrhythmia. Furthermore, another alarm is also triggered in the event of respiratory decompensation.

Published under license by AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/1.5098308>

## NOMENCLATURE

A <sub>QGS</sub>	QRS complex amplitude
ECG	Electro-Cardio-Gram
GUI	Graphical User Interface
HR	Heart Rate
HRV	Heart Rate Variability
IDE	Integrated Development Environment
PPG	Photo-Plethysmo-Gram
PR interval	The time from the onset of the P wave to the start of the QRS complex
QRS complex	represents the electrical impulse as it spreads through the ventricles and indicates ventricular depolarization
QT interval	The time from the start of the Q wave to the end of the T wave
R-R interval	The time elapsed between two successive R-waves of the QRS signal of the electrocardiogram
SpO <sub>2</sub>	Blood Oxygen Saturation
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
T <sub>QGS</sub>	QRS complex duration

## 1 INTRODUCTION

Road accidents cause more than  $1.25 \times 10^6$  deaths per year and cost most countries about 3% of their gross domestic product.<sup>1</sup> The causes and severity of accidents depend on factors related to the driver, vehicle, road, traffic conditions, emergency services, etc. Human factors remain the greatest contributor and cause more than 90% of bodily accidents.<sup>2</sup>

As an indication, these factors are generally due to speeding, fatigue and drowsiness, distracted driving caused by mobile usage, failure to respect safety distances, driving under the influence of alcohol and/or narcotics, and health complications (heart rhythm disorder, respiratory decompensation, hyper-, or hypoglycaemia).<sup>2-4</sup>

Hence, numerous studies and research focused on the development of new monitoring techniques to measure vital physiological parameters of a person at home, vehicle, or in other non-clinical environments in order to reduce accidents and improve public safety have become indispensable and important objectives.

Many companies focus on the development of new health-related technologies for use in non-clinical environments in order



to reduce road accidents. For example, a consortium of companies has developed a prototype connected to the seat belt to measure the driver's heart rate. This connected object can thus detect the sleepiness of the driver and can wake up the driver to take a break. This technological solution was developed by the Biomechanical University of Valencia in Spain and named Harken.<sup>5</sup>

A UK-based company, Plessey, specializing in electronics, defense, telecommunications, and semiconductors, in partnership with researchers at Trent University in Nottingham, England, have developed a brand new prototype: seats with the ability to prevent accidents in the case of drowsiness.<sup>6</sup>

Researchers from the Department of Electronics and Telecommunications, JSPM Narhe Technical Campus, Pune, India, have designed a device that continuously monitors driver vigilance in real time using a computer vision system consisting of the main components such as Raspberry Pi specially designed for the hardware platform, video camera, and alarm system.<sup>7</sup>

Rogado *et al.* proposed a method to detect the first signs of fatigue/sleepiness by measuring the heart rate variability (HRV), steering handle pressure, and the difference in temperature between the inside and the outside of the vehicle while driving. This method will determine if the subject is capable of driving.<sup>8</sup>

A system for monitoring the health status and vigilance of the driver in real time was proposed by Jung, Shin, and Chung. The steering wheel of a car with electrically conductive fabric electrodes is integrated to an electrocardiogram (ECG) sensor to monitor the driver's health status. The ECG signals were measured and transmitted wirelessly to a base station connected to a server's personal computer (PC) in a personal network environment.<sup>9</sup>

Joan Gómez-Clapers and Ramon Casanella proposed a system for non-invasive monitoring of the electrocardiogram signal (ECG) using a wireless steering wheel. A new heart rate detection algorithm based on the continuous wavelet transform has been implemented, specifically designed to resist the most common sources of noise and interference when acquiring the ECG through the hands.<sup>10</sup>

Recently, Japanese researchers have developed a real-time driver monitoring system with a camera that could estimate the heart rate of the driver (HR) and mental stress level (stress index).<sup>11</sup> Another group of researchers from India have developed a portable smart health monitoring system with remote access to the physician for senior citizens and rural healthcare personnel. This can be achieved by using a low-power, accurate, compact, cost-effective, user-friendly system, which is capable of measuring the patient's vital parameters. These data are displayed locally at the patient-end and also regularly sent to the physician-end using the IoT platform. The proposed system uses noninvasive sensors to monitor vital parameters such as the heart rate, SpO<sub>2</sub>, and body temperature accurately.<sup>12</sup>

