

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIC ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم

العلمي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة بوعباكر بكاءيد - تلمسان -
تلمسان -

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Génie biomédical

Spécialité : instrumentation et maintenance biomédicale

Par :

- Ben Chabane Yasmine
- Benaouali Nour Elhouda

Sujet

Réalisation d'une station de mesure pédiatrique connectée

Soutenu publiquement, le 08/10/2025, devant le jury composé de :

M Dib Nabil	MCA	Université de Tlemcen	Président
Mme Habibes Naima	MAA	Université de Tlemcen	Examinateur
Mme Baba Hamed née Bensmain Amel	MCB	Ecole Nationale Polytechnique d'Oran ENP	Examinateur
M. Bechar Hassane	MCA	Université de Tlemcen	Encadrant
Bendouma Houaria	Ingénieur biomédicale	L'hôpital de Temouchent	Expert sociaux économique

Année universitaire: 2024 /2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

قال تعالى: "يُؤْتِي الْحِكْمَةَ مَنْ يَشَاءُ ۚ وَمَنْ يُؤْتَ الْحِكْمَةَ فَقَدْ أُوتِيَ خَيْرًا كَثِيرًا ۗ
وَمَا يَكْفُرُ إِلَّا الْأَلْبَابُ"

الآية "269 من البقرة"

Remerciements

Ce travail est l'aboutissement de plusieurs années d'efforts et d'apprentissage. Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à sa réalisation.

*Nos premiers remerciements vont à nos distingués encadreurs **M. Bechar Hassan** et **M. Nemiche Ahmed**, pour leur guidance avisée, leur disponibilité et leurs précieux conseils tout au long de ce projet. Leur expertise et leur soutien constant ont été déterminants.*

*Nous exprimons également notre sincère reconnaissance aux membres du jury, **M. Nabil Dib**, **Mme Habibes Naïma** et **Mme Baba-hamed Amel**, qui ont honoré notre travail en acceptant de l'évaluer. Leurs remarques et leurs suggestions nous sont extrêmement précieuses, et notre partenaire économique.*

*Une pensée toute particulière va à l'ensemble des **enseignants du département de Génie Biomédical**. Leur enseignement de qualité, leur transmission de savoir et leur soutien tout au long de ces cinq années d'études ont été le fondement de notre formation. Leurs conseils ont largement contribué à forger notre parcours académique et personnel.*

*Nous remercions chaleureusement **M. Hamza Cherif**, chef du département de Génie Biomédical, pour sa disponibilité, son accueil et ses orientations éclairées.*

*Nos remerciements s'adressent également au **Laboratoire de Génie Biomédical – Centre Étudiant de Tlemcen i2E**, pour nous avoir accueillis et avoir mis à notre disposition les moyens techniques et humains nécessaires à la concrétisation de ce projet.*

*Nous sommes redevables à **Mme Makoudi Malika** du laboratoire d'électronique, pour son aide précieuse, son expertise et son encadrement dévoué dans la réalisation de la partie impression 3D de notre projet.*

*Enfin, nous ne saurions oublier nos camarades de la **promotion 2020-2025**. C'est avec une grande sincérité que nous les remercions pour leur collaboration, leur soutien indéfectible et l'esprit d'équipe qui ont rendu ce parcours universitaire à la fois agréable et enrichissant.*

Dédicace

*Je tiens à dédier ce mémoire de fin d'étude à mes chers parents,
mon refuge, ma lumière et mon plus grand soutien,
merci pour votre amour infini, votre patience et vos encouragements à chaque pas de
ma vie.*

*À mes frères et sœurs ;
vous êtes mon souffle, ma joie et mon appui dans tous les moments,
merci pour votre présence et vos mots qui réchauffent le cœur.*

*À ma binôme **Yasmine**,
qui a partagé avec moi les efforts de ce travail et m'a aidé(e) à surmonter les
difficultés,
je te rends hommage avec toute ma gratitude.*

*À mes amis et compagnons de route,
qui ont partagé avec moi les rires, les efforts et les rêves,
je dédie ce travail avec tout mon cœur,
comme un humble témoignage de gratitude, d'affection et de reconnaissance.*

Benaouali Nour Elhouda

Dédicace

Louange à Dieu qui m'a permis d'atteindre cette étape et a couronné mon parcours scolaire de 18 ans par une réussite exceptionnelle, par Sa grâce et Sa faveur.

Je tiens à exprimer mes plus sincères remerciements et ma gratitude envers :

***Ma chère famille**, qui a été mon plus grand soutien. Vous n'avez jamais cessé de m'accompagner tout au long de ce chemin, et vous m'avez toujours empêchée de douter de mes capacités. Vos mots et votre présence ont été le secret de ma force et de ma persévérance.*

***Mes frères et sœurs bien-aimés**, merci pour votre soutien indéfectible, votre encouragement franc, et la précieuse confiance que vous m'avez témoignée dans tous mes choix. Cette confiance a été ma plus grande motivation pour être à la hauteur de vos attentes.*

***Mes chers neveux et nièces**, vous qui êtes ma joie et mon bonheur, je souhaite de tout cœur vous voir bientôt atteindre les plus hauts niveaux de réussite, et même dépasser ce que j'ai accompli. Vous portez en vous l'espoir que je caresse pour l'avenir.*

***Mes précieux amis**, vous qui avez été comme une seconde famille, toujours à mes côtés à chaque étape. Même si vous êtes trop nombreux pour être cités nommément, sachez que votre place dans mon cœur restera éternelle.*

*À ma binôme **Nour Elhouda**, qui a partagé avec moi les efforts de ce travail et m'a aidé(e) à surmonter les difficultés, je te rends hommage avec toute ma gratitude.*

Merci à toutes celles et ceux qui m'ont tendu la main, ne serait-ce que par une parole réconfortante, un soutien moral ou une prière discrète. Votre contribution a eu un impact immense sur mon parcours et sur la personne que je suis devenue.

Cette réussite est le fruit d'un effort collectif, et je vous la dédie à tous, autant qu'à moi-même.

Ben chabane Yasmine

Résumé

Ce mémoire de master en Génie Biomédical présente la conception et la réalisation d'une station de mesure pédiatrique connectée, destinée à moderniser le suivi de la croissance des enfants en milieu médical. Le système, basé sur un Raspberry Pi 4, intègre des capteurs pour mesurer la taille et le poids, ainsi qu'un module d'identification par QR code. Il comprend une interface interactive permettant une utilisation simple et rapide par le personnel soignant.

Sur le plan logiciel, la station repose sur une architecture modulaire assurant l'acquisition, le stockage et la visualisation des données de croissance. Une application pour les médecins permet la gestion complète des dossiers et l'affichage des courbes de croissance, tandis qu'une application mobile connectée à Firebase offre aux parents un accès direct à l'historique des mesures de leur enfant.

Ce projet contribue à améliorer la précision, la traçabilité et l'efficacité du suivi pédiatrique. Les perspectives envisagent l'adaptation du dispositif pour les nourrissons et l'intégration d'autres paramètres biomédicaux.

Mots-clés : Génie biomédical, Station de mesure, Raspberry Pi, Capteurs, Pédiatrie, QR Code, Application mobile, Suivi de croissance.

ملخص

مذكرة الماستر هذه في الهندسة البيوطبية تقدّم تصميم وإنجاز محطة قياس للأطفال متصلة تهدف إلى تطوير ومواكبة طرق متابعة نمو الأطفال في الوسط الطبي. يعتمد النظام على Raspberry Pi 4 ويتضمن حساسات لقياس الطول والوزن، بالإضافة إلى وحدة للتعرف على الطفل من خلال رمز QR. كما تحتوي المحطة على واجهة تفاعلية تسهّل على الطاقم الطبي استخدامها بسرعة وسهولة. من الناحية البرمجية، يعتمد النظام على هيكلية برمجية منظمة تتيح جمع البيانات وتخزينها وعرضها بطريقة فعّالة. تم تطوير تطبيق للطبيب لإدارة ملفات الأطفال وعرض منحنيات النمو، إضافةً إلى تطبيق للهاتف المحمول متصل بخدمة Firebase يتيح للأولياء الاطلاع المباشر على سجل قياسات طفلهم. يُسهم هذا المشروع في تحسين دقة القياسات وسهولة تتبّع النمو وتسريع العمل الطبي. كما تتجه الآفاق المستقبلية إلى تكييف الجهاز لقياس الأطفال الرضع وإضافة معايير حيوية أخرى لزيادة فعاليته الطبية.

الكلمات المفتاحية: الهندسة الطبية الحيوية، محطة القياس، Raspberry Pi، الحساسات، طب الأطفال، رمز QR، تطبيق محمول، تتبّع النمو.

Abstract

This master's thesis in Biomedical Engineering presents the design and development of a connected pediatric measurement station aimed at modernizing child growth monitoring in medical environments. The system is based on a Raspberry Pi 4 and integrates sensors for measuring height and weight, along with a QR code module for child identification. It features an interactive interface that ensures simple and efficient use by healthcare personnel.

From a software perspective, the system relies on a modular architecture that enables data acquisition, storage, and visualization. A desktop application for doctors allows full management of patient records and growth curve visualization, while a mobile application connected to Firebase provides parents with direct access to their child's measurement history.

This project contributes to enhancing accuracy, traceability, and efficiency in pediatric monitoring. Future perspectives include adapting the device for infants and integrating additional biomedical parameters to broaden its functionality.

Keywords: Biomedical engineering, Measurement station, Raspberry Pi, Sensors, Pediatrics, QR code, Mobile application, Growth monitoring.

Table des matières

I.	Chapitre I Généralités sur la croissance de l'enfant et les dispositifs médicaux utilisés	4
I.1	Introduction :	4
I.2	Croissance de l'enfant : notions clés	5
I.2.1	Paramètres de croissance : poids et taille et IMC	5
I.2.2	Importance du suivi régulier :	8
I.3	Normes et standards internationaux (OMS)	9
I.3.1	Les courbes de croissance :	9
I.3.2	Présentation des courbes de croissance OMS :	11
I.3.3	Critères d'évaluation et seuils cliniques	15
I.4	Méthodes de mesure classiques	17
I.4.1	les méthodes traditionnelles :	17
I.4.2	Limites des dispositifs traditionnels :	20
I.5	Conclusion :	22
II.	Chapitre II conception de la partie électronique	24
II.1	Introduction	24
II.2	Architecture matérielle	25
II.2.1	Description générale de l'architecture matérielle	25
II.2.2	Rôle du Raspberry Pi dans la centralisation	25
II.3	Présentation des composants matériels	29
II.3.1	Capteur à ultrasons SR-HC04 (mesure de la taille) :	29
II.3.2	Module de pesée HX711 : fonctionnement et précision	33
II.3.3	Caméra pour lecture du QR code : choix, résolution, traitement d'image	34
II.3.4	l'écran HDMI LCD 3.5 pouces pour Raspberry Pi :	36
II.3.5	Horloge temps réel (RTC) :	38
II.3.6	LED :	40
II.3.7	Bouton poussoir :	41
II.3.8	Buzzer : alertes sonores	42
II.4	Conclusion :	44
III.	Chapitre III Réalisation pratique de prototype	46
III.1	Introduction :	46
III.2	Architecture logicielle globale	47

III.2.1	Présentation des trois modules logiciels :	47
III.2.2	Vue d'ensemble des flux de données entre le Raspberry Pi, la base de données, et le PC médecin	51
III.3	Interfaces :	53
III.3.1	Interface embarquée (station de mesure).....	53
III.3.2	Application cliente (PC Windows – médecin).....	57
III.4	Application mobile (suivi enfant _parent-App) :	67
III.4.1	Description des interfaces	67
III.5	Conclusion :	70

Liste des figures

Figure 1: courbe de taille/ poids chez les garçons (0-18 ans).....	11
Figure 2: courbe de taille/ poids chez les filles(0-18 ans)	12
Figure 3: courbe de PC chez les garçons (0-18 ans)	13
Figure 4: : courbe de PC chez les filles (0-18 ans).....	14
Figure 5: schéma bloc de la station de mesure pédiatrique	25
Figure 6:Raspberry pi 4.....	28
Figure 7: capteur HC-SR04.....	29
Figure 8: Principe de la mesure par sonar/écho	30
Figure 9: Devenir d'une onde sonore à l'interface de deux milieux.....	31
Figure 10: calcul la distance entre le capteur et l'objet.....	32
Figure 11: capteur de poids HX711	34
Figure 12: Caméra Pi.....	35
Figure 13: écran pi	36
Figure 14: Horloge temps réel (RTC).....	38
Figure 15: câblage de RTC avec RPI	39
Figure 16: Câblage de LED avec RPI.....	40
Figure 17: Câblage de bouton poussoir avec RPI	41
Figure 18: Circuit d'entrée numérique avec bouton-poussoir	42
Figure 19: buzzer	42
Figure 20: buzzer actif	43
Figure 21: buzzer passif	43
Figure 22:Suivi médical automatisé via Raspberry Pi.....	47
Figure 23:schéma synoptique de la station de mesure	47
Figure 24: icone d'application de station de mesure	54
Figure 25: lire QR code d'enfant	54
Figure 26: détection l'ID d'enfant par camera pi	54
Figure 27: les instructins de mesure.....	54
Figure 28: prise de mesure de la taille	54
Figure 29: prise de mesure de poids	54
Figure 30: l'enregistrement de mesure	55
Figure 31: icone d'application desktop d'interface client	57
Figure 32: Écran de connexion sécurisé	58
Figure 33: menu de gestion enfants	59
Figure 34:Formulaire d'ajout d'un enfant	60
Figure 35: Interface de modification d'un enfant.....	61
Figure 36: interface de suppression d'enfant.....	61
Figure 37: formulaire d'ajout d'enfant	63
Figure 38:formulaire de modification de mesure d'enfant	63
Figure 39: suppression d'une mesure	64
Figure 40: affichage des mesures	64
Figure 41: menu de rapports visualisation des données.....	65
Figure 42: courbe OMS dans le système de station d'enfant Lina.....	66

Figure 43: Icône de l'application Suivi Enfant – Parent App..... 67

Figure 44: Interface principale : saisie de l'ID de l'enfant pour afficher les données 68

Figure 45: exemples d'entrée d'IDs enfants 68

Figure 46: Interface d'affichage des données de l'enfant et de la liste des mesures..... 69

Liste des Tableaux

Tableau 1: Classification des états de croissance et de malnutrition chez l'enfant.....	15
Tableau 2: Classification de l'état nutritionnel des enfants et adolescents de 2 à 19 ans selon l'OMS	16
Tableau 3: Câblage du module RTC (Real-Time Clock) vers Raspberry Pi.....	38



Introduction générale

La croissance d'un enfant n'est pas seulement une suite de chiffres relevés sur une toise ou une balance. Elle est le reflet d'un ensemble complexe de facteurs biologiques, nutritionnels et sociaux, mais c'est est un indicateur essentiel de sa santé qui conditionnent son développement et, plus largement, son avenir. Suivre cette croissance régulièrement, c'est une priorité dans les services de pédiatrie, où il permet de détecter rapidement tout retard ou déséquilibre. Pourtant, dans la pratique, les mesures de taille et de poids sont encore réalisées avec des instruments distincts et consignées manuellement, ce qui les rend longues, répétitives et sujettes aux erreurs, cette tâche reste pourtant délicate. Un geste simple en apparence, mais qui devient vite répétitif, chronophage. Or, dans un contexte où les écarts socio-économiques et l'accès aux soins influencent directement la qualité du suivi, la moindre imprécision peut avoir des conséquences importantes.

Face à ces limites, les nouvelles technologies offrent des solutions prometteuses, ouvrent cependant de nouvelles perspectives. L'intégration de capteurs de précision et leur miniaturisation, combinée à la puissance de micro-ordinateurs, permet aujourd'hui d'imaginer des dispositifs connectés capables d'automatiser les mesures, d'enregistrer les données de façon fiable et de les rendre immédiatement disponibles pour les professionnels de santé. Dans cette optique, ce mémoire propose la conception et la réalisation d'une station de mesure pédiatrique connectée, dédiée à l'évaluation de la croissance des enfants.

Le premier chapitre est consacré aux **généralités médicales** et aux outils de suivi. On y aborde les notions fondamentales de la croissance infantile, les paramètres de référence tels que le poids, la taille et l'indice de masse corporelle, ainsi que les normes établies par l'Organisation mondiale de la santé. Ce chapitre présente également les dispositifs médicaux classiques (toises, balances) utilisés en pédiatrie et met en évidence leurs limites dans le contexte actuel.

Le deuxième chapitre traite de la **conception matérielle** de la station. Il présente l'architecture électronique choisie et décrit en détail les principaux composants utilisés : le capteur à ultrasons pour la mesure de la taille, le module de pesée HX711, la caméra pour la lecture des codes QR, l'écran tactile, ainsi que des modules complémentaires tels que l'horloge temps réel ou le buzzer. L'intégration de ces éléments autour du Raspberry Pi est illustrée par des schémas et des tests de validation.

Enfin, le troisième chapitre est consacré à la **mise en œuvre logicielle** du système. Il décrit l'architecture logicielle globale, le fonctionnement des scripts de mesure embarqués sur le Raspberry Pi, la gestion des données via une base locale et une API de communication, ainsi que le développement des interfaces utilisateurs. Ce chapitre présente également les tests réalisés en conditions réelles et propose des perspectives d'amélioration et d'évolution du dispositif.

Notre ambition a été de concevoir une station connectée capable de mesurer automatiquement le poids et la taille des enfants, d'enregistrer ces informations dans une base de données sécurisée, et de les rendre accessibles au médecin via une interface claire et pratique. L'objectif n'est donc pas seulement technique : il s'agit aussi de contribuer à un meilleur suivi pédiatrique, en facilitant le travail des soignants et en améliorant la qualité du service rendu.

A decorative border resembling a scroll, with rounded corners and a vertical strip on the left side. The scroll is outlined in black and has a light gray shadow effect on its top and left edges.

**Chapitre 1 : Généralités sur la croissance de l'enfant et
les dispositifs médicaux ;**

Chapitre I Généralités sur la croissance de l'enfant et les dispositifs médicaux utilisés

I. Chapitre I Généralités sur la croissance de l'enfant et les dispositifs médicaux utilisée

I.1 Introduction :

Le développement de l'enfant est un phénomène complexe de maturation qui se déroule selon des axes complémentaires et indissociables entre eux : psychomoteur, affectif, cognitif. Le processus de développement d'un enfant dépend de facteurs internes et de facteurs d'interactions avec l'environnement.

En effet, il existe d'une part, une évolution interne résultant d'un programme de développement caractéristique de l'espèce inscrit dans le programme génétique et, d'autre part, une interaction permanente avec l'environnement. Pour la plupart des enfants, le milieu dans lequel ils se trouvent à la naissance est avant tout celui de la relation à leur mère. Toutes les recherches ont montré que le nouveau-né possède, dès la naissance, des compétences relationnelles importantes.

En générale, La croissance est par définition l'augmentation du volume et de la masse d'un organisme. Elle implique non seulement une quantité importante de matière et d'énergie, mais aussi une quantité importante d'informations, ce qui est une idée plus récente. La croissance est un processus complexe qui se déroule à la fois dans l'espace et dans le temps et qui s'exprime par des éléments mesurables comme la masse, le volume, la longueur, le périmètre, etc. Elle a contribué au développement d'unités fonctionnelles à trois niveaux différents : cellulaire (comme les cellules sécrétrices), infra-cellulaire (comme les synapses), et supra-cellulaire (comme les néphrons). [1]

La croissance comporte deux types de phénomènes :

- phénomènes quantitatifs : ils se mesurent (cm ou g), poids, taille, périmètre crânien, tissu adipeux, différents segments ;
- phénomènes de maturation : modification qualitative des tissus (maturation osseuse, dentaire, sexuelle, psycho-affective). [2]

En Algérie, le suivi de la croissance des enfants est un enjeu majeur de santé publique. Il permet de s'assurer qu'un enfant grandit normalement et en bonne santé, tout en détectant d'éventuels problèmes liés à la nutrition, aux maladies chroniques ou à des conditions de vie difficiles. Dans un pays où l'accès aux soins et les conditions socio-économiques varient d'une région à l'autre, surveiller la croissance infantile est essentiel pour prévenir les retards de développement et assurer un suivi médical adapté. C'est dans cette optique que les nouvelles technologies, comme les stations de mesure connectées, peuvent jouer un rôle clé en facilitant la collecte et l'analyse des données, améliorant ainsi la prise en charge des enfants dès leur plus jeune âge.

Chapitre I Généralités sur la croissance de l'enfant et les dispositifs médicaux utilisés

I.2 Croissance de l'enfant : notions clés

L'évaluation de la croissance repose en premier lieu sur les **mesures du poids et de la taille**. Dans le cadre du suivi pédiatrique, il est recommandé de mesurer ces paramètres au minimum tous les 3 mois jusqu'à l'âge de 2 ans puis tous les 6 mois jusqu'à la fin de la croissance, et de les noter sur le carnet de santé.

Jusqu'à l'âge de 3 ans, **la mesure du périmètre crânien** est associée à ces paramètres.

Ces paramètres doivent être interprétés en fonction de l'âge et du sexe en utilisant des courbes adaptées à la population. Par exemple en France, **les courbes actualisées dans le carnet de santé en 2018** sont la référence ; elles sont assez proches des courbes de l'OMS¹ [3].

I.2.1 Paramètres de croissance : poids, taille et IMC

I.2.1.1 La taille :

La taille est un indicateur clé de la croissance staturale d'un enfant. Elle est mesurée en position couchée pour les enfants de moins de 2 ans ou parfois 3 ans et en position debout pour les plus âgés. Les mesures sont ensuite comparées aux courbes de croissance de l'OMS ou du pays pour déterminer si l'enfant se développe normalement. Une taille inférieure aux normes peut indiquer un retard de croissance, tandis qu'une taille supérieure peut signaler une croissance excessive² [4].

Il faut préciser tout d'abord que les mesures doivent être effectuées à la même heure et mieux le matin.

