

Mise au point d'un respirateur low-cost open-source

Maître de Stage : Orphée Cugat (G2Elab)
Tuteur de Stage : Benoît Malard
Collaborateurs : Marc Pleyber (CHU de Voiron)
Xavier Galtier (ENISE Saint-Etienne)
2020-2021



Plan

- 1. Contexte : Respirateur mid-tech low-cost open-source**
 - a) Présentation générale du projet
 - b) Description et fonctionnement du respirateur
- 2. Objectifs du stage**
- 3. Réveil du respirateur**
- 4. Débitmétrie**
 - a) Les débitmètres
 - b) Intégration du volume
- 5. Ergonomie**
 - a) Interface graphique
 - b) Interface de commande
- 6. Implémentation de nouvelles fonctions**
 - a) Calcul de données patient
 - b) Plusieurs modes de ventilation
- 7. Perspectives**

1. Contexte :

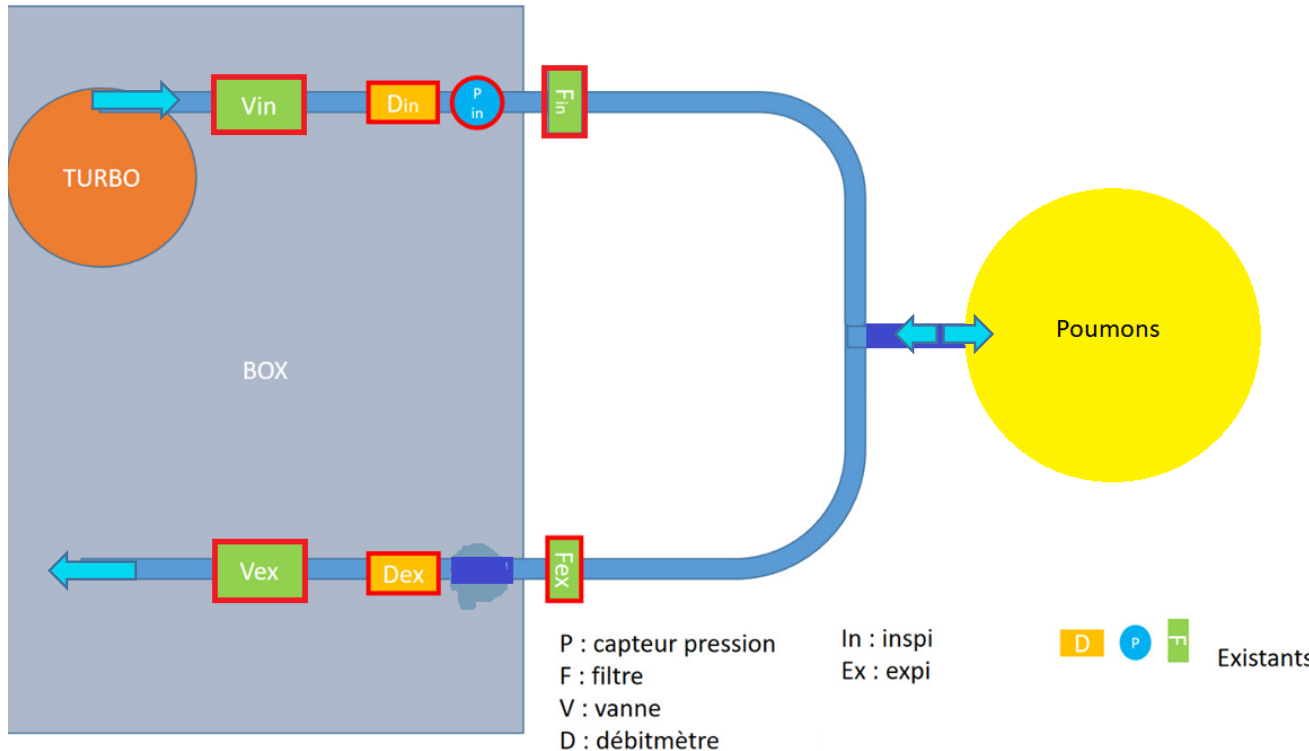
Respirateur mid-tech low-cost open-source

a) Présentation générale du projet

- Equipe OMYXAIR —> développement d'un prototype de respirateur réanimation COVID plus évolué que les BAVU mécanisés
- Utilisation de composants relativement peu chers et disponibles partout
- Diffusion du design en Open-Source
- Destiné à être fabriqué dans des fab-labs dans des pays émergents