The aim of this work consists in designing a smart and connected steering wheel to detect the physiological signals such as ECG and photoplethysmographic (PPG) signals and in implementing a device dedicated to the monitoring of the heart rate and its variability in order to detect possible tachycardia, bradycardia, or cardiac arrhythmia, as well as to detect possible respiratory decompensation (hypoxemia). When the driver experiences a complication or cardiac or respiratory failure, an alarm alerts him locally and information

is transmitted instantly and automatically to a remote tele-vigilance station, which directs a medical team to the person behind the wheel.

The proposed study is based on the development of a precise, fast, easy to implement, and non-intrusive system for the detection of cardio-respiratory complications of the driver while driving.

## II. MATERIALS AND METHODS

Monitoring the driver's health depends on continuous measurements of the pathophysiological state of the driver through the detection of the bio-signals, such as the electrocardiogram (ECG) signal, the respiratory signal, and the photoplethysmogram (PPG) signal.<sup>13–15</sup>

Much effort has been devoted to the development of a device to obtain ECG and PPG signals in a convenient, non-intrusive way.

- A wearable and wireless finger base-type pulse oximeter.<sup>16</sup>
- Non-contact measurement of respiration and heart rates by laser.<sup>17–19</sup>
- Non-intrusive and practical ECG signals are obtained by measuring the inductance on a chair.<sup>20,21</sup> Electrodes are placed on the back of the driver's seat. However, the method is very sensitive to the thickness of the driver's clothing and his movements.<sup>20</sup>
- Recently, a portable chest belt with two or three conductive electrodes<sup>13,22,23</sup> has been used to guarantee non-intrusive driving.

The smart steering wheel project to detect physiological signals of a driver can be designed in two ways, as illustrated in Fig. 1:

- a. Monitor integrated to the steering wheel.
- b. Bluetooth link between the steering wheel and a local Android smartphone.

The article describes the design of the monitor integrated to the steering wheel.

Two sensors are used to detect vital physiological signals, namely, cardiac activity and respiratory activity.

**A first electrocardiogram sensor** (DFRobot SEN0213) is used to detect the electrical activity of the heart. This measurement is possible whenever the driver holds the steering wheel attached with conductive fabric electrodes, as shown in Fig. 2. This electrically conductive fabric is used as electrodes and covers each half of the steering wheel. The material of the conductive fabric for the non-intrusive measurement of the ECG signal is flexible and covers the steering wheel in a watertight manner without impeding the driver. This fabric has a thickness of 0.05–0.21 mm<sup>9</sup> and a surface resistance of <0.05 Ω/square. The ECG signal detected by the sensor is filtered and amplified to highlight PR and QT intervals using the AD8232 chip included in the circuit.

**A second photoplethysmographic sensor** (rcwl-0530) attached to the earlobe is used to measure blood oxygen saturation SpO<sub>2</sub> (PPG signal) Fig. 3. It consists of two light-emitting diodes (LEDs) (red and infrared light emitting diodes), a photodetector, and a low-noise analog signal processor to detect pulse oximetry and heart rate signals. To ensure wireless information transmission, the rcwl-0530 photoplethysmographic sensor is coupled to a Arduino Mini board equipped with a Bluetooth module HC-06.

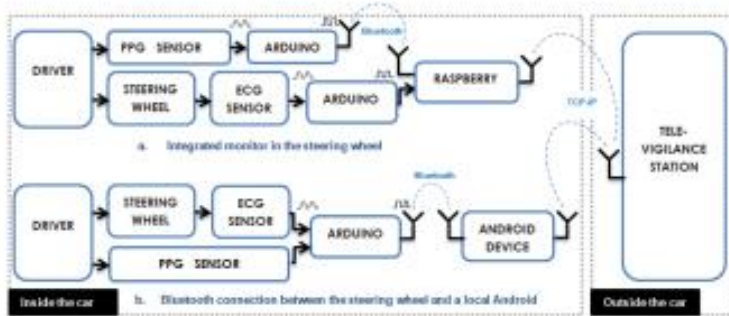


FIG. 1. Smart steering wheel architecture to detect the two physiological signals of a driver.