- **Horizontalement (0–3 ans)** : la toise est placée à l'horizontale. Elle comporte, à une extrémité, une planche verticale fixe servant d'appui pour la tête, et à l'autre extrémité, une planche verticale mobile coulissant le long d'un ruban métrique, contre laquelle vient s'appuyer la plante du pied.
- **Verticalement (à partir de 3 ans)** : la toise doit être rigoureusement verticale, avec une équerre parfaitement horizontale reposant sur le sommet du crâne. L'enfant doit avoir quatre points d'appui sur le plan de mesure (talons joints, fesses, épaules, occiput). La mesure s'effectue idéalement à deux personnes : l'une maintient la tête, l'autre les genoux et les pieds.
- **Cas particulier des patients avec déformations** : il faut préciser si la mesure est réalisée en position verticale ou horizontale. En présence de déformations ou contractures, d'autres mesures sont utilisées : hauteur au genou (*kneeometry*), longueur tibiale, longueur du bras. Ces paramètres sont fortement corrélés à la taille ($r = 0,97$).

¹ <https://www.pedia-univ.fr/deuxieme-cycle/referentiel/croissance-developpement/chapitre-1-items-53-243-croissance-normale-pathologique>

² [Taille des enfants : normes et courbes de croissance | LMGL](#)

Chapitre I Généralités sur la croissance de l'enfant et les dispositifs médicaux utilisés

On peut calculer la taille théorique :

La formule :

Taille théorique (cm) = [Âge (années) × 6] + 80
--

Est une approximation utilisée en pédiatrie pour estimer rapidement la taille d'un enfant.

- À 1 an, un enfant mesure en moyenne 80 cm → d'où la constante « 80 », Ensuite, la croissance moyenne est d'environ 6 cm par an jusqu'à la puberté → d'où le « × 6 ».

Voici une application numérique :

$$1 \text{ an : Taille théorique} = [1 \times 6] + 80 = 86 \text{ cm}$$

$$5 \text{ ans : Taille théorique} = [5 \times 6] + 80 = 110 \text{ cm}$$

Cette formule :

- S'applique surtout entre 2 et 12 ans (n'est pas valable pour les nourrissons ni après la puberté).
- Donne une valeur approximative : chaque enfant peut varier selon son sexe, son patrimoine génétique ou son état de santé.
- Sert comme repère pratique en consultation, mais ne remplace pas la mesure réelle avec la toise.

Quelques repères de croissance (selon les références OMS)

- Nouveau-né à terme : taille moyenne \approx 50 cm.
- De la naissance à 1 an : croissance rapide, +25 à 30 cm → taille \approx 75 cm à 1 an.
- De 1 à 2 ans : +12 cm → taille \approx 87 cm à 2 ans.
- De 2 à 5 ans : +6 à 8 cm/an → taille \approx 110 cm à 5 ans.
- De 6 à 10 ans : croissance régulière, +5 à 6 cm/an (semblable chez filles et garçons).
- De 10 à 18 ans : croissance liée à la puberté, variable selon le sexe :
 - Filles : pic plus précoce (10–12 ans), +8 à 10 cm/an, puis ralentit.
 - Garçons : pic plus tardif (12–14 ans), +9 à 12 cm/an, puis ralentit.

Chapitre I Généralités sur la croissance de l'enfant et les dispositifs médicaux utilisés

I.2.1.2 Poids :

Le poids reflète l'état nutritionnel de l'enfant. Des mesures régulières permettent de détecter des problèmes tels que la malnutrition ou le surpoids. Le poids est comparé aux normes de l'OMS pour évaluer si l'enfant est dans une plage de poids saine pour son âge et sa taille.

Il n'est pas inutile d'insister sur le poids, pour rappeler la nécessité d'une méthode rigoureuse, que la banalité de la mesure fait parfois négliger notamment en ce qui concerne la qualité de matériel [5].

Il faut utiliser une balance correctement tarée et suffisamment précise. Jusqu'à 10-12 kg, on utilise le "pèse-bébé". Au-delà, il faut utiliser la balance, curseur avec poids mobile. L'enfant doit être pesé nu, de préférence le matin, et chez les grands enfants, après évacuation des selles et des urines.

Le nouveau-né normal pèse environ 3000-3500 g. Il existe une perte de poids physiologique pendant les premiers jours de vie qui ne doit pas excéder 10% du poids du corps. Le poids de naissance double à 5 mois et triple à 1 an.

Pendant la 2ème année, le poids progresse de 2,5 à 3 kg, puis 2 kg par an jusqu'à la puberté. [5]

La formule :

$$\text{Poids théorique (kg)} = [\text{âge (années)} \times 2] + 8$$

Est une approximation utilisée en pédiatrie pour estimer rapidement le poids d'un enfant.

Voici une application numérique :

$$1 \text{ an : Poids théorique} = [1 \times 2] + 8 = 10 \text{ kg}$$

$$5 \text{ ans : Poids théorique} = [5 \times 2] + 8 = 18 \text{ kg}$$

Quelques chiffres à retenir :

- De 0 à 6 mois : gain hebdomadaire de 140–200 g.
- Poids de naissance doublé à 4–6 mois.
- De 6 mois à 18 mois : gain hebdomadaire de 85–140 g.
- Poids de naissance triplé à 1 an.
- De 18 mois à 3 ans : gain annuel de 2–3 kg.
- De 3 à 6 ans : gain annuel moyen de 1,8–2,7 kg.
- De 6 à 12 ans : gain annuel moyen de 1,8–2,7 kg.
- Filles (10–14 ans) : gain moyen de 17,5 kg.
- Garçons (12–16 ans) : gain moyen de 23,7 kg [7].

Chapitre I Généralités sur la croissance de l'enfant et les dispositifs médicaux utilisés

I.2.1.3 IMC :

L'Indice de Masse Corporelle (IMC), aussi appelé Body Mass Index (BMI) en anglais, est une mesure ancienne. Elle a été développée au milieu du 19^{ème} siècle par le statisticien belge Adolphe Quételet. À l'époque, il était connu sous le nom d'Indice Quételet, est une formule mathématique qui met en relation la masse d'une personne et sa taille. Cette relation est exprimée par la formule.

La formule :

$$\text{IMC} = \frac{\text{POIDS (kg)}}{(\text{Taille}) * (\text{Taille})} = \text{IMC (kg/m}^2\text{)} = \text{Poids (kg)} \div [\text{Taille (m)}]^2$$

L'IMC est principalement utilisé comme outil de dépistage pour déterminer si une personne est en sous-poids, à un poids normal, en surpoids ou obèse. Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), les catégories d'IMC sont définies comme suit :

- Sous-poids : IMC < 18,5
- Poids normal : IMC de 18,5 à 24,9
- Sur poids : IMC de 25 à 29,9
- Obésité de classe I : IMC de 30 à 34,9
- Obésité de classe II : IMC de 35 à 39,9
- Obésité de classe III : IMC ≥ 40

Il est important de noter que l'IMC est un indicateur général de risques pour la santé liés au poids, mais il ne mesure pas directement la graisse corporelle. Par conséquent, il peut ne pas refléter fidèlement la santé ou le bien-être d'un individu, notamment chez les sportifs avec une masse musculaire importante ou les personnes âgées qui peuvent avoir une diminution de la masse musculaire [8].

I.2.2 Importance du suivi régulier :

La croissance de l'enfant a toujours servi à évaluer son état de santé et son bien-être. L'évolution de cette croissance, dans le temps, constitue un excellent baromètre pour repérer l'existence de changements des conditions de vie. La surveillance de la croissance de l'enfant contribue à confirmer sa croissance et son développement sains ou à repérer rapidement d'éventuels troubles nutritionnels ou de santé. L'évaluation de la croissance est le moyen le plus utile pour définir l'état de santé et l'état nutritionnel, tant de l'individu que de la population. Cette évaluation nécessite l'utilisation d'indicateurs qui, correctement analysés et interprétés, permettront de décider de la mise en place de stratégies ou d'activités destinées à améliorer l'état de santé des individus. L'évaluation de l'état nutritionnel d'un individu ou d'une collectivité nécessite l'utilisation d'indicateurs qui, correctement analysés et interprétés permettront de décider de la mise en place de stratégies ou de l'évolution d'activités destinées à améliorer l'état nutritionnel. D'après de Onis et Habicht (1996), l'évaluation de la croissance est l'outil le plus utile pour définir l'état de santé et l'état nutritionnel de l'enfant, tant au point de vue individuel que

Chapitre I Généralités sur la croissance de l'enfant et les dispositifs médicaux utilisés

démographique. En effet, les perturbations de la santé et de la nutrition, quelle que soit leur étiologie, influent presque toujours sur la croissance. L'évaluation de l'état nutritionnel peut être clinique, biologique ou anthropométrique.

Selon Jelliffe et Jelliffe (1969), l'anthropométrie nutritionnelle a pour objet la mesure des variations affectant les dimensions et l'architecture du corps humain, selon l'âge et l'état de nutrition. Ces mesures sont universellement standardisées et se réfèrent à des courbes de croissance internationales. L'anthropométrie a été largement et avec succès appliquée à l'évaluation du risque nutritionnel et du risque pour la santé, en particulier chez l'enfant. Cette dernière méthode est la seule technique à la fois portable, universellement applicable et peu coûteuse, qui permette d'évaluer la corpulence, les proportions et la composition du corps humain. C'est donc un outil du plus grand intérêt pour orienter les politiques de santé publique et les décisions cliniques. Les mesures anthropométriques sont le reflet de l'état nutritionnel et de santé, mais peuvent aussi être utilisées pour prévoir les aptitudes, l'état de santé et la survie.

Pour le suivi de la croissance et de l'état nutritionnel des enfants et des adolescents les courbes de croissance sont nécessaires [9].

I.3 Normes et standards internationaux (OMS)

I.3.1 Les courbes de croissance :

Les courbes de croissance de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) sont des outils statistiques qui décrivent la croissance physique normale des enfants de la naissance à 5 ans, dans des conditions environnementales optimales.

La meilleure façon d'apprécier la croissance est d'utiliser des courbes de normes pour chacun des paramètres à étudier (taille, poids, etc.). On exprime la taille et le poids par rapport à l'âge, et le poids par rapport à la taille. On utilise en pratique des courbes exprimées en écarts-types ou déviations standards (D.S.), qui sont les plus utilisées dans le monde. Certaines valeurs biologiques comme la taille, pour un âge, un sexe, une ethnie donnés, se répartissent selon une courbe en cloche (courbe de Gauss) symétrique par rapport à une moyenne ou une médiane : on détermine à partir de cette moyenne des écarts-types. [6]

Déviations standards (± 1 D.S., ± 2 D.S.) :

- Entre -1 et +1 D.S. sont compris 68 % de la population ;
- Entre -2 et +2 D.S. sont compris 95 % de la population ;
- Au-dessus de +2 D.S. sont compris 2,5 % de la population ;
- Au-dessous de -2 D.S. sont compris 2,5 % de la population.

On admet habituellement que les limites des variations normales sont situées entre -2 D.S. et +2 D.S., c'est-à-dire qu'au-delà de ces chiffres, les enfants ont le plus de chances d'être « anormaux ». Les représentations graphiques les plus utilisées sont les courbes de Sempé.

Les données obtenues peuvent également être chiffrées en percentiles. Pour un paramètre donné, on peut faire une évaluation chez cent enfants du même âge, de même sexe, de même ethnie, classés par ordre croissant (la médiane est le 50e percentile) : 50% des enfants se situent au-dessous de cette médiane et 50 % au-dessus de celle-ci. Une population normale (94 %) se

Chapitre I Généralités sur la croissance de l'enfant et les dispositifs médicaux utilisés

situerait entre le 3^e et le 97^e percentile. Cette méthode de référence apparaît la plus appropriée pour le poids. Au cours des examens habituels de l'enfant, on devra, en l'absence de courbes de croissance, se souvenir de quelques chiffres repères [11].

Elles permettent de détecter des problèmes de croissance, tels que la malnutrition ou l'obésité, et d'intervenir en conséquence. Les courbes sont également utilisées pour surveiller l'efficacité des programmes de santé publique visant à améliorer la nutrition et la santé des enfants.

Les courbes de croissance de l'OMS sont importantes car elles fournissent une référence universelle pour évaluer la croissance des enfants, indépendamment de leur origine ethnique, de leur statut socio-économique ou de leur mode d'alimentation. Elles permettent de détecter précocement des problèmes de santé et de mettre en place des interventions appropriées. De plus, elles sont utilisées pour suivre les progrès des initiatives de santé publique à l'échelle mondiale [12].

Chapitre I Généralités sur la croissance de l'enfant et les dispositifs médicaux utilisés

I.3.2 Présentation des courbes de croissance OMS :

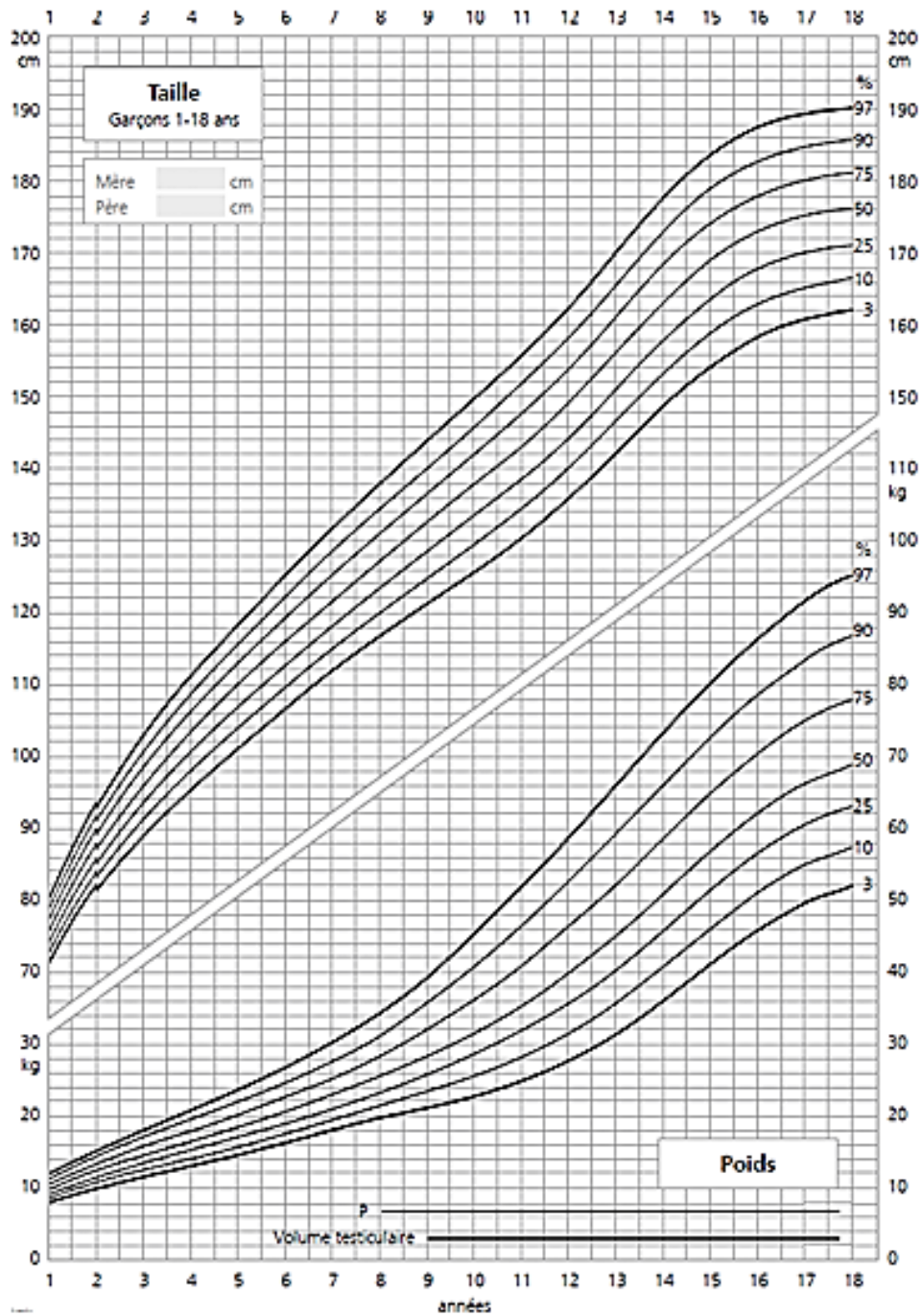


Figure 1: courbe de taille/poids chez les garçons (0-18 ans)

Chapitre I Généralités sur la croissance de l'enfant et les dispositifs médicaux utilisés

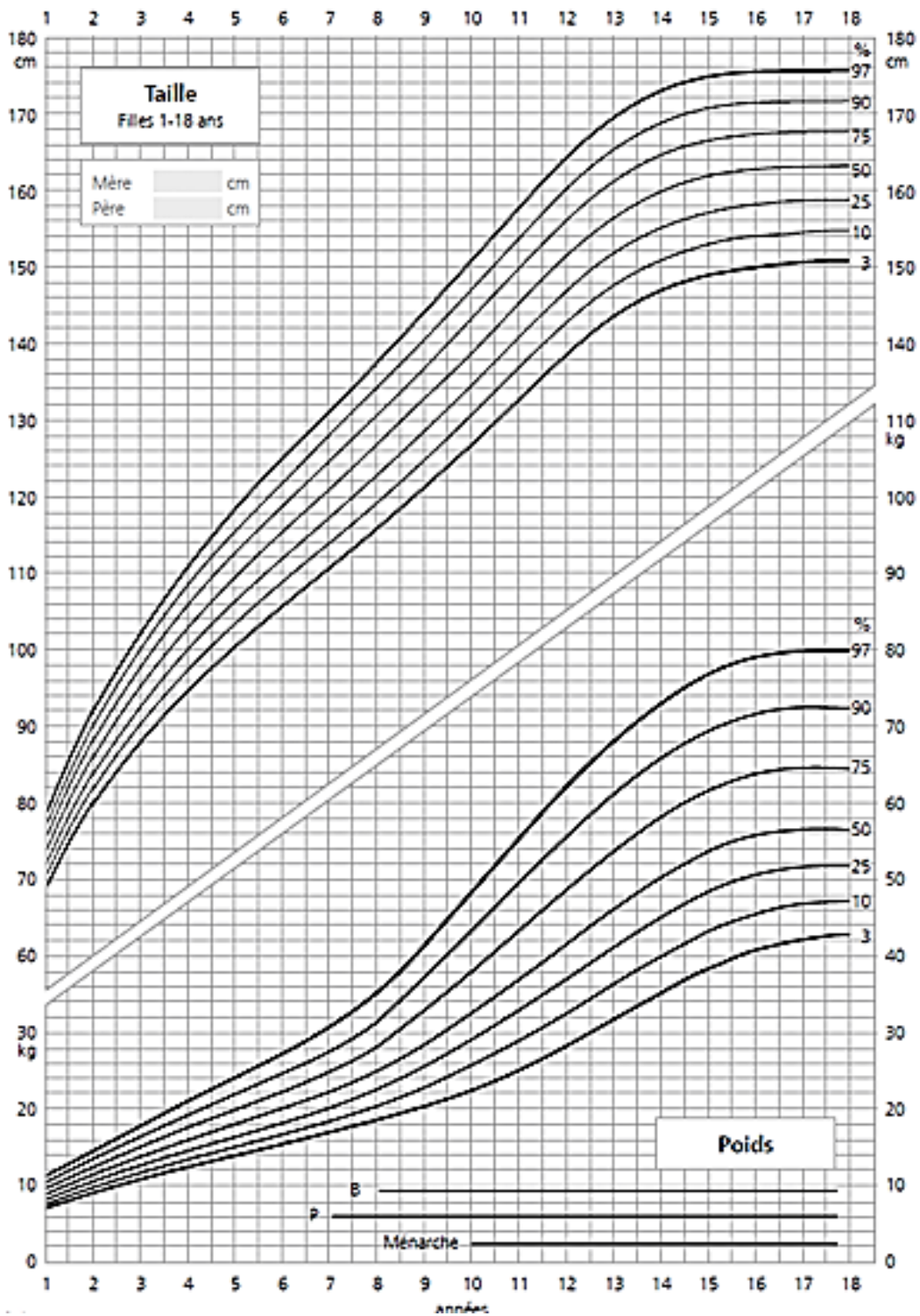


Figure 2: courbe de taille/poids chez les filles (0-18 ans)

Chapitre I Généralités sur la croissance de l'enfant et les dispositifs médicaux utilisés

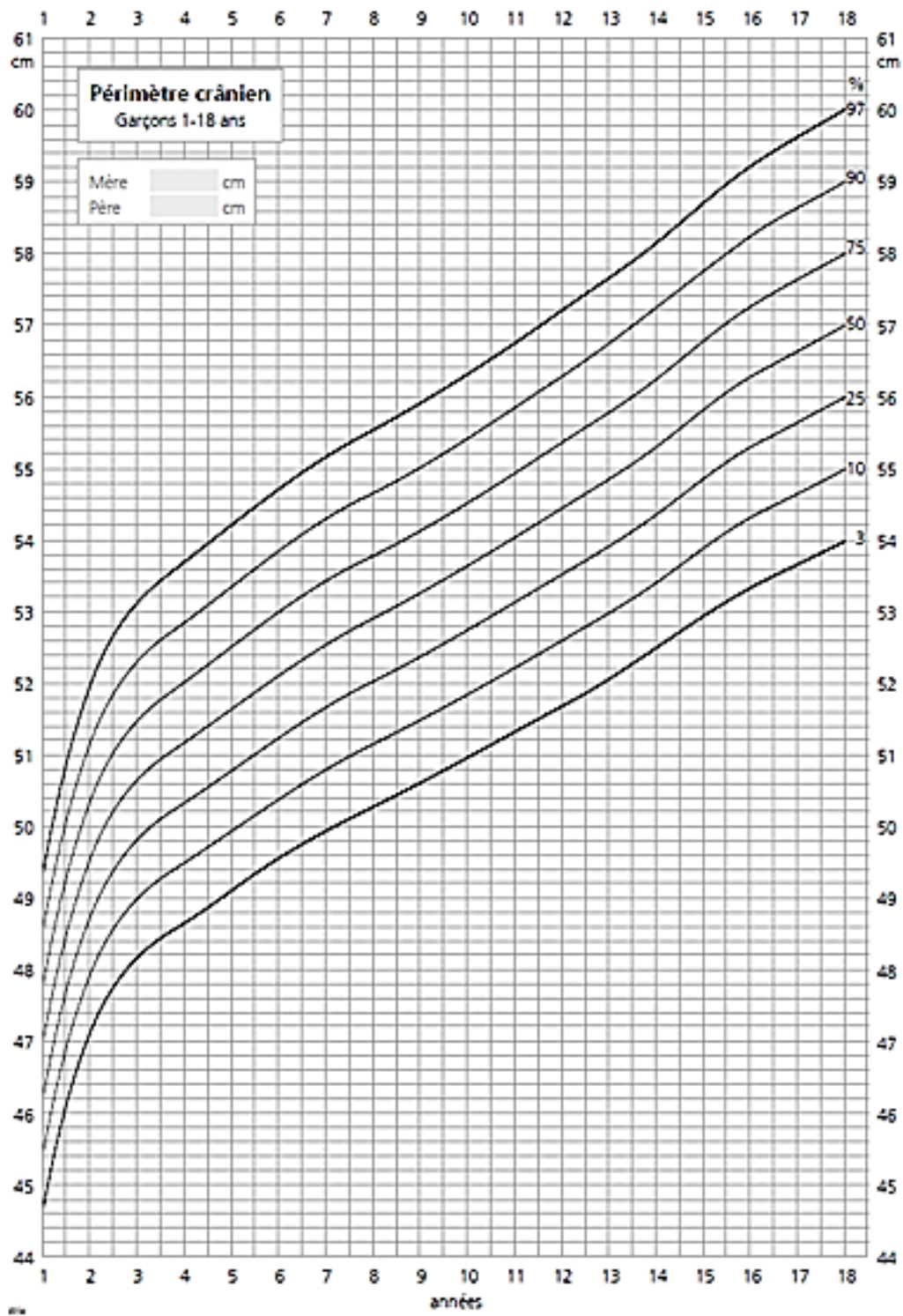


Figure 3: courbe de périmètre crânien (PC) chez les garçons (0-18 ans)

Chapitre I Généralités sur la croissance de l'enfant et les dispositifs médicaux utilisés

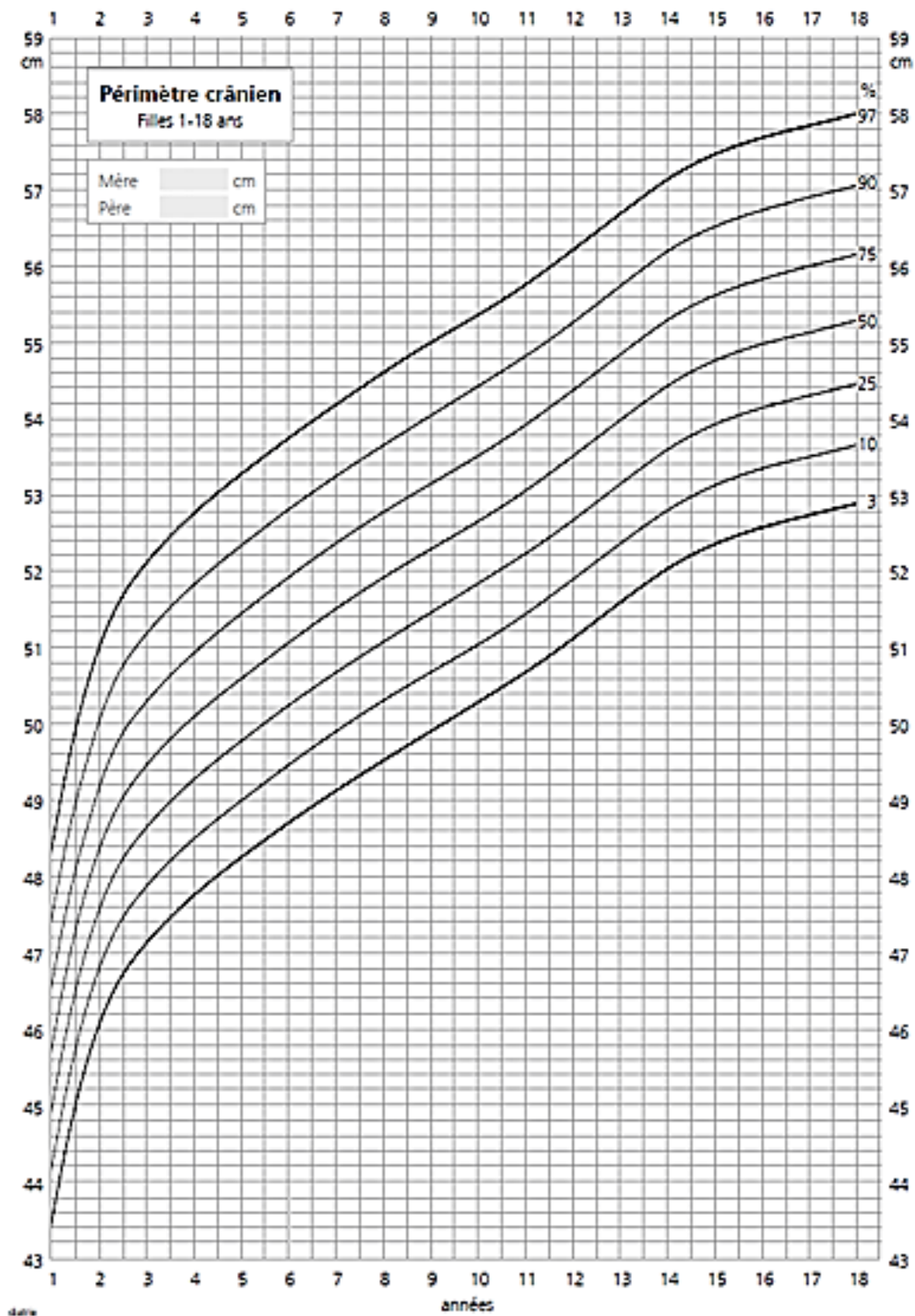


Figure 4: courbe de périmètre crânien (PC) chez les filles (0-18 ans) [13]

Chapitre I Généralités sur la croissance de l'enfant et les dispositifs médicaux utilisés

I.3.3 Critères d'évaluation et seuils cliniques

I.3.3.1 Les valeurs seuils et la terminologie recommandées :

Les valeurs seuils des mesures anthropométriques sont conçues pour orienter une évaluation, un aiguillage ou une intervention plus approfondie. Il ne faut pas s'en servir comme critères diagnostiques. Il faut toujours tenir compte des profils longitudinaux de croissance lorsqu'on applique des valeurs seuils. Les critères de valeurs seuils sont divisés comme suit : de la naissance à deux ans, de deux à cinq ans et de cinq à 19 ans. Les critères de valeurs seuils recommandés pour déterminer l'embonpoint et l'obésité diffèrent pour les enfants de la naissance à cinq ans et ceux de cinq à 19 ans [14].

De la naissance à 2 ans

État de croissance	Indicateur	Percentile	Écarts réduits (valeurs approximatives)
Insuffisance pondérale	Poids pour l'âge	Moins du 3 ^e	< -2
Grave insuffisance pondérale	Poids pour l'âge	Moins du 0,1 ^e	< -3
Arrêt de croissance ^b	Longueur pour l'âge	Moins du 3 ^e	< -2
Grave arrêt de croissance	Longueur pour l'âge	Moins du 0,1 ^e	< -3
Cachexie ^c	Poids pour la longueur	Moins du 3 ^e ou 89 % et moins du poids idéal ^d	< -2
Grave cachexie	Poids pour la longueur	Moins du 0,1 ^e	< -3
Risque d'embonpoint	Poids pour la longueur	Plus du 85 ^e	> 1
Embonpoint ^e	Poids pour la longueur	Plus du 97 ^e	> 2
Obésité ^f	Poids pour la longueur	Plus du 99,9 ^e	> 3
Circonférence crânienne ^g	Circonférence crânienne	Moins du 3 ^e ou plus du 97 ^e percentile	< -2 ou > 2

Tableau 1: Classification des états de croissance et de malnutrition chez l'enfant

L'analyse des courbes de croissance permet de distinguer plusieurs types de situations cliniques. Un poids situé en dessous de la troisième ligne du carnet de santé traduit un retard pondéral, dont la gravité augmente à mesure que l'écart se creuse. De la même manière, une taille inférieure à cette limite témoigne d'un retard statural pouvant signaler un problème de santé sous-jacent. Lorsqu'un enfant présente un rapport poids/taille anormalement faible, on parle de dénutrition, et les formes sévères constituent une urgence médicale. À l'inverse, un poids excessif par rapport à la taille indique un surpoids ou une obésité, qui nécessitent une surveillance rapprochée afin de prévenir les complications métaboliques futures. Enfin, des anomalies du périmètre crânien, qu'il soit inférieur ou supérieur aux normes, peuvent refléter une atteinte du développement cérébral ou une pathologie neurologique.

Chapitre I Généralités sur la croissance de l'enfant et les dispositifs médicaux utilisés

La réalisation régulière de ces mesures anthropométriques est essentielle, car elle permet non seulement de dépister précocement d'éventuels retards de croissance, mais aussi d'adapter la prise en charge nutritionnelle et médicale de l'enfant. Ce suivi systématique constitue ainsi un outil fondamental de prévention et de diagnostic précoce en pédiatrie.

De 2 à 19 ans

État de croissance	Indicateur	2 à 5 ans		5 à 19 ans	
		Percentile	Écarts réduits (approx.)	Percentile	Écarts réduits (approx.)
Insuffisance pondérale	Poids pour l'âge ^a	Moins du 3 ^e	< -2	Moins du 3 ^e	< -2
Grave insuffisance pondérale	Poids pour l'âge ^a	Moins du 0,1 ^e	< -3	Moins du 0,1 ^e	< -3
Arrêt de croissance ^b	Taille pour l'âge	Moins du 3 ^e	< -2	Moins du 3 ^e	< -2
Grave arrêt de croissance	Taille pour l'âge	Moins du 0,1 ^e	< -3	Moins du 0,1 ^e	< -3
Cachexie ^c	IMC pour l'âge	Moins du 3 ^e	< -2	Moins du 3 ^e	< -2
Grave cachexie	IMC pour l'âge	Moins du 0,1 ^e	< -3	Moins du 0,1 ^e	< -3
Risque d'embonpoint	IMC pour l'âge	Plus du 85 ^e	> 1	n.a. ^h	n.a. ^h
Embonpoint ^e	IMC pour l'âge	Plus du 97 ^e	> 2	Plus du 85 ^e	> 1
Obésité ^f	IMC pour l'âge	Plus du 99,9 ^e	> 3	Plus du 97 ^e	> 2
Obésité grave	IMC pour l'âge	n.a. ^h	n.a. ^h	Plus du 99,9 ^e	> 3

Tableau 2: Classification de l'état nutritionnel des enfants et adolescents de 2 à 19 ans selon l'OMS

Lorsque la croissance s'écarte significativement des normes établies, plusieurs situations cliniques peuvent être observées. Une insuffisance pondérale marquée traduit un état de maigreur pouvant évoluer vers une dénutrition, dont la sévérité dépend de l'écart par rapport aux courbes de référence. De même, un retard statural correspond à une taille inférieure aux seuils attendus pour l'âge et le sexe de l'enfant ; il peut résulter de déficits hormonaux, de pathologies chroniques ou encore de facteurs héréditaires liés à la taille des parents. À l'opposé, un excès pondéral ou une obésité sont identifiés par le calcul de l'Indice de Masse Corporelle (IMC), dont les seuils diffèrent selon l'âge : entre 2 et 5 ans, un IMC élevé traduit déjà une situation de surpoids, tandis qu'entre 5 et 19 ans, les catégories vont du surpoids simple à l'obésité sévère en fonction du degré d'élévation. La sévérité de l'interprétation est renforcée chez les plus jeunes enfants, car les répercussions nutritionnelles et métaboliques y sont plus rapides et plus graves. Ainsi, la surveillance anthropométrique régulière demeure indispensable pour détecter précocement ces écarts et instaurer une prise en charge adaptée.

Chapitre I Généralités sur la croissance de l'enfant et les dispositifs médicaux utilisés

I.4 Méthodes de mesure classiques

I.4.1 Les méthodes traditionnelles :

I.4.1.1 Les toises médicales :

La toise est un instrument de mesure de la taille d'un individu que ce soit un adulte, un enfant ou un nourrisson. Cette dernière est utilisée dans les hôpitaux, les cabinets médicaux et les cabinets pédiatriques par les professionnels du domaine médical comme par les particuliers. La toise de mesure permet au médecin de déterminer avec précision la taille du patient, dans le but de contrôler sa croissance physique afin de diagnostiquer d'éventuels problèmes de santé. Il existe différents types de toises : toise murale, toise télescopique, toise périmétrique, toise bébé, mètre ruban. La toise de mesure doit se choisir selon plusieurs critères notamment le patient auquel elle est destinée, la simplicité d'utilisation et la rapidité de mesure

La toise est très souvent utilisée dans le cadre du suivi de la croissance de l'enfant. Dès la naissance du bébé, les sages-femmes utilisent la toise pour le mesurer.

Ensuite, tout au long du développement du bébé, sa taille est mesurée pour vérifier sa bonne santé. Car un bébé qui grandit régulièrement en suivant une courbe de poids normale est un bébé qui va bien.

La toise est également utilisée pour les adolescents et les adultes pendant les visites médicales organisées par les écoles ou par les entreprises. [15].

Comment mesurer la taille d'un enfant ?

- **Enfant moins de 2 ans:** on mesure sa taille en position couchée ou allongée à l'aide d'une **toise en bois** placée sur une surface stable. La tête de bébé doit être maintenue contre la partie fixe et regarder vers le haut. Ensuite lui maintenir les jambes et de déplacer la partie mobile jusqu'à toucher la plante des pieds.
- **Enfant plus de 2 ans :** on mesure sa taille en position debout, à l'aide d'une **toise murale**. Avant de commencer, il faut enlever les chaussures, l'enfant doit être en position debout contre la partie verticale de la toise. L'arrière de sa tête, ses fesses et ses mollets doivent être au contact de la partie verticale [16].

Le bon choix d'une toise médicale :

- La toise électronique

Grâce à sa graduation précise, au millimètre près, la toise électronique permet une mesure numérique fiable. Certaines d'entre elles sont équipées de techniques de mesures à ultrasons et d'un affichage LCD avec rétro-éclairage, offrant un grand confort de lecture. Sa manipulation est aisée et rapide. Elle peut aussi présenter l'avantage d'être pliable et par conséquent être facilement transportable. Pour l'utiliser, il suffit de se positionner correctement, debout bien droit, grâce au talon de butée. Ensuite, il ne reste plus qu'à descendre le butoir jusqu'à qu'il vienne toucher la tête. Un signal sonore retentit lorsque la mesure est réalisée. Sur certaines toises électroniques, il est possible de transférer les données sans fil ou à l'aide d'un port USB pour ensuite les analyser.

Chapitre I Généralités sur la croissance de l'enfant et les dispositifs médicaux utilisés

- **La toise en bois**

Très solides, les toises en bois sont utiles dans la durée. En position debout pour les enfants et les adultes ou en position allongée pour les nourrissons, les toises en bois peuvent mesurer toutes les corpulences.

- **La toise murale**

Le plus souvent utilisée pour une mesure de grande précision, grâce à sa graduation au millimètre, cette toise nécessite d'être accrochée à un mur. Qu'elles soient fixes ou munies d'un dérouleur, elles sont peu encombrantes et très pratiques [17].

I.4.1.2 Les Balances médicales :

Les balances médicales sont des dispositifs de mesure utilisés dans le domaine de la santé pour déterminer le poids corporel des patients avec une grande précision. Contrairement aux balances domestiques, ces instruments sont conçus pour répondre à des exigences strictes de fiabilité, de sécurité et de conformité aux normes médicales et métrologiques. Leur conception prend en compte non seulement l'exactitude des mesures, mais aussi des aspects pratiques comme l'ergonomie, l'hygiène, la durabilité et la facilité d'intégration dans un environnement clinique. Elles sont utilisées quotidiennement dans les hôpitaux, les cliniques, les cabinets médicaux, les maisons de retraite ou encore au domicile des patients, dans le cadre du suivi de santé général ou de traitements spécifiques.

Le choix d'une balance médicale : elle doit répondre à des critères techniques et fonctionnels bien définis. Le premier critère est la précision de la mesure, exprimée en grammes ou en fractions de kilogrammes. En milieu hospitalier, une précision de l'ordre de 100 à 200 g est souvent requise, tandis que pour les nourrissons, une précision au gramme près peut être nécessaire. La capacité maximale varie également selon les modèles : une balance pédiatrique peut mesurer jusqu'à 20 kg, alors qu'une balance adulte peut supporter 150 à 300 kg, voire plus pour les modèles destinés aux personnes obèses. La lisibilité de l'écran, le temps de stabilisation, la robustesse du plateau, la facilité de nettoyage, et la mobilité (roues, poignées) sont d'autres éléments à prendre en compte.

Les balances médicales peuvent être classées selon leur usage spécifique. On distingue par exemple :

- Les balances pédiatriques, conçues pour peser les nourrissons et jeunes enfants, souvent dotées d'un plateau incurvé pour sécuriser le bébé ;
- Les balances à colonne, utilisées dans la plupart des cabinets médicaux, souvent combinées à une toise pour mesurer la taille ;
- Les balances avec fauteuil intégré, destinées aux patients à mobilité réduite ou alités ;
- Les balances à plateforme large, adaptées aux personnes obèses ;
- Les balances connectées, qui transmettent les données via WiFi ou Bluetooth vers des dossiers médicaux électroniques, ce qui facilite la traçabilité et le suivi à distance.

Chapitre I Généralités sur la croissance de l'enfant et les dispositifs médicaux utilisés

Pour être utilisées dans un contexte médical, ces balances doivent respecter des normes réglementaires strictes. En Europe par exemple, les balances médicales relèvent de deux cadres juridiques principaux : la directive 2014/31/UE sur les instruments de pesage à fonctionnement non automatique (NAWI) et le Règlement (UE) 2017/745 sur les dispositifs médicaux (remplaçant la directive 93/42/CEE). Elles doivent aussi se conformer à la norme EN 45501, qui définit les exigences métrologiques et les essais pour les balances soumises à la métrologie légale. En pratique, cela implique que la balance doit être homologuée, vérifiée périodiquement par un organisme agréé, et marquée CE avec la mention de conformité aux normes médicales.

Par ailleurs, dans un contexte de digitalisation croissante des soins, de nombreuses balances sont aujourd'hui équipées de capteurs intelligents (jauge de contrainte, capteurs de pression) et sont capables de communiquer avec des systèmes informatisés. Cela permet une centralisation des données dans les systèmes hospitaliers (DPI) ou dans des applications de suivi à domicile, en particulier dans les dispositifs de télémédecine. Ce progrès technologique oblige cependant à prendre en compte des aspects supplémentaires comme la cyber sécurité, la confidentialité des données de santé, et l'interopérabilité avec les systèmes existants.

Chapitre I Généralités sur la croissance de l'enfant et les dispositifs médicaux utilisés

I.4.2 Limites des dispositifs traditionnels :

De nombreux dispositifs ont été développés pour permettre la mesure automatique de la taille et du poids des individus dans les environnements médicaux. Ces dispositifs intègrent généralement des capteurs de pression pour le poids et des méthodes optiques ou à ultrasons pour la taille. Plusieurs inventions ont également proposé des interfaces d'affichage ou des solutions de traitement des données, avec des niveaux variés d'automatisation et de connectivité. Toutefois, les systèmes existants restent souvent généralistes et ne sont pas spécifiquement adaptés aux besoins du suivi pédiatrique connecté.

Bien que ces dispositifs présentent des degrés variables d'automatisation, de connectivité et d'intégration technologique, aucun ne propose une station compacte, dédiée à la pédiatrie, combinant la mesure automatique de la taille et du poids, une interface utilisateur locale simple, une transmission sans fil des données vers une base médicale, et une structure ergonomique spécifiquement adaptée aux enfants dans un contexte de suivi de croissance en milieu hospitalier. L'invention proposée se distingue donc par l'intégration de ces éléments dans une solution complète, adaptée aux besoins réels de la pédiatrie moderne.

Il convient d'examiner les équipements actuellement disponibles sur le marché. Plusieurs fabricants proposent des stations de mesure automatisées du poids et de la taille, intégrant des technologies avancées de détection et parfois des fonctions de connectivité. Toutefois, comme l'illustrent les exemples suivants, ces produits restent majoritairement conçus pour une population générale adulte, sans réelle adaptation à la pédiatrie, ni intégration complète dans un système connecté de suivi de croissance destiné aux enfants.

Le produit seca 287, développé et commercialisé par la société allemande SECA GmbH & Co. KG, représente l'un des dispositifs les plus avancés actuellement disponibles sur le marché dans le domaine de la mesure biométrique automatisée. Il s'agit d'une station professionnelle de mesure sans contact, conçue pour une utilisation en milieu médical, permettant la mesure simultanée du poids et de la taille d'un patient grâce à une combinaison de capteurs à ultrasons de haute précision et d'une balance électronique intégrée. Le système est équipé d'un assistant vocal multilingue qui guide l'utilisateur tout au long du processus de mesure, et d'un écran rétroéclairé pour l'affichage des résultats. Sa technologie de transmission sans fil seca 360° wireless permet une intégration directe avec les systèmes de dossier médical informatisé (EMR), renforçant ainsi son positionnement dans les environnements cliniques digitalisés. Disponible à l'achat sur le site officiel de SECA et chez de nombreux distributeurs spécialisés en matériel médical à travers le monde, le seca 287 est un produit commercialisé à large échelle, principalement utilisé dans les hôpitaux, cliniques privées, cabinets de médecine générale, et centres de santé publique. Toutefois, bien qu'il intègre des fonctions avancées et une connectivité professionnelle, ce dispositif reste conçu pour une population générale adulte, avec un encombrement important, une structure stationnaire, et aucune adaptation spécifique au domaine pédiatrique. Il ne répond donc pas aux exigences particulières liées à l'ergonomie, à la mobilité, ou au contexte de mesure en pédiatrie, ce qui laisse place à une innovation dédiée aux enfants dans un cadre connecté et adapté aux professionnels de santé infantile.