Each of the two captured analog signals will be transmitted to the successively approximated analog-digital converter, integrated into a corresponding Arduino board. The conversion of signals obtained from the analog devices is done on 10 bits with a sampling frequency of 200 Hz.

After the conversion of analog signals into digital ones, the Arduino board sends in real time and continuously both signals using the universal serial bus (USB) serial link for the ECG signal and the Bluetooth wireless link for the PPG signal, with a communication rate of 250 000 bauds, to a local remote monitoring station in the vehicle interior.

Figure 2 the station continuously displays signals, stores data, and will use an algorithm to detect QRS complexes, calculate the heart rate, measure blood oxygen saturation  $SpO_2$ , and detect possible cardiac and/or respiratory dysfunctions. This algorithm



FIG. 2. Location of electrodes and the monitoring station.



FIG. 3. Wireless PPG sensor attached to the earlobe.

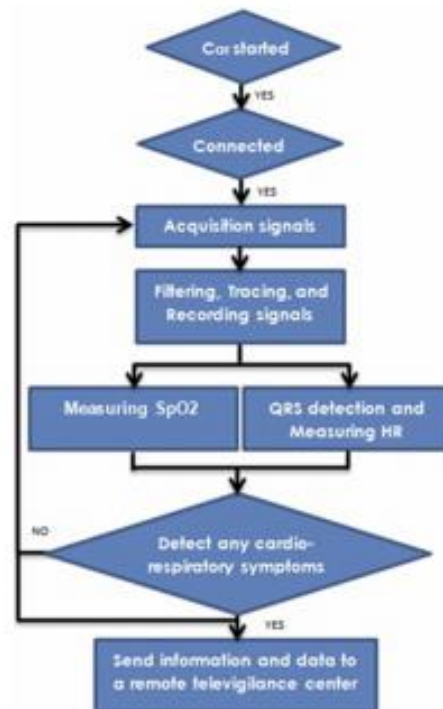


FIG. 4. The flow chart of the application.

implements a graphical user interface (GUI) under the Integrated Development Environment (IDE) Visual Basic to develop an application dedicated to the remote monitoring of a person at the wheel.

The flow chart of this application is shown in Fig. 4.

The Raspberry card is equipped with a memory card and a Wi-Fi module for internet access. The supply voltage of this remote monitoring station is 5 V and can be easily obtained in a car.

### III. RESULTS

#### A. Implementation of electrocardiographic tele-monitoring

Laboratory tests for electrocardiographic signal detection were conclusive. The electrical activity of the driver's heart is obtained through the contact between the driver's hands and electrodes. The driver's steering wheel has a conductive fabric on both halves to serve as electrodes (Fig. 5). Figure 6 illustrates the ECG signal obtained.

Figure 7 shows the automatic detection of Q, R, and S waves in real time.

Figures 8 and 9 show the automatic detection of irregular RR intervals and QRS complexes in red for the ease of reading the signal by doctors.



FIG. 5. Recording of the electrical activity of the heart.

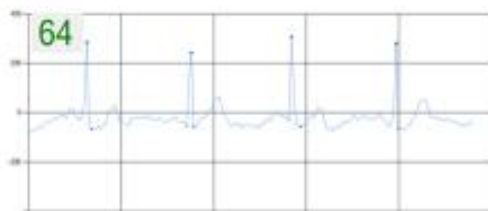


FIG. 6. Electrocardiogram (ECG) signal.



FIG. 7. Detection of Q, R, and S waves.

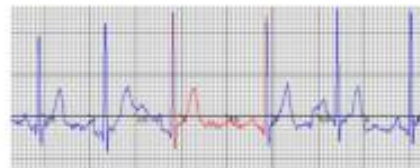


FIG. 8. Detection of the irregular RR interval.

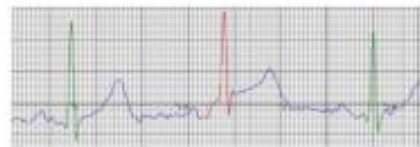


FIG. 9. Detection of the irregular QRS complex.

#### B. Implementation of photoplethysmographic tele-monitoring

To detect the blood oxymetric impulses, a photoplethysmographic sensor is attached to the earlobe to transmit the PPG signal. The laboratory tests were also conclusive. Figure 10 shows the PPG signal obtained.

#### C. The local tele-monitoring station (Raspberry card)

The real-time transmission of signals (ECG and PPG) to the local station and the display and continuous recording of these two signals at this station were also conclusive [Fig. 11]. Figure 12 shows the interface of this station.



FIG. 10. Photoplethysmogram (PPG) signal.



FIG. 11. The tele-monitoring station and the tele-vigilance station.



FIG. 12. Tele-monitoring station interface.

#### D. The tele-vigilance station (PC)

Sending the information to the tele-vigilance station in the case of cardiac and/or respiratory complications of the driver was also conclusive. For laboratory tests, a PC was used as a tele-vigilance station (Fig. 11). Figure 13 shows the interface of this remote station.



FIG. 13. Tele-vigilance station interface.

#### IV. DISCUSSION

As part of this research, two main stations (tele-monitoring and tele-vigilance) have been developed. Each of these two stations contains an application (Figs. 12 and 13), which requires a connection between them for the purpose of transferring medical data including texts and multi-format files as well as multimedia data. The connection principle is based on the client/server architecture.<sup>34,35</sup> This data transfer expands the scope of this study to a tele-medical act dedicated to the tele-surveillance of a person at the wheel (tele-diagnosis and tele-assistance).

##### A. Application of the tele-monitoring station

The tele-monitoring station can operate in two modes:

- Online mode: the two stations (tele-monitoring and tele-vigilance) are connected to each other. This option allows us to automatically transfer information about the state of health of the while driving to the tele-vigilance station via 3G/4G connection in the event of a cardiorespiratory complication.
- Offline mode: the remote tele-vigilance station is disconnected from the local tele-monitoring station. The tele-transmission of information concerning the state of health of the driver is then voluntarily interrupted by the driver.

The online mode of operation is enabled when the driver creates an account in order to connect to the remote station. This account hosted on a database contains all personal information about the driver and his medical records.

Pathology detection, such as bradycardia, tachycardia, heart rate variability, and hypoxemia, is based on the availability of the parameters below. Through this system, we will be able to

- collect ECG and PPG signals continuously,
- automatically detect Q, R, and S waves (Fig. 7),
- detect the irregularity of RR intervals (Fig. 8) and QRS complexes (Fig. 9), and
- calculate the heart rate and the SpO<sub>2</sub>.

From these detected parameters, the system allows for the detection of complications through the following procedures:

- Calculates and detects the variation in the heart rate in the last ten seconds. In the event of bradycardia, tachycardia, or detection of a high variability in the heart rate, an alarm will be automatically triggered.
- Bradycardia or tachycardia occurs when the heart rate is outside the normal interval between 60 and 100 BPM.
- Detect intraventricular conduction disorders, knowing that these disorders appear when the duration of the QRS complex exceeds 0.12 seconds. Normally the QRS complex oscillates between 0.06 s and 0.1 s. Beyond this normality, an alarm will be triggered.
- Calculate the blood oxygen saturation SpO<sub>2</sub> and detect any possible respiratory decompensation (hypoxemia). SpO<sub>2</sub> is considered normal when it is greater than 95% and abnormally low when it is less than 92%. An alarm will be triggered in the event of an abnormality.

In the case of the complications mentioned above, the following processes are performed by the system:

Case	Parameter	Value	Clinical significance
Normal	Heart Rate (bpm)	50 < HR < 100	Normal Beats
	QRS amplitude (mV)	0.5 < A <sub>QRS</sub> < 2.6	Normal amplitude
	QRS duration (s)	0.06 < T <sub>QRS</sub> < 0.1	Normal duration
	SpO <sub>2</sub> (%)	Over 95	Normal value
Alarm	Heart Rate (bpm)	Big differences between each successive heartbeat	Heart rate variability (HRV)
		50 < HR < 60	Slow Beats (Confusion, fatigue, dizziness or near-fainting ...)
		Less 50	Bradycardia
		100 < HR < 120	Fast Beats (fear, anxiety or stress ...)
	QRS amplitude (mV)	Over 120	Tachycardia
		Very low-amplitude less 0.5	Pericardial effusion or infiltrative myocardial disease
	QRS duration (s)	Over 2.6	Left ventricular hypertrophy
		0.1 < T <sub>QRS</sub> < 0.12	Prolonged duration indicates
	SpO <sub>2</sub> (%)	Over 0.12	Intraventricular conduction disorders (hyperkalemia or bundle branch block)
		92 < SpO <sub>2</sub> < 95	Low saturation
	Less 92	Hypoxemia	

FIG. 14. The overall process of monitoring the driver's condition.