Chapitre I Généralités sur la croissance de l'enfant et les dispositifs médicaux utilisés

Le dispositif MS4980, développé et commercialisé par la société Charder Medical, constitue une station de mesure numérique haut de gamme, destinée au marché médical professionnel. Conçu pour une utilisation intensive en milieu hospitalier ou en centre de santé, ce produit est actuellement commercialisé à l'échelle internationale et proposé comme solution complète pour la mesure automatisée du poids et de la taille des patients. Doté d'un stadiomètre à ultrasons, d'une balance numérique intégrée et d'un écran couleur ergonomique, le MS4980 permet le calcul immédiat de l'IMC, l'identification du patient via un scanner de code-barres, ainsi que le transfert sans fil des données vers les systèmes de dossiers médicaux électroniques (EMR) via USB ou Wi-Fi. Certifié CE, OIML et FDA, il répond aux exigences réglementaires des établissements de soins modernes. L'appareil est également compatible avec les systèmes informatiques hospitaliers (Windows 7/8/10), et offre une interface conviviale optimisée pour les professionnels de santé. Toutefois, bien qu'il s'agisse d'un produit commercialement disponible, certifié et intégré dans des structures de soins avancées, le MS4980 reste un dispositif généraliste, non spécifiquement conçu pour la population pédiatrique. Il n'intègre ni ergonomie adaptée aux jeunes enfants, ni interface simplifiée pour le suivi de croissance pédiatrique, ce qui laisse un espace d'innovation ciblée pour des dispositifs connectés orientés exclusivement vers la pédiatrie.

Chapitre I Généralités sur la croissance de l'enfant et les dispositifs médicaux utilisés

I.5 Conclusion :

En conclusion, ce premier chapitre a permis de mettre en évidence l'importance de la croissance comme indicateur fondamental de l'état de santé et du développement global de l'enfant. L'analyse des paramètres de base tels que la taille, le poids et l'IMC, associés aux normes et courbes de croissance établies par l'OMS, souligne la nécessité d'un suivi régulier et rigoureux pour prévenir les anomalies nutritionnelles ou pathologiques. L'examen des dispositifs médicaux actuellement disponibles montre toutefois que, malgré des avancées notables en termes de précision et de connectivité, les solutions existantes demeurent principalement conçues pour une population générale adulte et ne répondent pas pleinement aux besoins spécifiques de la pédiatrie. Ainsi, la réflexion menée dans ce chapitre justifie l'intérêt de développer un système innovant, compact et connecté, spécifiquement adapté au suivi de la croissance infantile, afin d'améliorer la prise en charge pédiatrique dans un contexte de santé publique moderne



Chapitre II : **Conception de la partie électronique**

II. Chapitre II conception de la partie électronique

II.1 Introduction

Dans ce deuxième chapitre, nous allons nous concentrer sur la partie électronique du système de gestion du service médical en pédiatrie. Nous expliquerons les étapes de conception, le choix des composants, et la façon dont ils sont connectés entre eux. L'objectif est de présenter clairement les différents capteurs et modules utilisés, ainsi que leurs liaisons avec la carte Raspberry Pi.

Nous commencerons par décrire les caractéristiques techniques des principaux composants : le capteur à ultrasons SR-HC04 pour mesurer la taille, le module de pesée HX711, la caméra pour lire les codes QR, l'écran pi Tactile, ainsi que des éléments complémentaires comme l'horloge temps réel (RTC), le bouton-poussoir et le buzzer sonore. Puis, nous montrerons comment ces éléments sont reliés dans le système grâce à des schémas simples.

Ce chapitre expliquera aussi comment programmer ces composants sur la Raspberry Pi, gérer les capteurs, l'interaction avec l'utilisateur via l'écran et les boutons, et produire des alertes sonores. Nous présenterons les tests réalisés sur chaque module et les résultats obtenus, qui prouvent la précision et la fiabilité du système.

II.2 Architecture matérielle

II.2.1 Description générale de l'architecture matérielle

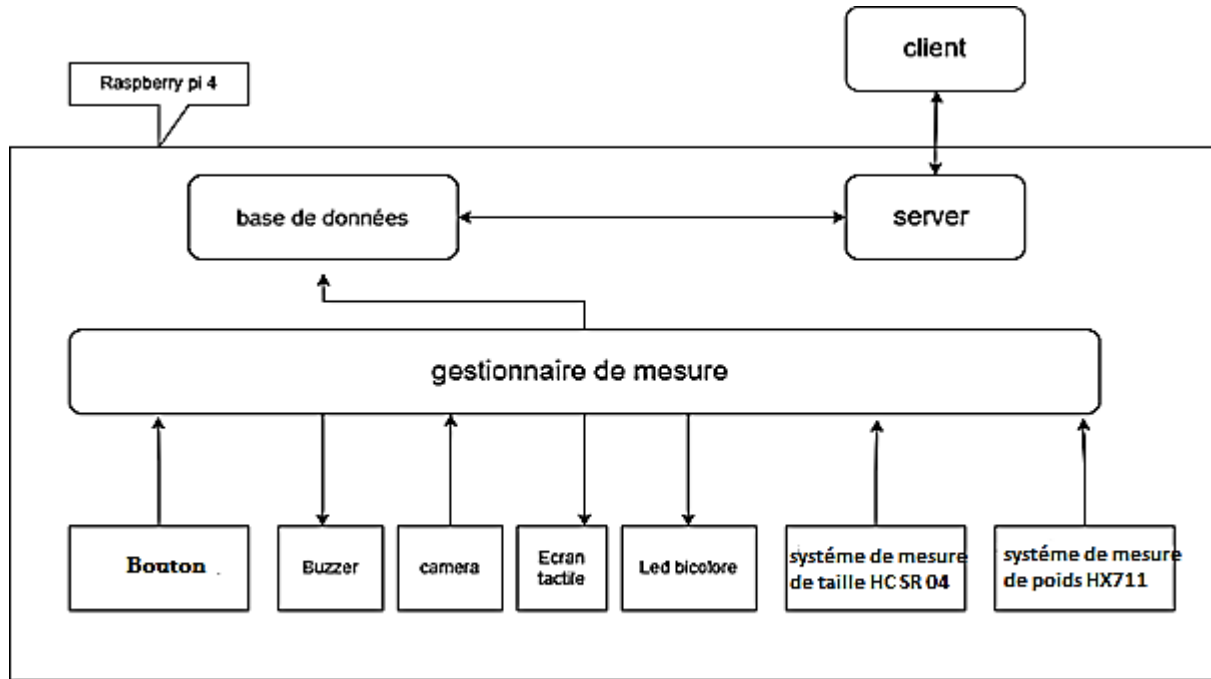


Figure 5: schéma bloc de la station de mesure pédiatrique

Le schéma global illustre l'architecture du système de mesure pédiatrique. Au centre, le **Raspberry Pi 4** assure la coordination entre différents modules matériels regroupés sous le gestionnaire de mesure (boutons, buzzer, caméra, écran tactile, LED bicolore, capteur de taille et capteur de poids). Les informations collectées et traitées transitent vers une base de données, permettant leur organisation et leur conservation. Cette base de données communique avec un **serveur**, lequel établit ensuite l'interaction avec un client externe. Ainsi, le schéma met en évidence une structure hiérarchisée où les capteurs et interfaces locales alimentent un système central, qui assure ensuite la mise à disposition des données au client via un serveur.

II.2.2 Raspberry Pi :

II.2.2.1 Présentation de Raspberry pi 4 :

Le Raspberry Pi est un ordinateur monocarte de petite taille, conçu initialement par la Raspberry Pi Foundation dans le but de rendre l'apprentissage de l'informatique et de la programmation accessible au plus grand nombre. Depuis sa première commercialisation en 2012, ce dispositif a connu un succès considérable, en raison de sa faible consommation énergétique, de son coût réduit et de sa grande flexibilité d'utilisation.

Il s'agit d'un nano-ordinateur à architecture ARM, capable d'exécuter un système d'exploitation complet basé sur Linux. Malgré ses dimensions compactes, le Raspberry Pi intègre l'ensemble des composants nécessaires au fonctionnement d'un ordinateur conventionnel : processeur, mémoire vive, ports d'entrées/sorties, interfaces de communication et stockage. Grâce à sa polyvalence, il constitue aujourd'hui une solution privilégiée pour la conception de systèmes embarqués, de projets domotiques, de stations de mesure, ou encore de dispositifs biomédicaux connectés.

Architecture matérielle

Sur le plan matériel, le Raspberry Pi regroupe sur une seule carte électronique plusieurs modules essentiels :

- **Processeur (CPU) :** le cœur de calcul est un microprocesseur ARM Cortex-A72 quadricœur cadencé à 1,5 GHz (pour le modèle Raspberry Pi 4). Il assure l'exécution des instructions et le traitement des données en temps réel.
- **Mémoire vive (RAM) :** elle stocke temporairement les programmes et les données en cours d'utilisation. Les modèles récents offrent des capacités allant de 2 à 8 Go, selon les besoins applicatifs.
- **Stockage :** le système d'exploitation et les fichiers utilisateurs sont hébergés sur une carte microSD, servant de mémoire de masse.
- **Interfaces de communication :** le Raspberry Pi intègre plusieurs interfaces standard, telles que les ports USB, HDMI, Ethernet, le Wi-Fi et le Bluetooth, facilitant la connexion à des périphériques externes ou à un réseau.
- **Broches GPIO (General Purpose Input/Output) :** la carte dispose de 40 broches configurables individuellement comme entrées ou sorties numériques. Ces dernières permettent la connexion directe à des capteurs, actionneurs ou modules électroniques externes, rendant le Raspberry Pi particulièrement adapté aux applications de mesure et de contrôle.

II.2.2.2 Système d'exploitation et environnement logiciel

Le système d'exploitation le plus couramment utilisé sur cette plateforme est le Raspberry Pi OS (anciennement Raspbian), dérivé de Debian Linux et optimisé pour l'architecture ARM. Il offre un environnement complet et stable pour le développement d'applications en Python, C/C++ ou Java.

Python est le langage le plus employé sur cette plateforme, en raison de sa simplicité syntaxique et de la disponibilité de nombreuses bibliothèques dédiées au contrôle des broches GPIO, à la communication série, et au traitement des données issues de capteurs. Cette flexibilité logicielle permet au Raspberry Pi d'être intégré dans une grande variété de projets embarqués, allant des systèmes éducatifs aux dispositifs médicaux connectés.

II.2.2.3 Interfaces de communication

Le Raspberry Pi prend en charge plusieurs protocoles de communication standards, essentiels dans les systèmes électroniques embarqués :

- UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) : pour la communication série entre microcontrôleurs.
- I²C (Inter-Integrated Circuit) : bus de communication à deux fils utilisé pour relier des capteurs, des afficheurs LCD ou d'autres composants à faible vitesse.
- SPI (Serial Peripheral Interface) : interface rapide pour les périphériques nécessitant un débit élevé, tels que les convertisseurs analogique-numérique.
- USB, Ethernet et Wi-Fi : pour la communication à haut niveau, la connexion à Internet ou à des bases de données externes.

Ces interfaces garantissent une intégration aisée du Raspberry Pi dans des architectures complexes où la collecte, le traitement et la transmission de données sont essentiels.

II.2.2.4 Avantages et limites

Avantages :

- Faible coût et accessibilité.
- Consommation énergétique réduite, adaptée aux systèmes autonomes.
- Compatibilité étendue avec de nombreux capteurs et modules.
- Écosystème logiciel riche et communauté active facilitant le développement.

Limites :

- Puissance de calcul limitée face aux ordinateurs classiques.
- Dépendance à la carte microSD, dont la durabilité peut être restreinte.
- Surchauffe potentielle en cas d'utilisation intensive sans dispositif de refroidissement.
- Sensibilité aux coupures d'alimentation, pouvant entraîner la corruption du système.

II.2.2.5 Application dans le système de mesure pédiatrique connecté

Dans le cadre de la conception d'une station de mesure pédiatrique connectée, le Raspberry Pi 4 joue le rôle d'unité centrale de commande et de traitement. Il assure la gestion des capteurs, le calcul des mesures, ainsi que la communication avec la base de données et l'interface utilisateur.

Le fonctionnement général peut être décrit comme suit :

- Acquisition des données : les capteurs de distance (HC-SR04) et de poids (HX711) transmettent leurs mesures au Raspberry Pi via les broches GPIO.
- Traitement des signaux : les données sont traitées, filtrées et moyennées afin de garantir la précision des résultats.

II.3 Présentation des composants matériels

II.3.1 Capteur à ultrasons SR-HC04 (mesure de la taille) :

II.3.1.1 Définition :

Un capteur mesure des distances comprises entre **2 cm et 400 cm**, sur la face avant on peut voir l'émetteur US et son récepteur. Ce sont des petites cellules piézo-électriques qui vont soit vibrer lorsqu'une tension est appliquée à l'émetteur, soit au contraire produire une tension lorsqu'une vibration est reçue par le récepteur.

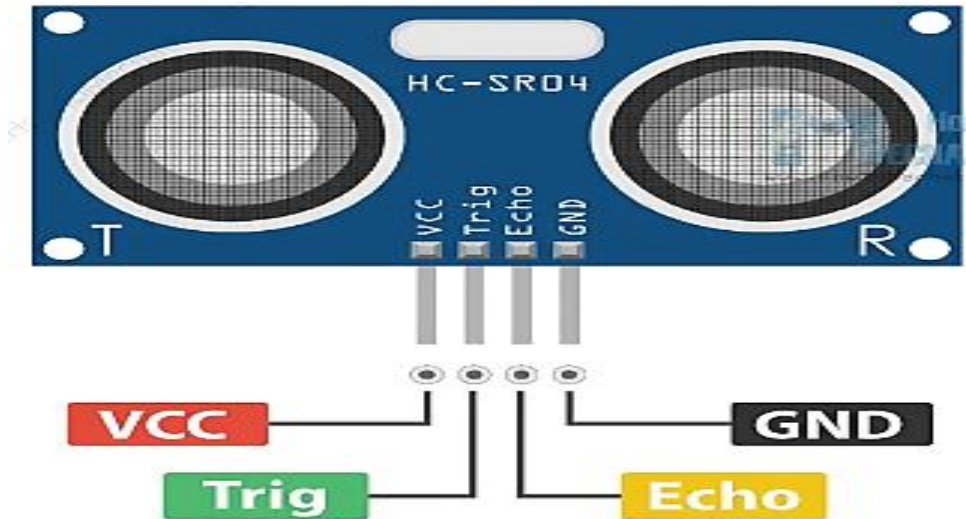


Figure 7: capteur HC-SR04

Sur la face arrière, plusieurs petits circuits sont présents pour générer et traiter le signal. Un composant génère une onde de 40 kHz lorsqu'un "top départ" est déclenché, tandis que le reste du circuit se charge de traiter le signal reçu. Cette partie assure l'amplification, le filtrage et la mise en forme du signal, qui est ensuite transmis proprement à une broche de sortie. Au total, on trouve quatre broches sur le dispositif.

Parmi les quatre broches, on retrouve les classiques **VCC** et **GND**, destinées à l'alimentation (respectivement 5V et la masse). Ensuite, il y a la broche "**Echo**", qui fournit le signal de sortie. Enfin, on trouve la broche "**Trig**" (pour *Trigger*, c'est-à-dire "déclencheur" ou "gâchette"). En mettant cette broche à l'état haut pendant 10 μ s, on déclenche un *Ping*, c'est-à-dire l'émission d'une onde ultrasonore pour effectuer la mesure. Pour reprendre l'analogie de l'écho dans une pièce vide, le *Ping* correspond au moment où vous émettez un son en parlant.

II.3.1.2 Les caractéristiques principales du capteur à ultrasons HC-SR04

- Alimentation : 5 V DC
- Consommation : environ 15 à 20 mA en fonctionnement
- Plage de mesure : de 2-3 cm à 4 m (en pratique, la meilleure précision est obtenue entre 10 cm et 2,5 m)
- Précision / résolution : environ 0,3 à 3 mm
- Fréquence des ultrasons : 40 kHz
- Angle de détection : environ 15° (certaines sources mentionnent jusqu'à 30° selon l'environnement)
- Dimensions : environ 45 x 20 x 15 mm
- Signal d'entrée (Trigger) : impulsion numérique de 10 μ s à l'état haut
- Signal de sortie (Echo) : impulsion numérique proportionnelle au temps de trajet de l'onde ultrasonore

Calcul de distance : distance (cm) = durée de l'impulsion Echo (μ s) / 58 (avec la vitesse du son à 340 m/s) [18].

II.3.1.3 Principe de fonctionnement :

Capteur à ultrasons HC-SR04 fonctionne en émettant une onde ultrasonore à une fréquence de 40 000 Hz (40 kHz) qui se propage dans l'air. Lorsqu'il rencontre un objet ou un obstacle, cette onde est réfléchiée et revient vers le capteur [19].

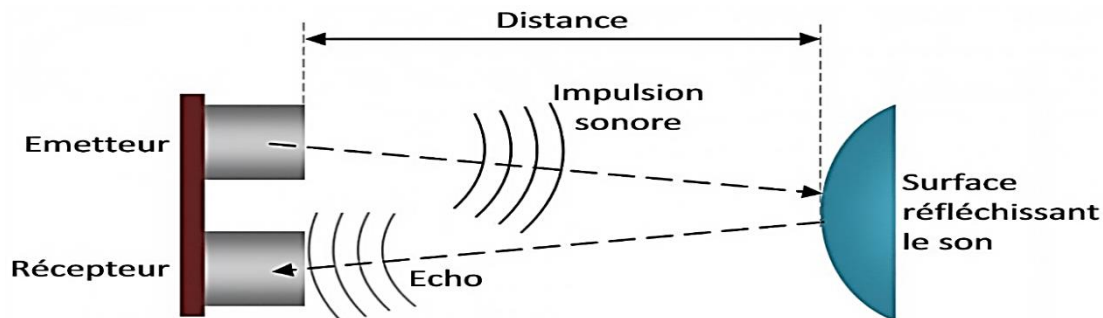


Figure 8: Principe de la mesure par sonar/écho

Pour générer cette onde ultrasonore, on met la broche Trig à l'état haut pendant 10 microsecondes, ce qui envoie une rafale ultrasonore de 8 cycles. Immédiatement après, la broche Echo passe à l'état haut et reste ainsi tant qu'elle reçoit l'écho réfléchi par l'objet [20].

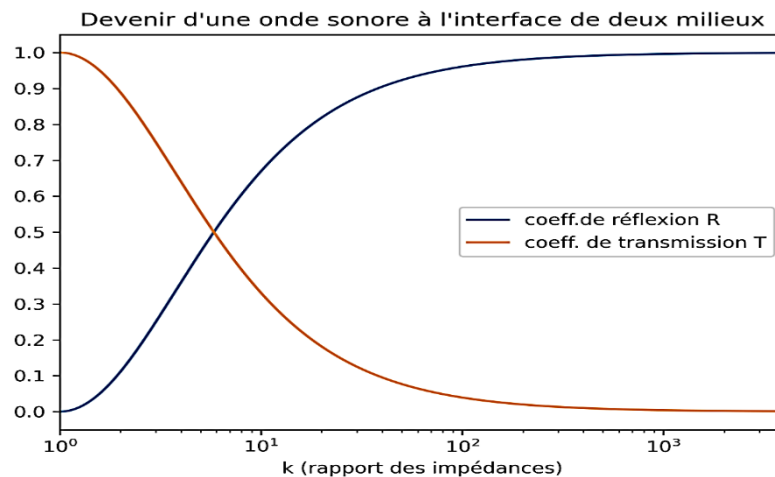


Figure 9: Devenir d'une onde sonore à l'interface de deux milieux

□ Il illustre les coefficients de **réflexion R** et de **transmission T** d'une onde à l'interface entre deux milieux, en fonction du **rapport des impédances** des milieux.

□ Quand ce rapport est petit (milieux proches), $R \approx 0$, $T \approx 1 \rightarrow$ presque toute l'onde est transmise.

□ Quand ce rapport est très élevé, $R \rightarrow 1$, $T \rightarrow 0 \rightarrow$ presque toute est réfléchi.

□ Les formules (incidence normale, milieux sans pertes) :

$$R = \left| \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right|, \quad T = \left| \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} \right|$$

et pour intensité :

$$R_I + T_I = 1$$

et pour intensité :

$$R_I + T_I = 1 \quad R_I + T_I = 1 \quad R_I + T_I = 1 \quad [21].$$

Si aucun objet ne réfléchit l'onde, la broche Echo se remet à l'état bas après un délai d'attente de 38 ms. Si un écho est reçu, la durée pendant laquelle la broche Echo reste haute correspond au temps de trajet aller-retour de l'onde ultrasonore [22].

La distance entre le capteur et l'objet est calculée à partir de ce temps de trajet en utilisant la formule :

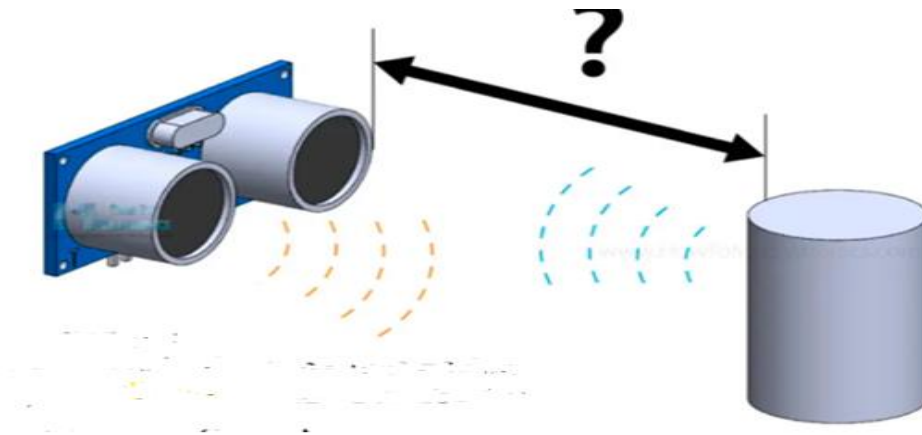


Figure 10: calcul la distance entre le capteur et l'objet

$$\text{Distance} = (\text{Vitesse du son} \times \text{Te}) / 2 ; \text{Distance} = (\text{Vitesse du son} \times \text{Temps}) / 2$$

La division par 2 est nécessaire car le temps mesuré correspond au trajet aller-retour de l'onde. La vitesse du son dans l'air est d'environ 340 m/s (soit 0,034 cm/ μ s). Par exemple, si la broche Echo est haute pendant 2000 μ s, la distance est :

$$\text{Distance} = (0,034 \times 2000) / 2 = 34 \text{ cm} \quad \text{Distance} = (0,034 \times 2000) / 2 = 34 \text{ cm}$$

Ainsi, en mesurant la durée du signal Echo, on peut déterminer précisément la distance à l'objet détecté [23].