- A first audible and vocal alarm will be triggered instantly and automatically at the local station (tele-monitoring) to warn the driver. A voice message then tells the driver to park.
- At the same time, a second audible alarm will trigger at the remote station (tele-vigilance). The information concerning his health state is also transmitted instantly and automatically to allow the medical team to carry out prompt and appropriate measures to ensure the driver's safety.

Figure 14 shows the overall process of monitoring the driver's condition.

We have considered driving conditions such as the noise problem, regardless of whether removing the hands from the steering wheel will interrupt the ECG signal transmission.

This eventuality is supported, and the system continuously compares the heart rate calculated from the ECG signal and the heart rate calculated from the PPG signal, and in the case where the difference is less than ten beats, both signals will be used for the surveillance of the driver.

In the event where this difference exceeds the ten beats (one or both hands are raised or not placed), the application will automatically neglect the ECG signal and switch only to the PPG signal until the situation is restored again, i.e., when the difference is less than ten beats.

### B. Application of the tele-vigilance station

The tele-vigilance station is a platform where healthcare practitioners can, on the basis of information received from the tele-surveillance station, take quick and appropriate measures to ensure the follow-up and safety of a driver driving a vehicle in real time. This station is hosting the second application. It is linked to a database containing the medical records and information concerning the persons subscribed to this station. This database allows doctors to gather a perfect knowledge about the driver's possible illness and health status in order to enable them to make an optimized decision.

In order to facilitate the task of the station's medical team in the event of a complication, the application will activate an audible alarm and automatically display all the information concerning the failure of the parameters monitored by the station.

### V. CONCLUSIONS AND PERSPECTIVES

In this area, several research studies are based on the detection of fatigue and drowsiness of the driver using the study of visual facts (eye movements, facial expression, etc.) but not pathophysiological facts (ECG, PPG, and breathing pattern), that is, the driver's apparent state but not his health status.

This paper is focused on designing a new practical system for easy monitoring of the person's health status while driving in which two sensors (ECG and PPG) are used to measure the two vital physiological signals of the driver and on an algorithm to detect the heart rate, SpO<sub>2</sub>, and certain cardiac and respiratory dysfunctions (cardiac arrhythmia, bradycardia, tachycardia, and respiratory decompensation). The driver is warned immediately so as to react and consult a doctor. The ultimate goal is to monitor the driver's health status, thus reducing the number of road accidents related to cardiorespiratory system failure that occurs while driving.

This system is open for development through the addition of another biomedical sensor (temperature sensor, pneumotachographic sensor, and capnographic sensor). It will also combine visual and non-visual information with the driving environment. It will be able to analyze the heart rate variability (HRV) in the temporal and frequency domains of ECG signals to detect fatigue and drowsiness during conduction. It can also be coupled with the speed limiter, automatic braking, GPS, and Bluetooth phone. Thus, the vehicle can slow down, brake, park, and finally call the emergency service by indicating the vehicle position.

### ACKNOWLEDGMENTS

The authors declare no competing financial interest.

## REFERENCES

- <sup>1</sup>World Health Organization, *Global Status Report on Road Safety 2015* (World Health Organization, 2015).
- <sup>2</sup>J. J. Rolison et al., "What are the factors that contribute to road accidents? An assessment of law enforcement views, ordinary drivers' opinions, and road accident records," *Accid. Anal. Prev.* **115**, 11–24 (2018).
- <sup>3</sup>E. Fort et al., "Road accidents, an occupational risk," *Saf. Sci.* **48**(10), 1412–1420 (2010).
- <sup>4</sup>A. Spoerri, M. Egger, and E. von Elm, "Mortality from road traffic accidents in Switzerland: Longitudinal and spatial analyses," *Accid. Anal. Prev.* **43**(1), 40–48 (2011).
- <sup>5</sup>H. De Rosario Martínez et al., "Stop a los accidentes por fatiga," *Revista de biomecánica* **61**, 5–12 (2014).
- <sup>6</sup>P. Jackson et al., *Fatigue and road safety: A critical analysis of recent evidence*. Department for Transport, Road Safety Web Publication 21 (2011).
- <sup>7</sup>A. S. Kulkarni and S. B. Shinde, "A review paper on monitoring driver distraction in real time using computer vision system," in *2017 IEEE International Conference on Electrical, Instrumentation and Communication Engineering (ICEICE)* (IEEE, 2017).
- <sup>8</sup>E. Ragado et al., "Driver fatigue detection system," in *2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics* (IEEE, 2009).
- <sup>9</sup>S.-J. Jung, H.-S. Shin, and W.-Y. Chung, "Driver fatigue and drowsiness monitoring system with embedded electrocardiogram sensor on steering wheel," *IET Intell. Transp. Syst.* **8**(1), 43–50 (2014).
- <sup>10</sup>J. Gómez-Clapers and R. Casanella, "A fast and easy-to-use ECG acquisition and heart rate monitoring system using a wireless steering wheel," *IEEE Sens. J.* **12**(3), 610–616 (2011).
- <sup>11</sup>L. Tan et al., "A real-time driver monitoring system using a high sensitivity camera," in *Three-Dimensional and Multidimensional Microscopy: Image Acquisition and Processing XXVI* (International Society for Optics and Photonics, 2019), Vol. 10883.
- <sup>12</sup>S. Basu, M. Ghosh, and S. Barman, "Raspberry Pi 3B+ based smart remote health monitoring system using IoT platform," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Communication, Devices and Computing* (Springer, Singapore, 2020).
- <sup>13</sup>C.-T. Lin et al., "EEG-based drowsiness estimation for safety driving using independent component analysis," *IEEE Trans. Circuits Syst. I* **52**(12), 2726–2738 (2005).
- <sup>14</sup>H. J. Eoh, M. K. Chung, and S.-H. Kim, "Electroencephalographic study of drowsiness in simulated driving with sleep deprivation," *Int. J. Ind. Ergon.* **35**(4), 307–320 (2005).
- <sup>15</sup>S. K. L. Lal et al., "Development of an algorithm for an EEG-based driver fatigue countermeasure," *J. Saf. Res.* **34**(3), 321–328 (2003).
- <sup>16</sup>B.-S. Lin et al., "Design of a finger base-type pulse oximeter," *Rev. Sci. Instrum.* **87**(1), 013108 (2016).
- <sup>17</sup>P. Marchionni et al., "An optical measurement method for the simultaneous assessment of respiration and heart rates in preterm infants," *Rev. Sci. Instrum.* **84**(12), 121705 (2013).
- <sup>18</sup>L. Scalise, P. Marchionni, and I. Ercoli, "Non-contact laser-based human respiration rate measurement," *AIP Conf. Proc.* **1364**, 149 (2011).
- <sup>19</sup>L. Scalise et al., "Simultaneous measurement of respiration and cardiac period in preterm infants by laser Doppler vibrometry," *AIP Conf. Proc.* **1457**, 275 (2012).
- <sup>20</sup>Y. G. Lim, K. K. Kim, and S. Park, "ECG measurement on a chair without conductive contact," *IEEE Trans. Biomed. Eng.* **53**(5), 956–959 (2006).
- <sup>21</sup>S.-J. Jung, T.-H. Kwon, and W.-Y. Chung, "A new approach to design ambient sensor network for real time healthcare monitoring system," in *2009 IEEE Sensors* (IEEE, 2009).
- <sup>22</sup>W.-Y. Chung, Y.-D. Lee, and S.-J. Jung, "A wireless sensor network compatible wearable u-healthcare monitoring system using integrated ECG, accelerometer and SpO<sub>2</sub>," in *2008 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (IEEE, 2008).
- <sup>23</sup>L. B. Lee et al., "Comparison of conductive fabric sensor and Ag-AgCl sensor under motion artifacts," in *2008 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (IEEE, 2008).
- <sup>24</sup>A. A. Aïssa Mekhlil, M. Benabdellah, and N. K. Ali Moulhi, "Design and development of a tele-medical platform dedicated to remote monitoring of pulmonary function," *Electrotech. Electron. Autom.* **66**(3), 137–144 (2018).
- <sup>25</sup>S. Rerbal et al., "Tele-vigilance of chronic cardiac diseases using the spectral temporal analysis," *Electrotech. Electron. Autom.* **65**(4), 210–214 (2017).