II.3.2 Module de pesée HX711 : fonctionnement et précision

Le module HX711 est basé sur un capteur à jauge de contrainte très utilisé dans les systèmes de mesure de poids, comme les balances électroniques et les capteurs de force. Il est principalement conçu pour être utilisé avec des cellules de charge qui mesurent la force ou le poids appliqué. Le HX711 contient un convertisseur analogique-numérique (ADC) de 24 bits à haute résolution, optimisé pour les applications de pesée.

Le principe de fonctionnement d'un capteur de poids associé au module HX711 relié à un Raspberry Pi 4 s'articule ainsi :

1. **Mesure mécanique par la cellule de charge :**

La cellule de charge, souvent de type jauge de contrainte, se déforme légèrement sous l'effet du poids appliqué. Cette déformation modifie la résistance électrique des jauges, générant une très faible tension proportionnelle à la force exercée.

2. **Amplification et conversion par le module HX711 :**

Cette faible tension est envoyée au module HX711, qui amplifie le signal à l'aide d'un amplificateur différentiel intégré à faible bruit. Ensuite, le HX711 convertit ce signal analogique en une valeur numérique avec une résolution de 24 bits via son convertisseur analogique-numérique (ADC)

3. **Connexion au Raspberry pi 4 :**

Le module HX711 est connecté au Raspberry Pi 4 en mode série synchrone via les broches GPIO 5 et 6 :

- VCC du HX711 à 3,3 V ou 5 V du Raspberry Pi
- GND à la masse (GND) du Raspberry Pi
- DT (Data) à une broche GPIO (ex. GPIO 5)
- SCK (Clock) à une autre broche GPIO (ex. GPIO 6)

4. **Lecture et traitement des données :**

Le Raspberry Pi, via un script Python et une bibliothèque adaptée (comme celle de Tatabari ou d'autres disponibles), lit les données numériques fournies par le HX711. Ces données sont ensuite converties en poids réel après calibration avec un poids de référence.

5. **Calibration :**

La calibration consiste à placer un poids connu sur la cellule de charge, mesurer la valeur brute retournée par le HX711, puis calculer un facteur de conversion pour que le Raspberry Pi affiche le poids exact [24] [25].

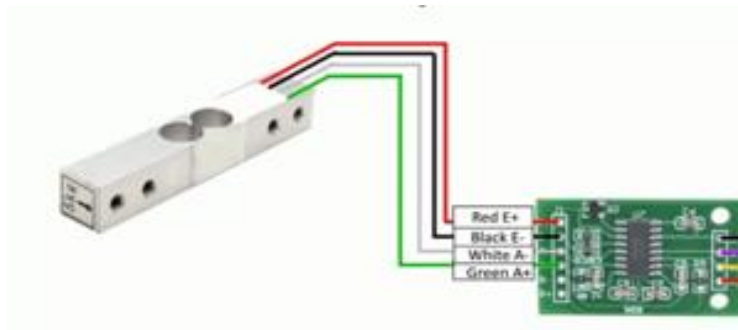


Figure 11: capteur de poids HX711

Caractéristiques du capteur :

- Précision : $\pm 0,02$ % FS
- Plage de mesure : 0 à 10 kg
- Dimensions : 80 x 12,7 x 12,7 mm
- Longueur du cordon : 20 cm
- Poids : 31 g
- Caractéristiques du module HX711 :
 - Alimentation : 2,6 à 5,25 Vcc
 - Consommation : $< 1,5$ mA
 - Fréquence : 10 ou 80 mesures/sec
 - T° de service : -40 à +85 °C
 - Dimensions : 34,2 x 20 x 3 mm

II.3.3 Caméra pour lecture du QR code : choix, résolution, traitement d'image

Dans notre projet, on a choisi d'utiliser une caméra Raspberry Pi pour lire les informations de chaque patient qui passe à la station de mesure via un code QR. Ce choix s'est fait assez naturellement, surtout parce qu'elle s'intègre très bien avec le Raspberry Pi qu'on utilise comme unité centrale. Le modèle qu'on a utilisé est la Caméra Module v2, qui est équipée d'un capteur Sony IMX219 de 8 mégapixels, Elle permet de prendre des photos avec une résolution assez élevée (jusqu'à 3280 x 2464) [26].

Ce qu'on a trouvé pratique, c'est qu'elle se connecte via l'interface **CSI**, ce qui évite de passer par USB et permet un transfert rapide des données. Pour le contrôle de la caméra, on a utilisé Python avec la bibliothèque **Picamera**, ce qui nous a permis de lancer les prises d'image depuis notre script principal sans trop de complexité [27]. On a aussi testé **libcamera**, qui est plus récente, mais on a préféré rester sur Picamera vu sa simplicité.

La plupart des appareils photo numériques, y compris nos modules de caméra, utilisent un obturateur : ils scannent l'image qu'ils capturent ligne par ligne, puis affichent les résultats [28].

Pendant nos tests de lecture de QR codes, on a rapidement constaté que les mouvements – même très légers – pouvaient fausser les résultats avec certaines caméras. C'est ce qui nous a poussés à

opter pour une caméra Raspberry Pi équipée d'un obturateur global. Contrairement aux caméras à obturateur roulant, qui scannent l'image ligne par ligne (ce qui provoque des déformations si l'image bouge pendant la capture), l'obturateur global saisit toute la scène en une seule fois. Grâce à ça, on évite les distorsions géométriques qui rendent parfois les QR codes illisibles, surtout quand ils sont en mouvement ou quand l'éclairage n'est pas parfaitement stable. Ce choix nous a permis d'avoir une lecture plus rapide et plus fiable, avec beaucoup moins d'erreurs, même dans des situations un peu compliquées sur le terrain.



Figure 12: Caméra PI

II.3.4 L'écran HDMI LCD 3.5 pouces pour Raspberry Pi :

Dans notre projet, on a utilisé un écran qui se connecte par HDMI, il est plutôt réactif puisqu'il peut aller jusqu'à 60 images par seconde. Ce qu'on a trouvé pratique aussi, c'est qu'il ne supporte pas mal de résolutions différentes, ça va de 480x320 jusqu'à 1920x1080.

L'écran 3,5 pouces HDMI LCD équipé du contrôleur tactile XPT2046 constitue une solution particulièrement adaptée à notre application. Ce modèle associe une interface vidéo HDMI, assurant une transmission stable du signal d'affichage en résolution 480×320 (rapport 3:2), à une interface tactile résistive gérée par le circuit XPT2046 via le bus SPI. Cette configuration permet d'obtenir un compromis satisfaisant entre qualité visuelle, compacité et simplicité d'intégration matérielle.

Sur le plan logiciel, l'écran bénéficie d'une large compatibilité puisqu'il est reconnu par divers systèmes d'exploitation tels que Raspberry Pi OS, Ubuntu, Kali Linux ou encore Windows 10. Les pilotes nécessaires au fonctionnement du tactile sont disponibles et facilement installables, garantissant une prise en charge fiable et une calibration correcte [29].

Ces caractéristiques confirment que le format basé sur le contrôleur XPT2046 constitue l'option la plus pertinente pour notre dispositif, en raison de sa robustesse, de sa facilité de déploiement et de son adéquation aux besoins fonctionnels du projet. Et Il est **compatible avec plusieurs versions du Raspberry Pi**, comme les modèles A, B, A+, B+, et même les anciens Pi2 et Pi3, donc c'est assez flexible si on change de carte. Et permet de connecter l'écran à chaud sans nécessiter de redémarrage du système [30].



Figure 13: écran pi

II.3.4.1 Le principe de Fonctionnement :

Le principe de fonctionnement de l'écran tactile) RPA03510R 3,5" repose sur la technologie **résistive**. L'écran est composé de deux couches conductrices fines séparées par un petit espace. Lorsqu'on appuie sur l'écran, ces deux couches entrent en contact à l'endroit précis du toucher. Cela crée un circuit électrique, et le contrôleur tactile (le **XPT2046**, dans ce cas) mesure les tensions générées pour calculer les coordonnées du point de contact. Ces coordonnées sont ensuite transmises au Raspberry Pi, qui les interprète comme une commande de l'utilisateur (comme un clic ou un glissement). Cette technologie fonctionne même avec un stylet ou des gants, ce qui la rend pratique pour les environnements spécifiques ou les applications embarquées [31].

II.3.4.2 Affichage des données :

- L'écran affiche l'interface graphique complète du Raspberry Pi, y compris le bureau, les applications, ou des interfaces personnalisées.
- Sa résolution native permet d'afficher clairement des menus, des données issues de capteurs (poids, taille, résultats de QR code), ou des interfaces utilisateur graphiques.
- Le tactile permet de naviguer dans les menus, valider des actions, ou saisir des informations sans clavier ni souris.
- Le système d'exploitation détecte automatiquement l'écran via HDMI, assurant un affichage plug-and-play. Parfois, une installation de pilotes est nécessaire pour activer pleinement la fonction tactile.

II.3.5 Horloge temps réel (RTC) :

II.3.5.1 Principe de fonctionnement

Une horloge temps réel (RTC) est un module électronique autonome qui maintient une mesure précise du temps (date et heure) même lorsque le système principal, ici le Raspberry Pi, est éteint ou déconnecté de l'alimentation. Elle est généralement équipée d'une petite pile bouton (ex. CR2032 ou batterie lithium rechargeable) qui alimente un circuit d'horloge basse consommation.

Le module RTC intègre un oscillateur à cristal (souvent 32,768 kHz) qui génère un signal d'horloge stable. Ce signal est divisé électroniquement pour fournir une mesure continue des secondes, minutes, heures, jours, mois et années. Certains modules, comme le DS3231, intègrent un capteur de température pour compenser les variations de fréquence liées à la température, ainsi la précision.



Figure 14: Horloge temps réel (RTC)

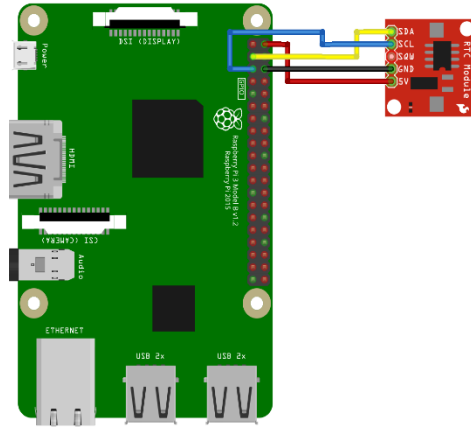
II.3.5.2 Connexion du module RTC I2C de Raspberry Pi :

Le module est connecté via l'interface I2C. Pour cela, nous utilisons le côté droit des broches (qui en compte 7), car en mode hors ligne du Raspberry, le courant doit être tiré de la batterie pour que l'horloge ne s'arrête pas. D'autres modules peuvent n'avoir qu'une bande de broches.

L'affectation est la suivante :

Tableau 3: Câblage du module RTC (Real-Time Clock) vers Raspberry Pi

RTC Module	Raspberry Pi
SCL	GPIO 3 / SCL (Pin 5)
SDA	GPIO 2 / SDA (Pin 3)
VCC / 5V	5V (Pin 2)
GND	GND (Pin 6)



fritzing

Figure 15: câblage de RTC avec RPI

II.3.6 LED :

La **diode électroluminescente** (LED, *Light Emitting Diode*) est un composant électronique semi-conducteur capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique direct. Ce phénomène, appelé **électroluminescence**.

Les LED se distinguent par plusieurs caractéristiques majeures, parmi lesquelles une consommation énergétique très faible, une durée de vie particulièrement longue, une mise en fonctionnement instantanée et une grande robustesse mécanique par rapport aux sources lumineuses traditionnelles.

Les avancées technologiques ont également permis le développement des LED SMD, largement utilisées dans les rubans et panneaux lumineux, ainsi que des OLED, qui offrent une qualité d'affichage élevée dans les écrans modernes.

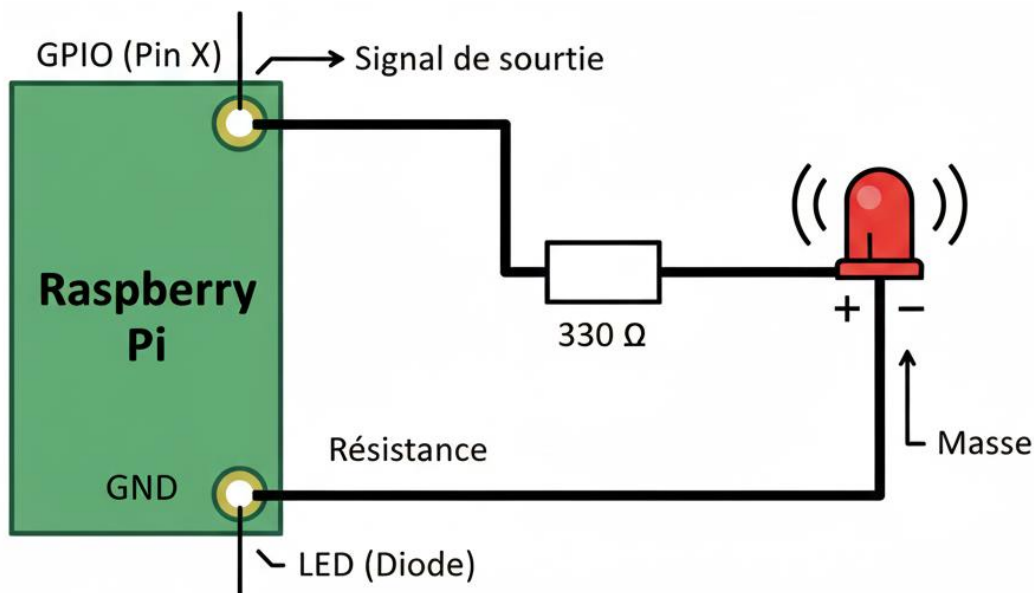


Figure 16: Câblage de LED avec RPI

II.3.7 Bouton poussoir :

II.3.7.1 Définition :

Le bouton poussoir est un dispositif électromécanique élémentaire qui fonctionne selon le principe d'un interrupteur momentané : lorsqu'une pression est exercée, le circuit se ferme (état ON) et lorsqu'elle est relâchée, il s'ouvre (état OFF). Ce composant est largement utilisé dans diverses applications telles que le déclenchement d'un chronomètre, l'activation d'une mesure dans un système connecté, la prise de photographies ou encore la mise en marche d'une alarme.

Dans les montages avec le Raspberry pi, une résistance d'environ $1\text{ k}\Omega$ doit impérativement être insérée en série entre le bouton et l'entrée GPIO. Cette résistance joue un rôle protecteur, puisqu'elle prévient d'éventuels dommages sur le port GPIO dans le cas où celui-ci serait configuré par erreur en sortie (OUTPUT) au lieu d'entrée (INPUT), situation qui pourrait engendrer un court-circuit et endommager la carte [32].

Dans certains cas, il est également nécessaire d'ajouter une résistance de pull-down afin d'éviter que l'entrée ne reste dans un état indéfini lorsque le bouton n'est pas pressé. Cette fonction peut toutefois être assurée directement par logiciel en configurant le port via l'instruction Python :

```
GPIO.setup(pin, GPIO.IN, pull_up_down=GPIO.PUD_DOWN) [33].
```

II.3.7.2 Intégration Physique avec le Raspberry Pi :

Le bouton est placé sur une breadboard conformément au schéma de câblage. L'une de ses bornes est reliée à la masse (GND), tandis que l'autre est connectée au pin physique n°3 (GPIO 2) du Raspberry Pi par l'intermédiaire d'une résistance d'environ $1\text{ k}\Omega$ [34].

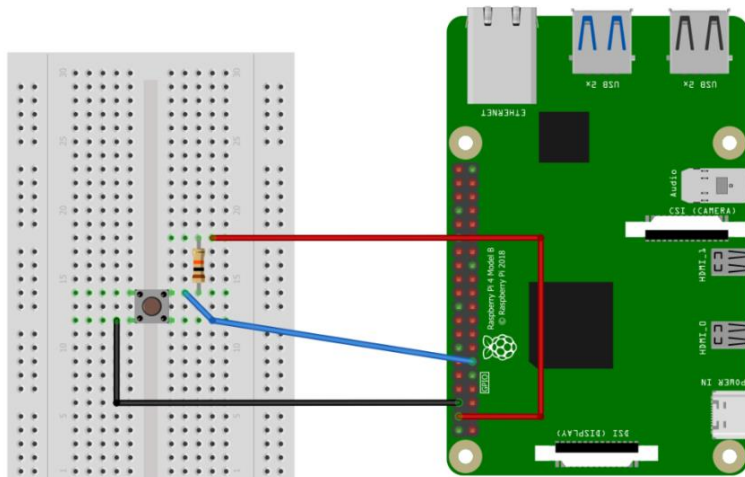


Figure 17: Câblage de bouton poussoir avec RPI

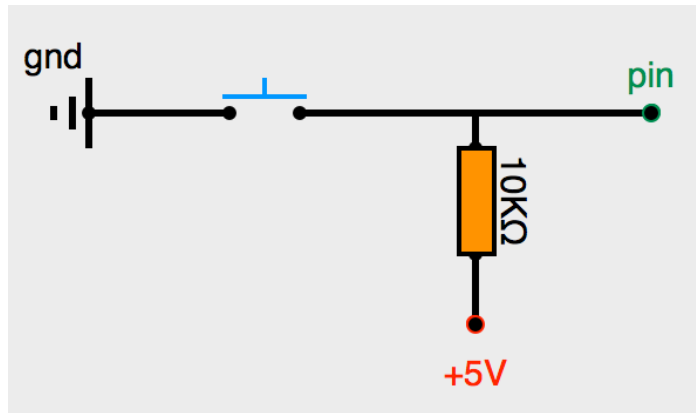


Figure 18: Circuit d'entrée numérique avec bouton-poussoir

II.3.8 Buzzer : alertes sonores

Il existe de nombreuses façons de communiquer entre l'utilisateur et un produit. L'une des meilleures est la communication audio à l'aide d'un buzzer [35].

Un buzzer est un composant électronique de signalisation audio qui produit un son ou une alarme lorsqu'il est alimenté en courant par convertir le signal audio en son (il transforme l'énergie électrique en énergie acoustique), Il est souvent utilisé comme moyen d'alerte dans les systèmes électroniques tels que les alarmes, les avertisseurs sonores, les jouets électroniques, les horloges et les chronomètres, etc [36].

Son fonctionnement repose sur un principe simple : faire vibrer un diaphragme pour générer un son. En général, les buzzers se classifient en deux catégories : les buzzers passifs et les buzzers actifs. Il existe différents types de buzzers, notamment les buzzers piézoélectriques, magnétiques et électromécaniques

Le **buzzer** peut être activé en appliquant une tension alternative (AC) ou continue (DC) à ses bornes. Le son produit dépend de la fréquence de l'onde appliquée, qui est généralement dans la gamme des fréquences audibles pour les humains (20 Hz - 20 kHz).

Les **buzzers** peuvent être contrôlés par un microcontrôleur ou un circuit électronique qui active le buzzer en envoyant un signal électrique à ses bornes. Les microcontrôleurs peuvent être programmés pour contrôler le son produit par le buzzer en modifiant la fréquence de l'onde appliquée ou en utilisant différents motifs de son [37].

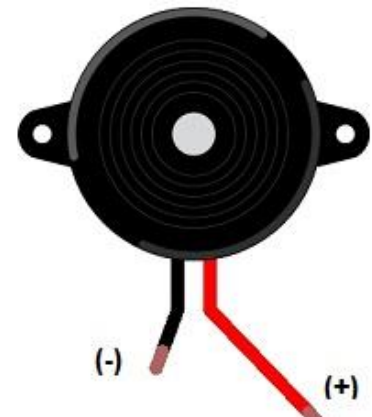
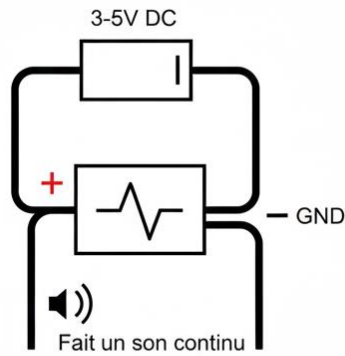


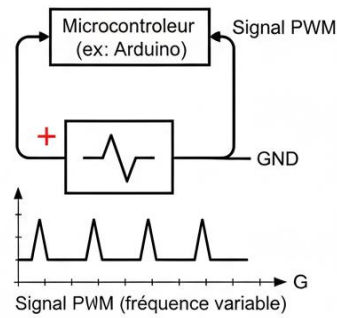
Figure 19: buzzer



Appliquer une tension continue pour un son constant.