## II. Communications





6<sup>ème</sup> Journée de Maintenance Biomédicale (JMB2017),  
Hôpital Central de l'Armée,  
'Dr Mohamed Seghir Nekkache' Alger, 19 Oct. 2017



## Etude et réalisation d'une plateforme dédiée à la télésurveillance de l'état physiopathologique d'une personne au volant

HAMZA CHERIF Fayssal

Département de Génie biomédicale  
Faculté de Technologie  
Université Abou bekr Belkaid, BP230-13000  
Chetouane  
Tlemcen, Algérie  
Fayp13@hotmail.fr

BENABDELLAH Mohammed

Département de Génie biomédicale  
Faculté de Technologie  
Université Abou bekr Belkaid, BP230-13000 Chetouane  
Tlemcen, Algérie  
m\_benabdellah\_2000@yahoo.fr

**Résumé**— De nos jours, la science et la technologie ont évoluées énormément et peuvent jouer un rôle important dans le domaine de la prévention routière et réduire ainsi les risques d'accidents de la circulation. Cet article présente une plateforme dédiée à la télésurveillance de l'état physiopathologique d'un conducteur au volant. Ce dispositif s'intègre dans la nouvelle forme de pratique médicale distante dénommée « télémédecine ». L'objectif final étant de créer un dispositif de détection de fréquence cardiaque (HR). Pour cela, une caméra accouplée d'une application est installée au bord du véhicule pour mesurer le HR des conducteurs et surveiller ainsi leurs activités physiques en temps réel et de transmettre également ces informations à un centre distant de télévigilance en cas d'incident.

**Mots clé :** caméra, HR, conducteur, télésurveillance, l'état physiopathologique, véhicule.

### I. INTRODUCTION

Les causes des accidents de la route peuvent être variées, cependant la gravité de leurs conséquences dépend de la combinaison de facteurs liés au conducteur, au véhicule, à la route, aux conditions de circulation, aux secours, etc...

Les facteurs humains, en particulier, demeurent les plus pondérant et apparaissent dans plus de 90% des accidents corporels. A titre indicatif, ces facteurs sont : Excès de vitesse ; Fatigue et somnolence ; Usage du téléphone au volant ; Distraction au volant ; Non-respect des distances de sécurité ; Conduite sous l'emprise de l'alcool ; Conduite sous l'influence de stupéfiants ; Problème de santé (trouble du rythme cardiaque, décompensation respiratoire, hyper ou hypo glycémie, etc...) [1].

Plusieurs entreprises veulent mettre la technologie liée à la santé dans le véhicule à la disposition des nouvelles normes de sécurité à l'intérieur de celui-ci. A titre d'exemple : un consortium de sociétés a mis au point un prototype de la ceinture de sécurité connectée permettant de







### III. Publication du polycopié



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
 REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
 وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
 Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
 جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -  
 Université Aboubakr BELKAÏD - Tlemcen -  
 كلية التكنولوجيا  
 Faculté de Technologie

Ref 66 /CSF/2017

02 Novembre 2017

#### EXTRAIT DU PROCES VERBAL DU CONSEIL SCIENTIFIQUE DE LA FACULTE DU 31 OCTOBRE 2017

##### Polycopié de MEZIANI Fadia, RERBAL Souhila & HAMZA CHERIF Faïçal

Suite aux rapports favorables des experts, Prof BENABDELLAH Mohammed et Prof DEBBAL Sidi Mohammed, le Conseil Scientifique de la Faculté, émet **un avis favorable** pour la publication du polycopié intitulé : « Différents modes de transmission des signaux analogiques » de MEZIANI Fadia, RERBAL Souhila & HAMZA CHERIF Faïçal du département de génie biomédical

Président du conseil scientifique de la faculté  
 Prof Abdellatif MEGNOUNIF

د.عبد اللطيف مكنونيف

ع.عقونيف