Figure 20: buzzer actif

Fonctionnement

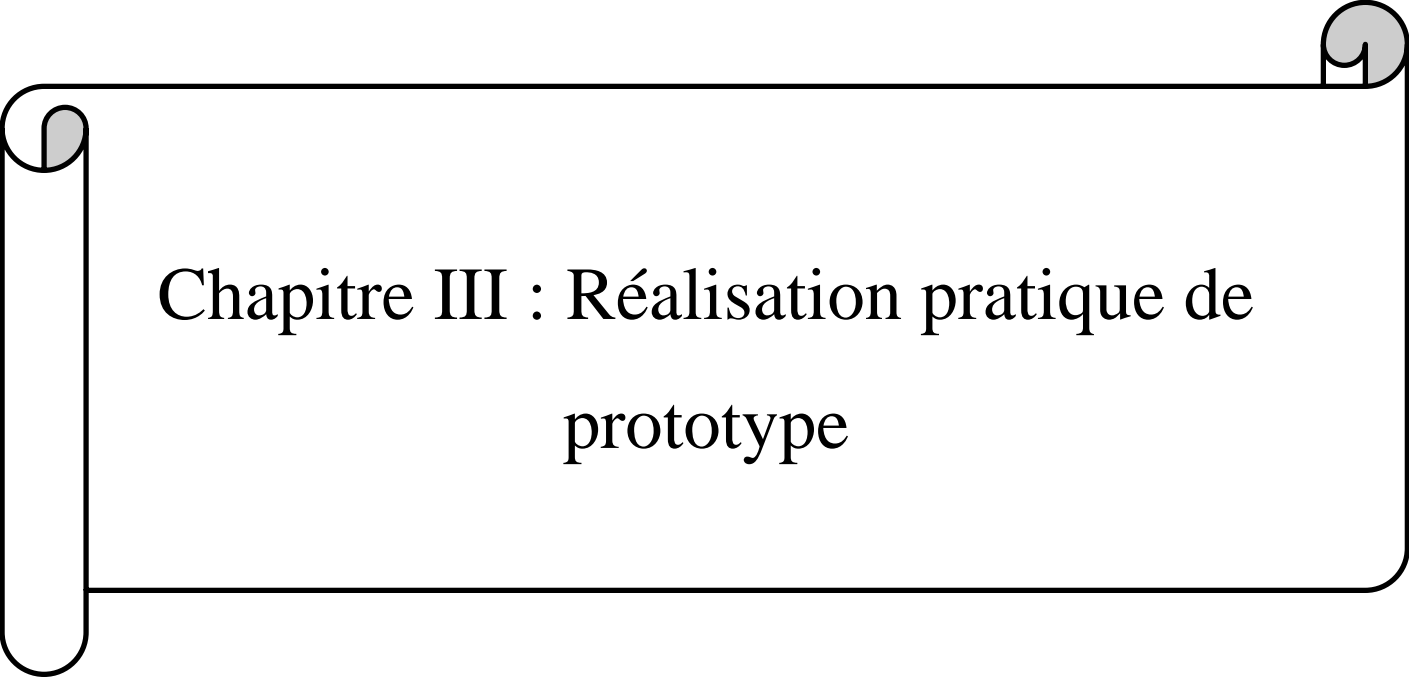


La fréquence du signal signal détermine de hauteur de son. Peut Peut jouer des mélodies.

Figure 21: buzzer passif

II.4 Conclusion :

En conclusion, ce deuxième chapitre a permis de définir et de justifier la conception électronique du dispositif de mesure pédiatrique. L'architecture matérielle, centrée sur le Raspberry Pi 4, s'est révélée particulièrement adaptée pour assurer à la fois la collecte, le traitement et la centralisation des données. Les différents capteurs et modules présentés — capteur ultrason pour la taille, cellule de charge associée au module HX711 pour le poids, caméra pour l'identification des patients, écran tactile pour l'affichage, ainsi que les éléments complémentaires comme l'horloge RTC, la LED, le bouton poussoir et le buzzer — constituent un ensemble cohérent garantissant fiabilité, ergonomie et interactivité. Ces choix matériels, guidés par des critères de précision, de compatibilité et de simplicité d'intégration, posent les bases d'un système compact et efficace, spécifiquement conçu pour le suivi de la croissance infantile. Cette étape de conception électronique ouvre ainsi la voie à l'étude de la partie logicielle et à l'intégration globale du dispositif, qui feront l'objet du chapitre suivant.



Chapitre III : Réalisation pratique de prototype

III. Chapitre III

Réalisation pratique de prototype

III.1 Introduction :

L'objectif ici n'est donc pas simplement de présenter des extraits de code ou des schémas de fonctionnement, mais de détailler la manière dont chaque module logiciel a été conçu, programmé, et intégré dans l'ensemble du système. Depuis l'acquisition des données jusqu'à leur visualisation sur l'interface utilisateur, ce chapitre retrace chaque étape technique ayant permis de transformer un assemblage matériel en un dispositif médical réellement opérationnel.

On décrira ainsi les trois grandes briques logicielles que l'on a développées : le programme de lecture des capteurs sur Raspberry Pi, le serveur embarqué chargé de la base de données et de l'API de communication, ainsi que l'application cliente destinée au médecin. Chaque partie sera présentée avec ses choix techniques, ses contraintes, les problèmes rencontrés, et les solutions apportées au fil des essais.

En somme, ce chapitre peut être perçu comme le « Behind the scenes » du projet, le lieu où les ajustements, les tests et les itérations ont été les plus nombreux. Elle représente, la portion la plus dynamique et concrète de tout le système.

Dans les sections suivantes, on présentera successivement l'architecture logicielle globale, le fonctionnement du module de mesure, la gestion des données sur le serveur local, ainsi que l'application PC du médecin, avant de conclure par les schémas UML et les flux d'interactions qui relient l'ensemble.

III.2 Architecture logicielle globale

Le système est divisé en trois parties principales. Chaque partie a son rôle précis. On a fait ce choix pour rendre le développement plus simple, pour pouvoir tester chaque bloc séparément, et pour éviter que tout soit mélangé.

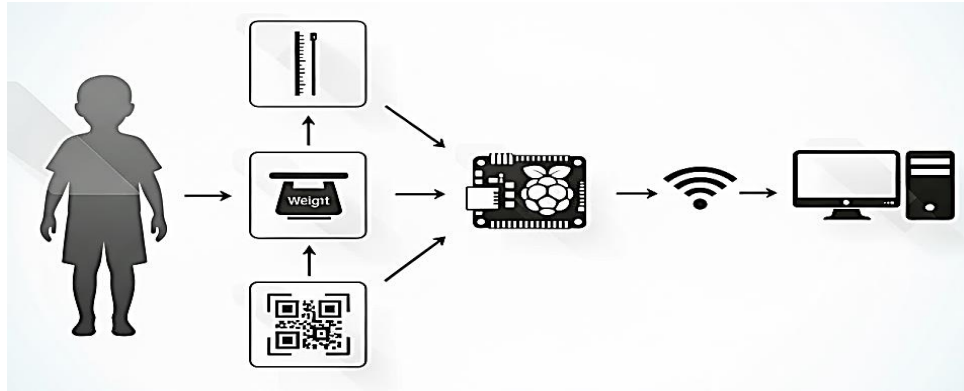


Figure 22: Suivi médical automatisé via Raspberry Pi

III.2.1 Présentation des trois modules logiciels :

Notre système est composé de trois parties voici le schéma synoptique correspondant :

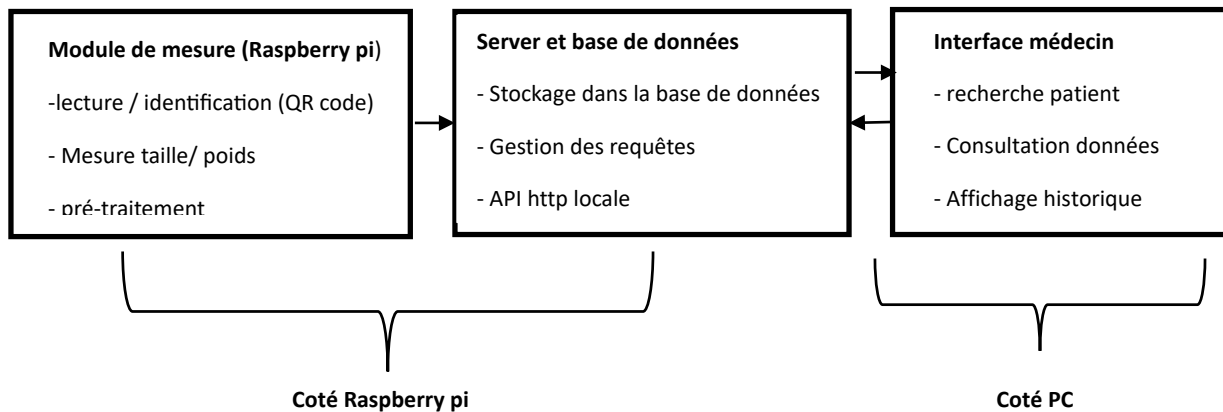


Figure 23: schéma synoptique de la station de mesure

III.2.1.1 Module 01 : mesure (sur le Raspberry Pi)

Ce module gère la récupération des données depuis les capteurs. Il s'occupe de mesurer la taille et le poids). Il y a aussi un lecteur de QR code pour identifier l'enfant. Puis le traitement et la conversion des valeurs obtenues.

Lecture et décodage des identifiants via le QR code

Pour éviter la saisie manuelle et réduire les risques d'erreur, chaque enfant est associé à un identifiant unique encodé sous forme de QR code. Cet identifiant est généré lors du premier enregistrement, à partir de paramètres comme la date de naissance, le sexe (01/00), et un numéro d'ordre (par ex. : 202004120003). Le code est ensuite converti en QR code grâce à la bibliothèque Python qrcode et imprimé sur un support adapté : étiquette autocollante, bracelet ou fiche patient. Lors des mesures ultérieures, la station lit ce QR code via une caméra intégrée ; l'API utilise l'identifiant décodé pour retrouver ou mettre à jour les données correspondantes. Ce procédé accélère considérablement le flux de travail et diminue les risques d'erreur d'association.

Configuration initiale du système

Le module de mesure est la première pièce maîtresse du dispositif. C'est lui qui se charge de relier directement les capteurs au reste du système, de récupérer les données brutes, puis de les préparer pour qu'elles puissent être exploitées. Sans cette étape, il n'y aurait tout simplement rien à analyser : un mouvement sur la toise ou une pression sur la balance ne donnerait aucune valeur utilisable.

Il gère principalement deux capteurs : un pour le poids et un pour la taille. Dès que le Raspberry Pi est mis sous tension, le programme dédié démarre automatiquement en arrière-plan. Son rôle est simple à résumer : lire les informations depuis les capteurs à la demande, de manière simple et fiable.

III.2.1.2 *Mesure du poids*

La mesure du poids repose sur un pont de jauge de contrainte associé au module HX711, spécialement conçu pour lire les faibles variations électriques dues à une charge appliquée.

Le fonctionnement typique de ce module est connu, le Raspberry Pi interagit avec le HX711 via deux broches : DT (Data) et SCK (horloge). Le module envoie des valeurs numériques brutes, correspondant à la tension mesurée. Une phase de calibration initiale est nécessaire pour définir un facteur d'échelle, basé sur une masse de référence. Cette calibration permet ensuite de convertir les données brutes en kilogrammes.

Une fonction de tare est également utilisée pour remettre la balance à zéro avant chaque pesée, garantissant des résultats fiables. Le poids ainsi obtenu est traité pour réduire le bruit (souvent par moyennage de plusieurs lectures), puis intégré dans la boucle principale de mesure. Il est ensuite associé à l'identifiant de l'enfant concerné et stocké dans la base locale.

III.2.1.3 *Mesure de la taille*

La mesure de la taille est assurée par le capteur à ultrasons de référence **HC-SR04**, placé en hauteur, Il envoie une onde sonore (l'émission d'un signal sonore à haute fréquence d'impulsion de 10 microsecondes sur la broche **TRIG**) et mesure le temps que met l'écho à revenir (le retour sur **ECHO**). Le temps mesuré est ensuite converti en centimètres à l'aide de la formule :

$$distance(cm) = \frac{durée(s).34300}{2}$$

Des mécanismes de contrôle sont implémentés pour éviter les erreurs :

- Si aucun écho n'est reçu dans un délai d'une seconde, la fonction retourne -1 (absence de détection).
- Si l'écho dépasse une durée anormalement longue (> 40 ms), correspondant à une distance irréaliste, la mesure est aussi rejetée.

Et le résultat est ensuite **arrondi à la décimale** pour une présentation plus lisible, puis stocké pour traitement ou transmission.

Pour assurer une communication fiable avec l'application médicale utilisée par le médecin, le Raspberry Pi est connecté en Wi-Fi avec une adresse IP fixe. Cela permet à l'ordinateur distant de le retrouver facilement à chaque connexion. Nous avons également activé l'accès **SSH** afin de pouvoir contrôler ou mettre à jour le système à distance, sans écran ni clavier branché.

Afin de garantir un horodatage précis des mesures, un module **RTC (Real-Time Clock)** a été ajouté. Il conserve la date et l'heure même en cas de coupure Internet, ce qui est indispensable pour un suivi cohérent de la croissance des enfants.

Traitement des données et conversion :

Une fois les mesures brutes récupérées depuis les capteurs, le système procède à une série d'opérations pour valider, convertir et préparer les données en vue de leur exploitation. Cette phase est essentielle pour garantir que les informations stockées et affichées soient à la fois fiables, cohérentes et compréhensibles pour les utilisateurs finaux. Les valeurs initialement lues depuis les capteurs ne sont pas directement utilisables : elles doivent être converties en unités physiques standards.

Une fois les mesures validées, elles sont arrondies à un chiffre après la virgule pour améliorer la lisibilité, puis organisées sous forme de structures standardisées, telles que des dictionnaires Python ou des lignes SQL. Chaque mesure est associée à l'identifiant de l'enfant (issu d'un QR code ou d'une saisie manuelle), à la date de la mesure (extraite automatiquement à l'aide de la RTC) ainsi qu'aux valeurs converties de taille (cm) et de poids (kg). Cette organisation rigoureuse permet une intégration fluide dans la base de données locale et garantit la traçabilité des enregistrements. Enfin, les données qui se charge d'effectuer une insertion ou une mise à jour

dans la base SQLite, selon qu'une mesure ait déjà été réalisée ou non pour le même enfant le jour en cours. En résumé, cette étape assure la transition entre l'univers physique (capteurs) et le système numérique (logiciel, base de données, interface), en rendant les données brutes exploitables, cohérentes et prêtes à être analysées ou affichées, une fois les données de taille et de poids validées et converties, elles sont sauvegardées de manière permanente dans une base de données.

III.2.1.4 Module 02 : serveur et la base de données (sur le Raspberry Pi) :

Une fois les données de taille et de poids validées et converties, elles sont sauvegardées de manière permanente dans une **base de données locale** au format SQLite, nommée **pediatrie.db**. Cette base fonctionne sans serveur externe, ce qui la rend idéale pour les systèmes embarqués comme le Raspberry Pi.

Deux tables principales structurent cette base :

- **enfant** : contient les informations d'identification de chaque patient (ID, nom, prénom, sexe, date de naissance, poids des parents, teille des parents, etc...)
- **mesure** : enregistre les résultats des mesures avec les champs suivants :
 - enfant_id : identifiant du patient (clé étrangère)
 - date_mesure : date de la mesure (au format YYYY-MM-DD)
 - poids : valeur du poids en kilogrammes
 - taille : valeur de la taille en centimètres

L'insertion des données est assurée par la fonction enregistrer_mesure, qui intègre une logique intelligente :

- Si une mesure a déjà été effectuée pour le même enfant à la date du jour, elle est mise à jour.
- Sinon, une nouvelle ligne est insérée.

Cela garantit une unicité par jour des enregistrements, tout en permettant de corriger une mesure sans duplication. La date de la mesure est automatiquement déterminée à l'aide du module RTC, assurant une traçabilité précise.

En parallèle de la sauvegarde locale, les mesures peuvent être transmises automatiquement au poste médecin, situé sur le même réseau WiFi. Pour cela, le Raspberry Pi est configuré comme un serveur léger, accessible via une adresse IP statique.

Les communications s'effectuent via des requêtes au format JSON, traitées par une fonction centrale appelée handle_request. Cette dernière interprète le contenu de la requête et déclenche l'action correspondante : ajout d'une mesure ("ADD_MEASURE"), récupération de l'historique ("GET_MEASURES"), ou encore vérification d'un identifiant.

Cette architecture permet une synchronisation quasi-instantanée des données entre la station de mesure et les outils de suivi médical. En cas de coupure réseau ou de déconnexion du client, les mesures restent enregistrées localement, assurant la continuité de service et l'absence de perte de données.

Ce module héberge une API, accessible par des requêtes HTTP. Cette API permet à d'autres composants, notamment l'interface médicale, de consulter ou de mettre à jour les données. Grâce à ce standard, elle reste compatible avec des applications clientes développées dans divers environnements.

API : points de terminaison et formats des échanges

L'API développée en Python avec le micro-framework Flask constitue la passerelle entre les capteurs, la base de données et l'application cliente du médecin. Elle propose différents points de terminaison, par exemple :

- GET /patients/{id} pour récupérer les informations d'un enfant,
- POST /mesures pour enregistrer une nouvelle mesure,
- GET /mesures/{id} pour consulter l'historique d'un patient.

Chaque requête suit un format strict : les données sont envoyées ou reçues en JSON, et validées côté serveur avant d'être insérées dans la base. Ce contrôle prévient les erreurs et protège l'intégrité des données médicales.

III.2.1.5 Module 03 : interface utilisateur (côté médecin) :

Ce module est une application sur un PC. C'est l'outil utilisé par le médecin/administrateur il permet d'enregistrer les informations de l'enfant pour la première fois et de lui attribuer une carte portant un QR code et de modifier les informations de l'enfant en cas d'erreur / modifier une mesure / ajouter une nouvelle mesure / supprimer une mesure, etc. Et par le médecin pour voir les données. Il permet d'afficher le poids, la taille, l'historique, etc. Il est connecté au réseau local. Il va interroger l'API du Raspberry Pi pour demander les informations, puis les affiche de manière claire. On a essayé de rendre l'interface simple, pour que ce soit facile à utiliser.

Il y a aussi des fonctions de recherche par identifiant, pour retrouver les dossiers rapidement car le serveur enregistre toutes les informations et les données qui entrent dans le système et restaurer les données en cas de besoin.

III.2.2 Vue d'ensemble des flux de données entre le Raspberry Pi, la base de données, et le PC médecin

Tout commence au niveau du Raspberry Pi, qui joue un rôle central dans le système. C'est lui qui communique directement avec les capteurs pour récupérer les données de poids et de taille. Dès qu'une mesure est prise, elle est immédiatement traitée localement. À ce stade, les données ne

sont pas encore prêtes à être affichées sur le poste du médecin, mais elles sont déjà structurées : identifiant du patient, date, heure, valeurs mesurées.

Ensuite, ces informations sont transmises via un petit serveur local (installé sur le Raspberry lui-même). Ce serveur dispose d'une interface de communication, qu'on appelle une API, qui permet de faire circuler les données sans que l'utilisateur ait besoin d'intervenir. L'API reçoit les données, les organise, puis les envoie vers une base de données embarquée. Cette base fait office de mémoire centrale du système : elle garde tout en ordre, patient par patient, mesure par mesure.

Pendant ce temps, le médecin, de son côté, utilise un simple PC connecté sur le même réseau. À travers une interface, il peut interroger la base de données à tout moment. Lorsqu'il sélectionne un patient, une requête est envoyée à l'API, qui va chercher les dernières données correspondantes dans la base, puis les transmet à l'interface du médecin.

Le flux de données suit donc un parcours bien défini :

1. **Capteurs** → **Raspberry Pi** (acquisition et traitement),
2. **Raspberry** → **Base de données** (stockage),
3. **PC médecin** → **API** → **Base de données** → **retour vers le PC** (consultation).

III.3 Interfaces :

III.3.1 Interface embarquée (station de mesure)

L'interface embarquée est conçue pour fonctionner sur un Raspberry Pi, offrant une solution portable et facile à utiliser pour les mesures anthropométriques. Cette station de mesure est optimisée pour une interaction simple et rapide, permettant aux professionnels de santé de saisir les données de croissance des enfants avec un minimum d'effort.

L'interface est clairement conçue pour identifier l'enfant via un QR code puis lancer et valider des mesures (ici la « taille » est explicitement mentionnée). Les éléments affichés reflètent trois fonctions principales : scanne le QR de mot de passe de sécurité, identification par QR, et commande simple de mesures.

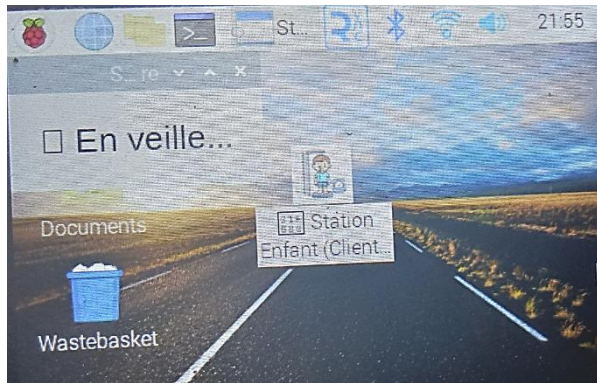


Figure 24: icone d'application de station de mesure

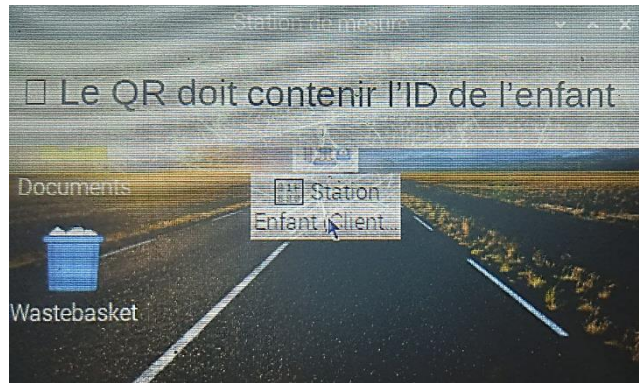


Figure 25: lire QR code d'enfant

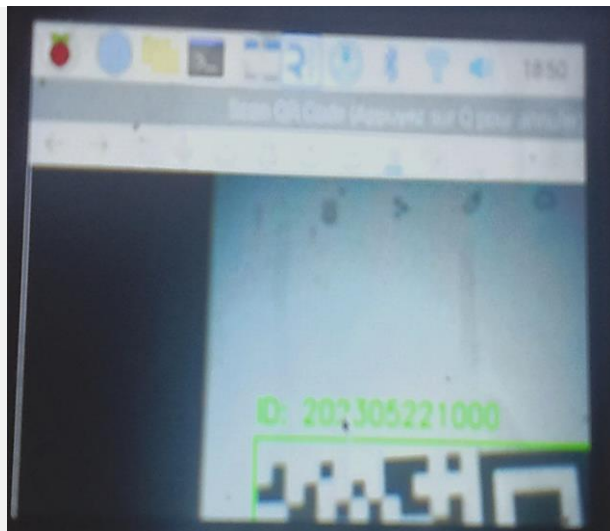


Figure 26: détection l'ID d'enfant par camera pi



Figure 27: les instructions de mesure

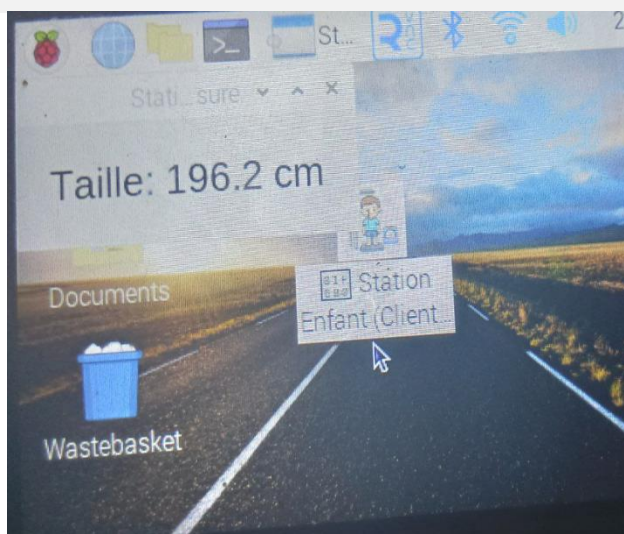


Figure 28: prise de mesure de la taille

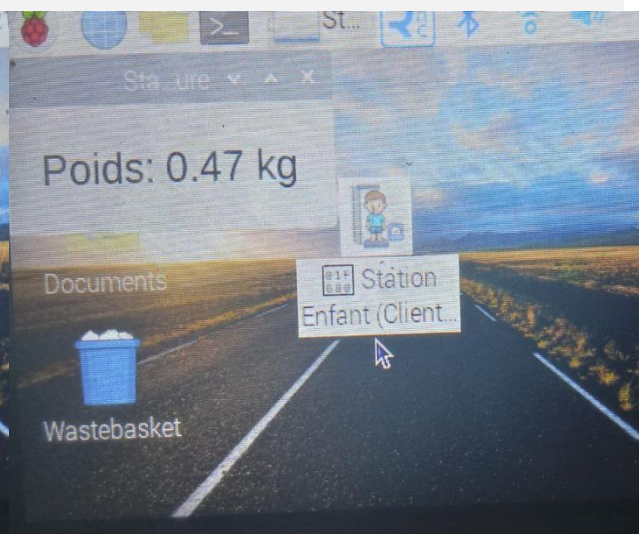


Figure 29: prise de mesure de poids



Figure 30: l'enregistrement de mesure

« Le QR doit contenir l'ID de l'enfant », ce qui reflète une exigence essentielle du système : chaque enfant doit être identifié à l'aide d'un code QR unique. Ce message pédagogique et normatif guide l'utilisateur afin qu'il n'utilise que des QR valides, c'est-à-dire contenant l'identifiant numérique reconnu par la base de données. Cette étape traduit donc un mécanisme de sécurité et de traçabilité, garantissant que les données de mesure seront toujours correctement associées au bon dossier enfant.

Le processus de lecture du QR code. Sur l'écran, un cadre vert entoure l'image scannée et l'on distingue un extrait du code reconnu. Ce retour visuel confirme à l'opérateur que le QR a bien été détecté et partiellement décodé par le système. Au plan technique, cette interface constitue une étape cruciale, car elle matérialise la liaison entre l'objet physique (le QR code de l'enfant) et la donnée numérique (l'ID enregistré en base). Elle permet ainsi de s'assurer que l'identification est correcte avant de passer à l'étape de mesure.

« 1x : taille, 2x : valider, long : quitter ». Ce menu démontre une ergonomie minimaliste mais efficace : un clic simple sur le bouton permet de lancer la mesure de la taille, un double clic permet de lancer la mesure de poids et un appui long permet de quitter l'application ou de revenir à l'écran de veille.

Ces données sont relevées grâce aux capteurs intégrés et s'affichent automatiquement à l'écran, permettant à l'opérateur de vérifier la cohérence des valeurs obtenues. Une fois la mesure validée par l'utilisateur, l'application confirme l'opération en affichant le message « La mesure est enregistrée ». Cette confirmation visuelle et textuelle constitue une étape finale indispensable, car elle garantit que les informations collectées sont correctement sauvegardées dans la base de données et associées de manière sécurisée à l'identifiant unique de l'enfant.

En principe vous devriez parler du bouton poussoir avant.

Si vous avez suivi mes conseils il n'a pas de double clic

Un clic permet de lire la taille et le poids un autre simple clic permet de refaire la mesure et le clic long permet d'enregistrer la mesure.

III.3.2 Application cliente (PC Windows – médecin)

L'application cliente est une interface graphique développée en Python avec la bibliothèque CustomTkinter, spécialement conçue pour les médecins et professionnels de santé. Cette application permet une gestion complète et intuitive des données des patients, avec un accent particulier sur le suivi de la croissance pédiatrique selon les standards de l'OMS.

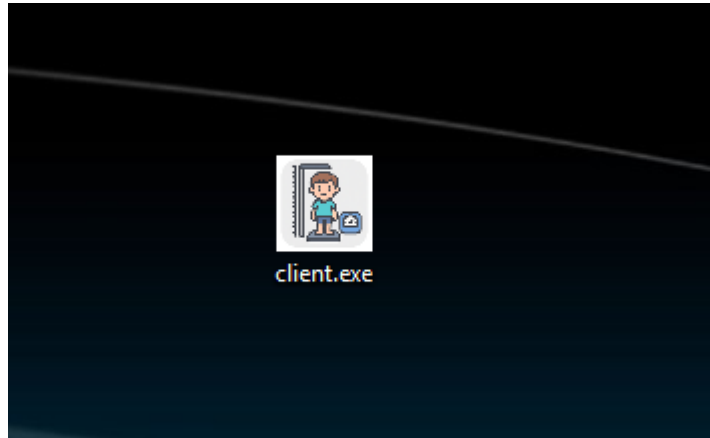


Figure: icone d'application desktop d'interface client

III.3.2.1 Fonctionnalités principales

Écran de connexion

- Une interface sécurisée demande un mot de passe pour accéder à l'application.
- Le mot de passe est défini côté serveur (PASSWORD = "1234").

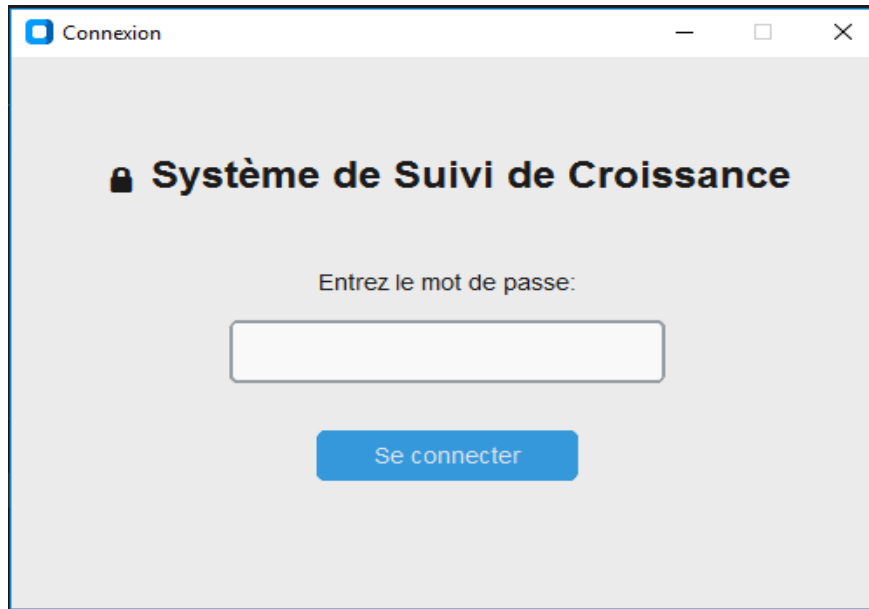


Figure: Écran de connexion sécurisé

Menu Principal

L'interface principale organise les fonctionnalités en trois modules essentiels :

Gestion Enfants : Administration complète des dossiers patients incluant l'ajout, modification, consultation et suppression des profils, avec génération d'identifiants uniques et QR codes.

Gestion Mesures : Suivi précis des paramètres de croissance permettant l'enregistrement, validation, consultation et correction des mesures poids/taille, avec référence aux normes OMS.

Rapports : Génération de documents comprenant courbes de croissance, export PDF, statistiques comparatives et système d'alertes pour détecter les anomalies.

1. Gestion enfants :

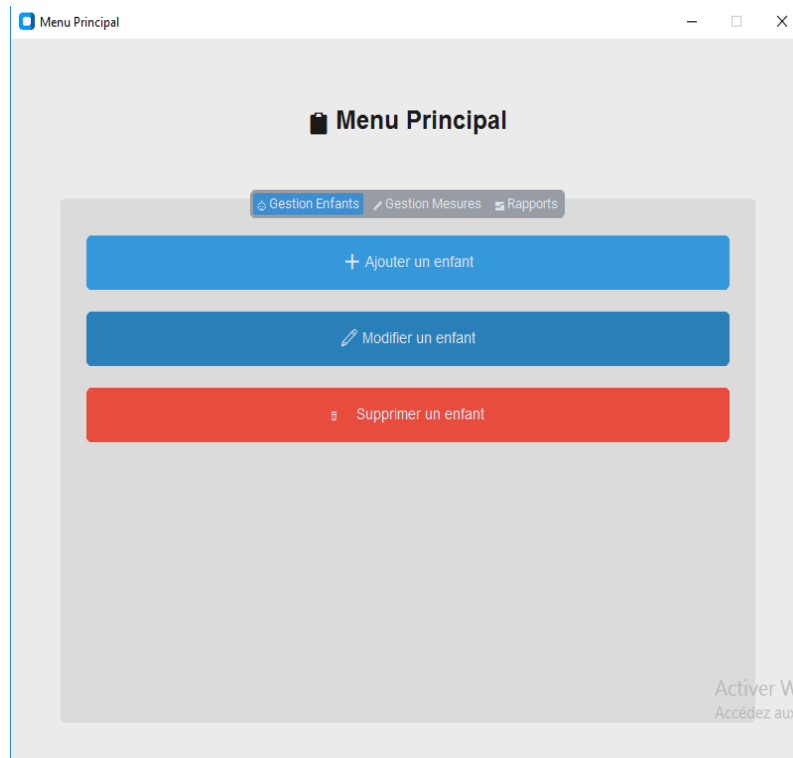


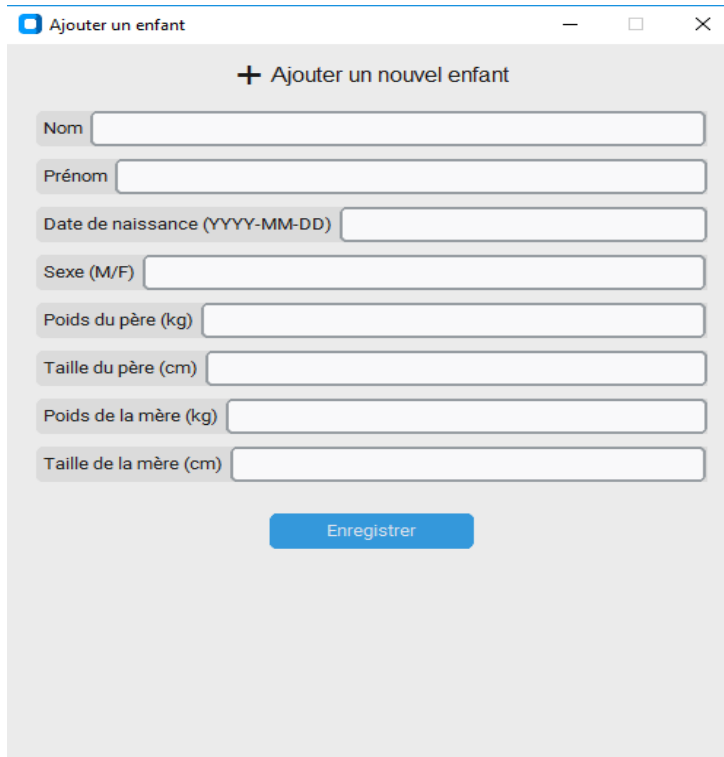
Figure 31: menu de gestion enfants

o Ajout d'un nouveau patient :

Le médecin peut enregistrer un nouvel enfant en renseignant des informations détaillées telles que le nom, le prénom, la date de naissance, le sexe, ainsi que les données anthropométriques des parents (poids et taille). Un identifiant unique est généré automatiquement, combinant la date de naissance, le sexe et un numéro d'ordre. Une carte d'identité visuelle est également créée, incluant un QR code pour un accès rapide aux données.

Exemple :

```
id_enfant = f"{date_part}{sexe_code}{str(number).zfill(3)}"
```



A screenshot of a web browser window titled "Ajouter un enfant". The window contains a form with the following elements:

- A header with a plus sign icon and the text "Ajouter un nouvel enfant".
- Input fields for "Nom", "Prénom", "Date de naissance (YYYY-MM-DD)", "Sexe (M/F)", "Poids du père (kg)", "Taille du père (cm)", "Poids de la mère (kg)", and "Taille de la mère (cm)".
- A blue button labeled "Enregistrer" at the bottom.

Figure 32: Formulaire d'ajout d'un enfant

- **Modification des données d'enfant :**

Les informations des patients peuvent être mises à jour à tout moment (nom, prénom, etc.) en spécifiant l'identifiant de l'enfant et le champ à modifier.

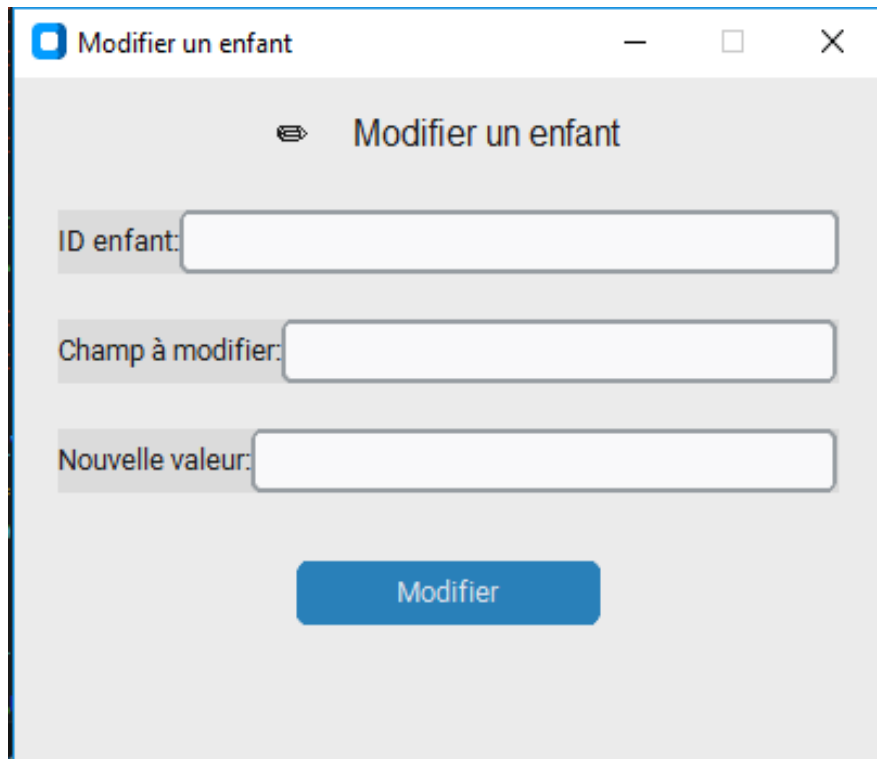


Figure 33: Interface de modification d'un enfant.

- **Suppression d'un patient :**

Un patient peut être supprimé de la base de données en entrant son identifiant. Une confirmation est demandée pour éviter les erreurs.

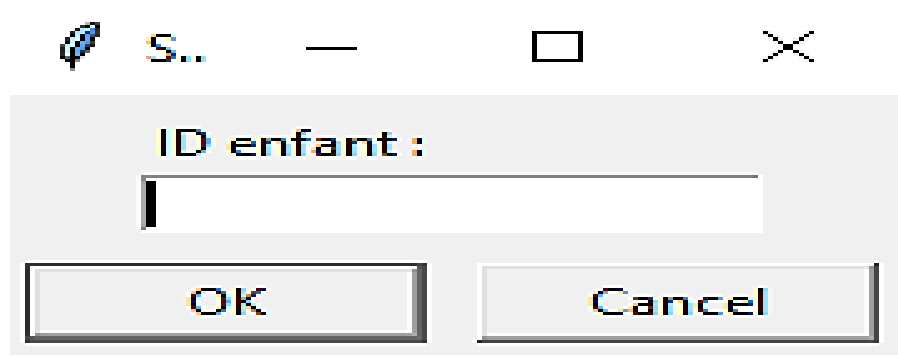


Figure 34: interface de suppression d'enfant

2. Gestion des mesures

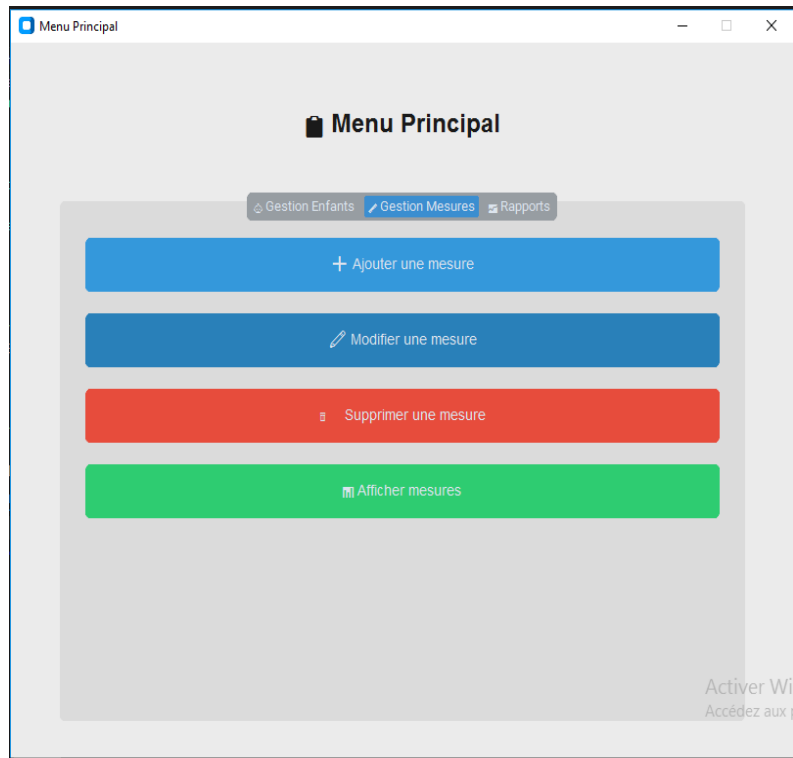
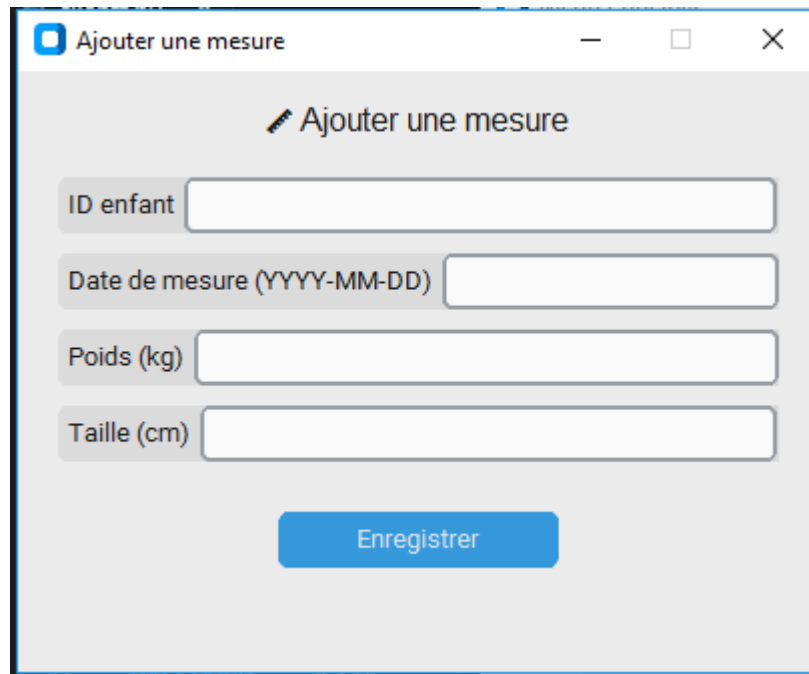


Figure 35: Onglet gestion de mesure

- **Ajout de mesures :**

Le médecin peut enregistrer le poids et la taille d'un enfant à une date donnée. Les données sont immédiatement disponibles pour analyse.

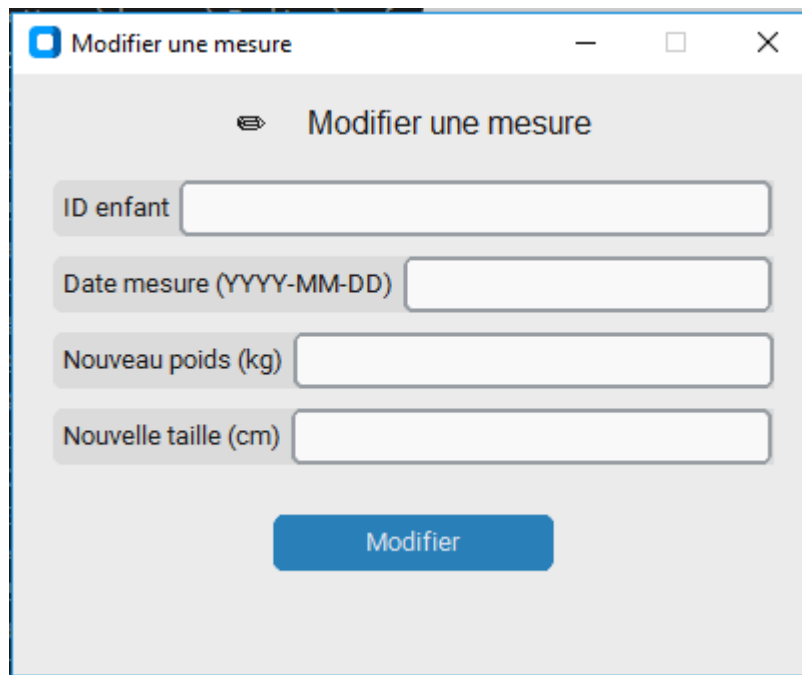


The screenshot shows a web browser window titled "Ajouter une mesure". The page content includes a header with a pencil icon and the text "Ajouter une mesure". Below the header are four input fields: "ID enfant", "Date de mesure (YYYY-MM-DD)", "Poids (kg)", and "Taille (cm)". At the bottom of the form is a blue button labeled "Enregistrer".

Figure 36: formulaire d'ajout d'enfant

- **Modification des mesures :**

Seules les mesures du jour même peuvent être modifiées pour garantir l'intégrité des données.

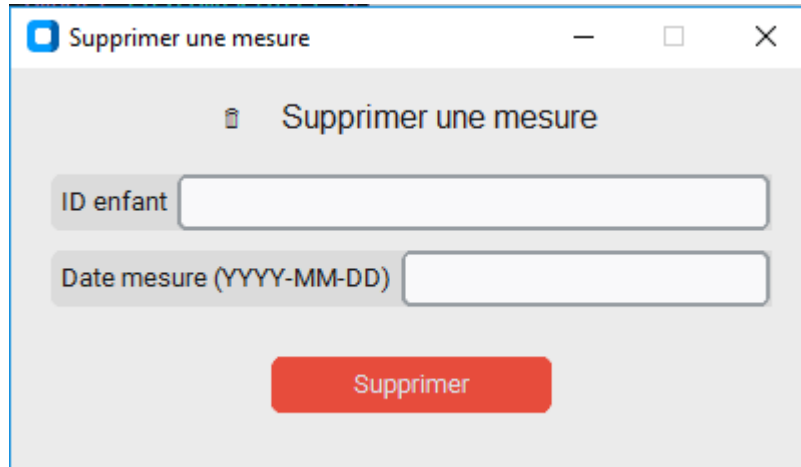


The screenshot shows a web browser window titled "Modifier une mesure". The page content includes a header with a pencil icon and the text "Modifier une mesure". Below the header are four input fields: "ID enfant", "Date mesure (YYYY-MM-DD)", "Nouveau poids (kg)", and "Nouvelle taille (cm)". At the bottom of the form is a blue button labeled "Modifier".

Figure 37: formulaire de modification de mesure d'enfant

- **Suppression de mesures :**

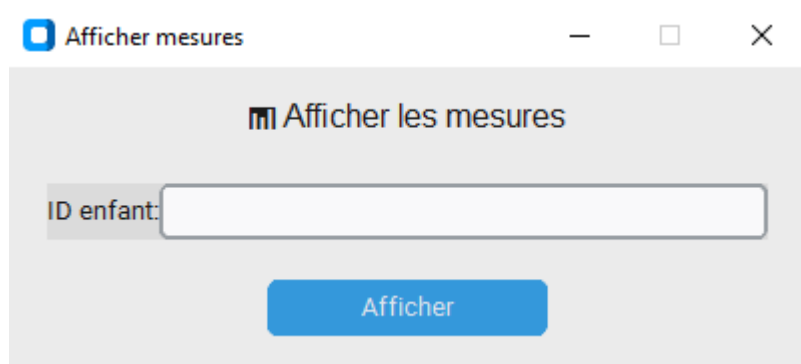
Une mesure erronée peut être supprimée en spécifiant l'identifiant de l'enfant et la date concernée.



The screenshot shows a dialog box titled "Supprimer une mesure" with a trash icon. It contains two input fields: "ID enfant" and "Date mesure (YYYY-MM-DD)". Below the fields is a red button labeled "Supprimer".

Figure 38: suppression d'une mesure

- **Affiche des mesures :**



The screenshot shows a dialog box titled "Afficher mesures" with a list icon. It contains one input field labeled "ID enfant:". Below the field is a blue button labeled "Afficher".

Figure 39: affichage des mesures

3. Rapports :

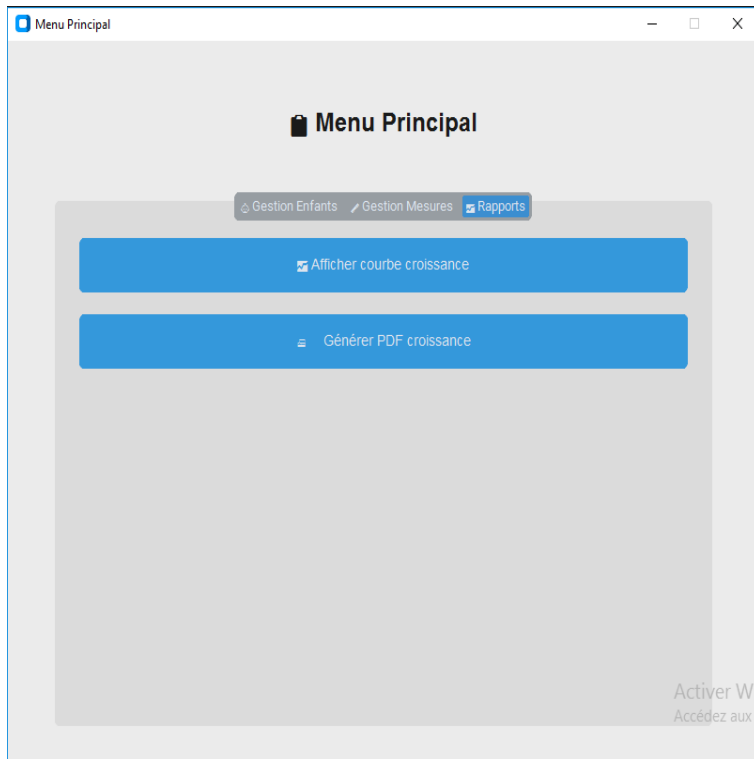


Figure 40: menu de rapports visualisation des données

- **Courbes de croissance superposées aux courbes de l'OMS :**

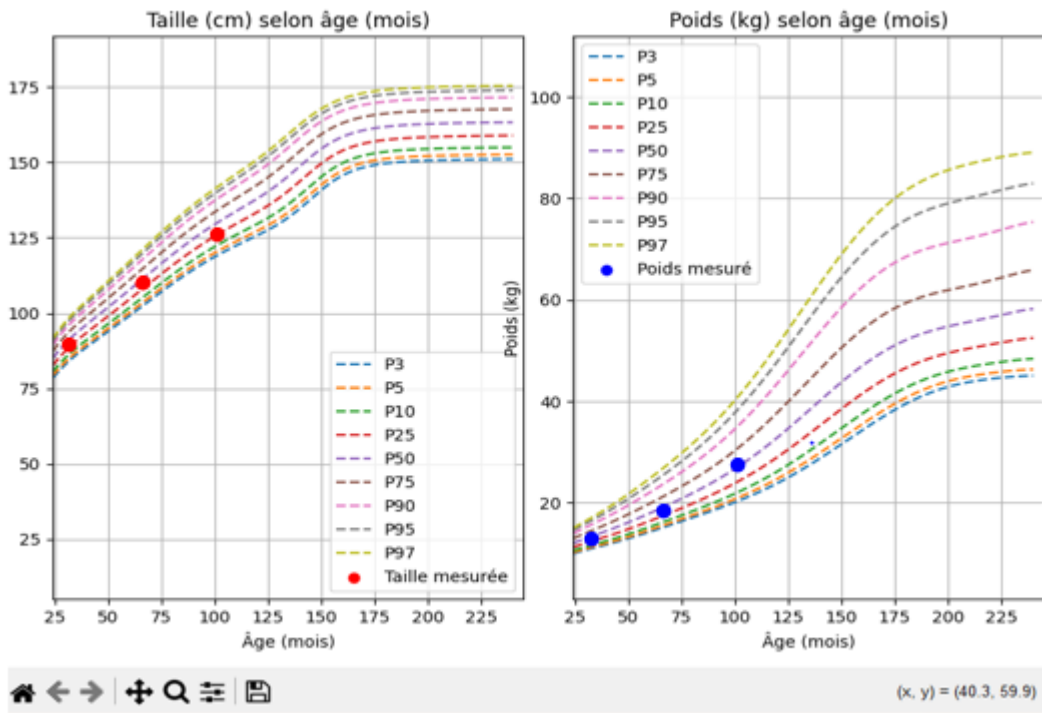


Figure 41: courbe OMS dans le système de station d'enfant Lina

- **Génération de PDF :**

Les courbes peuvent être exportées sous forme de rapport PDF pour archivage ou partage avec les parents, puis le médecin peut écrire la consultation avec les courbes affichés.

III.4 Application mobile (suivi enfant _parent-App) :

Dans le but de faciliter le suivi de la croissance des enfants par leurs parents, une application mobile a été développée dans le cadre de ce projet. Elle constitue l'interface principale de communication avec le système et permet d'accéder à distance et en temps réel, aux données recueillies par la station intelligente. Ainsi, il est possible de récupérer automatiquement le profil de chaque enfant ainsi que l'historique de ses mesures (taille, poids).



Figure 42: Icône de l'application Suivi Enfant – Parent App

L'application mobile illustrée est développée en **Flutter**, un framework open source créé par Google, qui repose sur le langage de programmation Dart. Flutter permet de concevoir des applications multiplateformes (Android, iOS, Web, Desktop) à partir d'un code unique, tout en offrant une interface utilisateur fluide et performante.

L'architecture logicielle repose sur **Firebase**, une plateforme de développement proposée également par Google. Firebase fournit différents services essentiels, notamment l'authentification, le stockage et surtout la gestion des bases de données. Dans le cadre présent, l'application utilise une base de données Firebase, ce qui permet le stockage et la synchronisation en temps réel des informations médicales relatives aux enfants, garantissant ainsi accessibilité, sécurité et fiabilité des données.

III.4.1 Description des interfaces

Interface principale :

La première capture d'écran illustre l'écran d'accueil de l'application. L'utilisateur est invité à saisir l'**ID unique de l'enfant** dans un champ prévu à cet effet. Cet identifiant agit comme clé d'accès aux informations médicales. Un bouton intitulé *Afficher les données*, accompagné d'une icône de recherche, permet de déclencher la récupération des données depuis la base Firebase. L'interface est simple et ergonomique, conçue pour limiter les erreurs de manipulation et faciliter l'usage quotidien par le personnel médical ou les parents.



Figure 43: Interface principale : saisie de l'ID de l'enfant pour afficher les données

Et voici IDs des enfants dans l'application mobile :

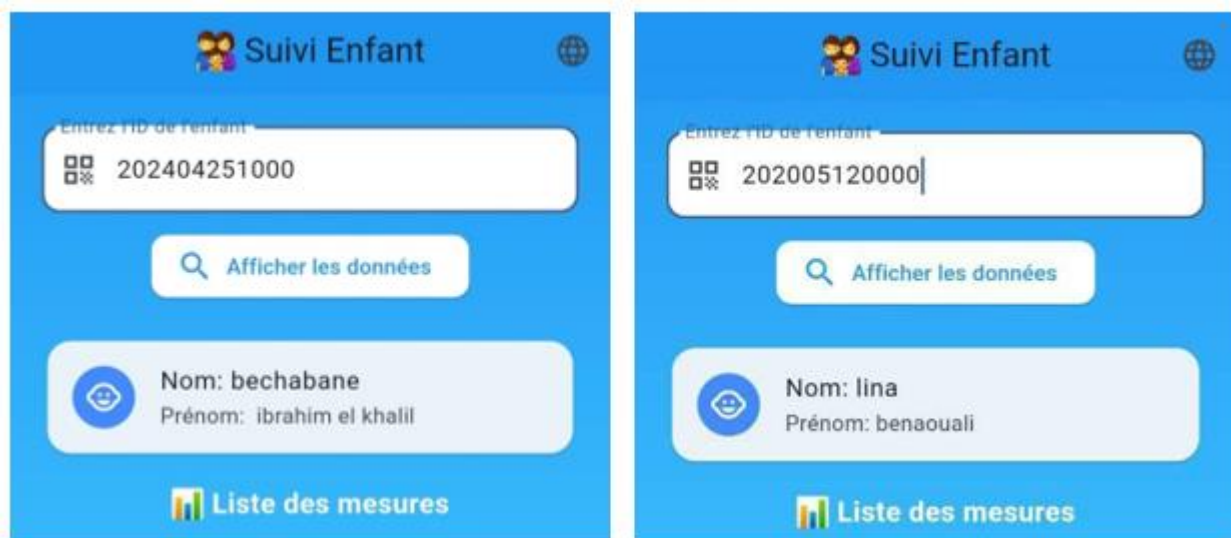


Figure 44: exemples d'entrée d'IDs enfants

Interface d’affichage :

Après saisie et validation de l’ID de l’enfant, l’application affiche les informations nominatives de ce dernier (nom et prénom) suivies d’une section intitulée **Liste des mesures**. Cette section se présente sous forme de cartes visuelles qui structurent les données médicales de manière claire. Chaque carte correspond à un enregistrement et contient :

- La **date de mesure**.
- La **taille** exprimée en centimètres,
- Le **poids** exprimé en kilogrammes.

Cette application mobile constitue un outil efficace pour le **suivi pédiatrique**, et peut remplacer le carnet de santé utilisé en Algérie.



Figure 45: Interface d’affichage des données de l’enfant et de la liste des mesures

III.5 Conclusion :

En conclusion, le système de suivi médical automatisé que nous avons développé représente une solution innovante dans le domaine de la santé infantile, alliant précision technique et facilité d'utilisation. Cependant, notre ambition ne s'arrête pas là et s'étend à des perspectives de développement plus larges visant à renforcer la protection de l'enfant et sa santé.

Premièrement, nous visons à adapter notre station de mesure pour les enfants de moins de deux ans ou un an et demi, qui éprouvent des difficultés à se tenir debout confortablement pour la mesure de la taille. Nous travaillerons à concevoir des dispositifs de mesure de taille spécifiques aux nourrissons, adaptés à leurs différentes étapes de croissance, tout en offrant un environnement de mesure confortable et sécurisé répondant aux besoins de cette tranche d'âge.

Deuxièmement, nous développerons l'application mobile pour qu'elle devienne une alternative moderne au carnet de santé traditionnel, en y ajoutant une fonction de rappel pour les vaccins essentiels des enfants. L'application enverra des alertes intelligentes aux parents avant chaque vaccination, avec des informations sur l'importance de chaque vaccin et les effets secondaires potentiels, contribuant ainsi à sensibiliser les familles et à garantir que chaque enfant reçoive ses vaccins en temps voulu.

Troisièmement, nous ambitionnons d'élargir le système pour inclure le suivi d'indicateurs de santé supplémentaires tels que le périmètre crânien et l'IMC, tout en connectant les données à la plateforme nationale de santé pour constituer un dossier médical électronique complet de l'enfant.

A travers cette vision globale, nous réaffirmons que notre objectif fondamental est de protéger l'enfant et sa santé en fournissant des outils technologiques avancés qui contribuent à la prévention et au dépistage précoce de tout problème de croissance, bénéficiant ainsi à la santé de l'ensemble de la communauté.



Conclusion générale

Enfin, nous remercions profondément tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail modeste ; il est le fruit de votre soutien et de votre accompagnement.

L'objectif fondamental du génie biomédical est de développer des dispositifs innovants destinés à améliorer le diagnostic et le traitement médical, tout en proposant des solutions pratiques adaptées aux besoins cliniques. C'est dans cette perspective que s'inscrit notre projet, qui consiste en la réalisation d'une station intelligente de mesure de la taille et du poids des enfants, afin de faciliter l'évaluation de leur croissance et de détecter précocement d'éventuels troubles pouvant être liés à des pathologies graves.

Ce système vise principalement à simplifier et fiabiliser le suivi de la croissance pédiatrique, en fournissant des mesures précises et archivées de manière structurée. Ainsi, une opération qui s'effectuait auparavant de manière manuelle et parfois imprécise devient aujourd'hui plus rapide, plus fiable et plus objective, ce qui améliore la qualité du diagnostic médical.

Sur le plan technique, nous avons adopté une architecture reposant sur un Raspberry Pi comme unité centrale de commande et de gestion des données. Celui-ci assure la lecture des mesures via un capteur ultrasonique HC-SR04 pour la taille et un amplificateur HX711 associé à une cellule de charge pour le poids. Les données sont ensuite traitées numériquement et stockées dans une base de données SQLite, garantissant un archivage sécurisé et structuré des informations de chaque enfant.

Parallèlement à la partie matérielle, nous avons développé une interface graphique en Python (Tkinter) permettant au personnel médical de visualiser les mesures en temps réel et de les comparer aux courbes de croissance de référence à travers des graphiques dynamiques. Une identification unique par QR Code a également été mise en place afin d'accéder rapidement au dossier de l'enfant et d'éviter toute duplication d'enregistrements.

Conscients de l'importance de l'implication des parents dans le suivi de la santé de leurs enfants, nous avons en outre conçu une application mobile dédiée aux parents. Celle-ci leur permet de consulter directement, via leur smartphone, l'historique des mesures de leur enfant, de visualiser son évolution sous forme de courbes et de recevoir des alertes en cas d'anomalie détectée par rapport aux valeurs de référence. Cette innovation confère à notre système une dimension plus intégrée, en établissant un lien permanent entre le médecin, le personnel soignant et les parents.

Ce projet nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques et pratiques dans des domaines variés :

Électronique médicale, à travers l'exploitation et l'étalonnage des capteurs ;

Programmation logicielle, grâce au développement d'interfaces et d'applications mobiles ;

Bases de données médicales, via la conception et la gestion d'une base SQLite fiable ;

Intégration matériel-logiciel, en assurant la compatibilité et la communication entre les différents modules du système.

Bien que plusieurs défis techniques aient été rencontrés — tels que l'étalonnage des capteurs, la gestion des communications entre composants et l'optimisation de la base de données — leur résolution progressive a constitué une véritable opportunité d'apprentissage et d'enrichissement de nos compétences.

En somme, notre réalisation constitue une expérience significative dans le domaine des dispositifs médicaux intelligents, en combinant précision, ergonomie et interactivité. Elle peut servir de base au développement futur de systèmes plus avancés, intégrant par exemple la connectivité réseau (TCP/IP, Wi-Fi) avec les bases de données hospitalières, la génération automatique de rapports analytiques ou encore l'intégration avec les dossiers médicaux électroniques.

Nous considérons ainsi ce travail comme une étape concrète vers la mise en place d'une station intelligente et complète pour le suivi de la croissance en pédiatrie, contribuant à la fois à améliorer la pratique médicale et à impliquer activement les parents dans la surveillance de la santé de leurs enfants.

IV. Bibliographie

- [1] M. khiati, livre " l'essentiel en pédiatre ", Alger: Office des publications universitaires, 2015.
- [2] A. j. Y. aujard, Pédiatrie, Paris: Ellipses, 1989.
- [3] Pédiadoc, Croissance normale et pathologique.
- [4] L. d. M. P. (LMGL), Taille des enfants : normes et courbes de croissance.
- [5] S. A. Bensenouci, les éléments de pédiatre, p. 67.
- [6] A. Bourillon, livre Pédiatrie (3^e édition), É. Masson, Éd., 2005, p. 26.
- [7] S. A. Bensenouci, les éléments de pédiatre, p. 68.
- [8] P. D. m. O. Jenni, Kinderspital Zürich, S. S. d. Pédiatrie, Éd., Steinwiesstrasse 75, CH-8032 Zürich.
- [9] C. C. D.-M. e. L. Nezzal, Intérêt des courbes de croissance nationales pour les enfants et les adolescents algériens, UMC Constantine, Algérie, 2018.
- [10] A. B. J. G. Y. Aujard, Pédiatrie, Paris, 1989, pp. pp. 27-28.
- [11] A. J. Y. Aujard, pédiatrie, p. 27/28.
- [12] N. d. c. d. l'enfant, i. d. l. Santé, Éd.
- [13] P. D. m. O. Jenni, Kinderspital Zürich (Hôpital universitaire des enfants de Zurich), Steinwiesstrasse 75, CH-8032 Zürich, Suisse: Société Suisse de Pédiatrie (SSP), 2011.
- [14] L. D. d. C. e. l. S. c. d. pédiatrie, Le guide d'utilisation des courbes de croissance de l'OMS pour le Canada à l'intention du professionnel de la santé (mise à jour en 2014), M. à. j. 2014, Éd., 2014.
- [15] M. SA, Ce qu'il faut savoir sur la toise.
- [16] B. Toomed, Une toise de mesure : à quoi sert-elle ?, 2024.
- [17] est ce que la toise mesure la taille
- [18] ULTRASONIC SENSOR HC-SR04.
- [19] Ultrasonic Sensor HC-SR04.

- [20] D. F. A. Joda, Arduino programming, College of Engineering & Technology, Department of Computer Engineering Techniques.
- [21] A. R. F. A. B. C. J. V. S. L. E. Kinsler, Fundamentals of Acoustics, 4^e édition éd., Wiley, Éd., New York, USA, 2000.
- [22] Hc SR04 et l'arduino
- [23] D. F. A. Joda, Arduino programming, College of Engineering & Technology, Department of Computer Engineering Techniques.
- [24] Balance de pesée utilisant HX711, Projet technique.
- [25] Arduino pour la surveillance du poids à distance (par bluetooth).
- [26] Raspberry Pi Foundation, Camera Module v2.
- [27] Adafruit, Using the Raspberry Pi Camera with Python.
- [28] Raspberry Pi Foundation, Camera – Raspberry Pi Documentation.
- [29] Écran 3.5, LCD HDMI tactile pour Raspberry Pi 3 et 4.
- [30] Raspberry Pi, Installer & Configurer un écran tactile RPA03510R 3,5.
- [31] Raspberry Pi, Installer & Configurer un écran tactile RPA03510R 3,5.
- [32] Raspberry Pi Foundation, Connecting Buttons to GPIO – Raspberry Pi Documentation.
- [33] M.-C. Elec, Le bouton poussoir ou BP.
- [34] Raspberry Lab, 25 mars 2019, Interaction avec le Raspberry par bouton poussoir.
- [35] Elprocus – Electronics Project Ideas & News, Buzzer: Working, Types, Circuit, Advantages & Disadvantages.
- [36] Wikipédia, Buzzer.
- [37] Comprendre le Buzzer en Technologie : Définition et Applications.