1. Respirateur mid-tech low-cost open-source:

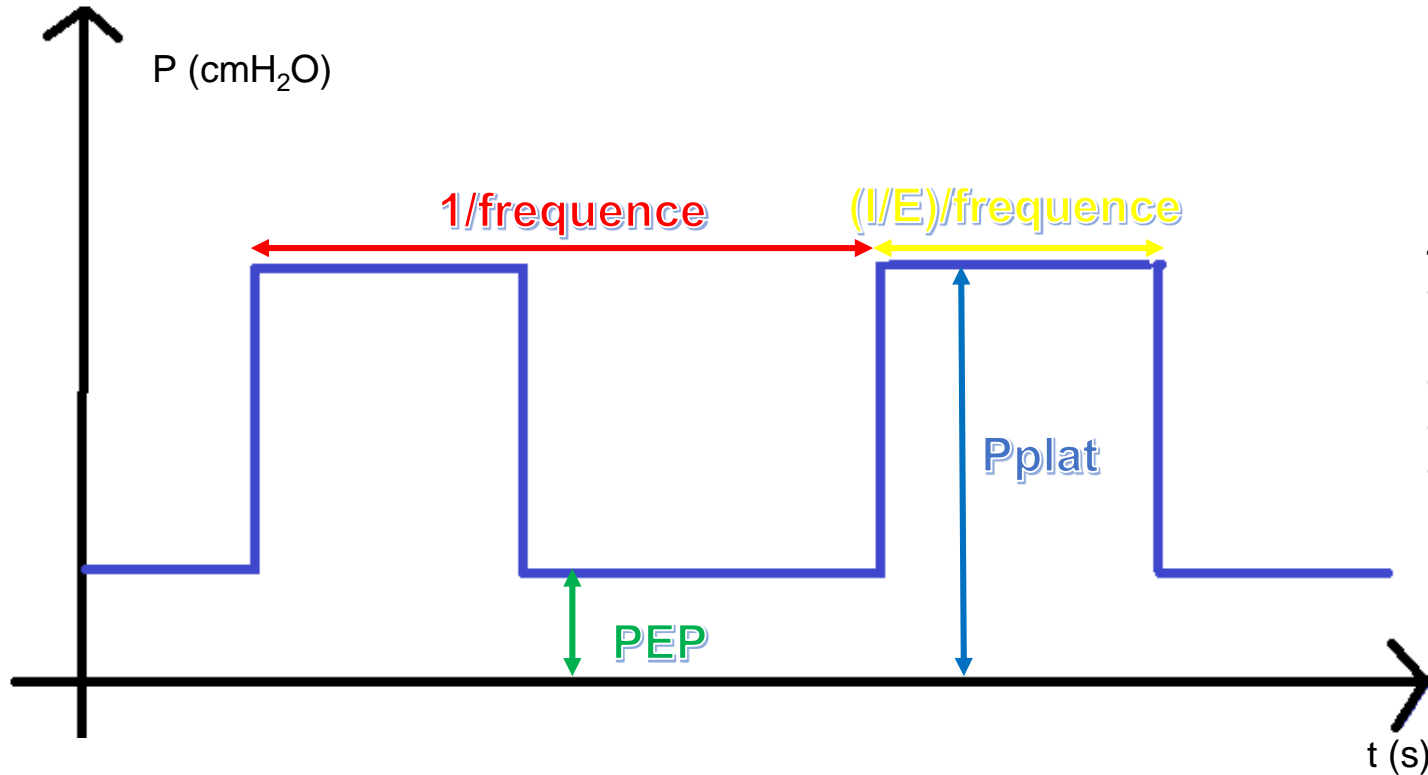
b) Description du respirateur



- Vex tout ou rien
fermée à l'inspiration
ouverte à l'expiration
- Vin asservie par PID
(s'ouvre plus ou moins
en fonction de la différence
entre Préel et P consigne)
- $V = (\text{Débit_Inspi} - \text{Débit_Expi}) \times \Delta t$

1. Respirateur mid-tech low-cost open-source

b) fonctionnement du respirateur



4 potentiomètres :

- Fréquence (cycles/min)
- Ratio I/E
- P_{plat}
- PEP

1. Respirateur mid-tech low-cost open-source

b) prototype initial du respirateur

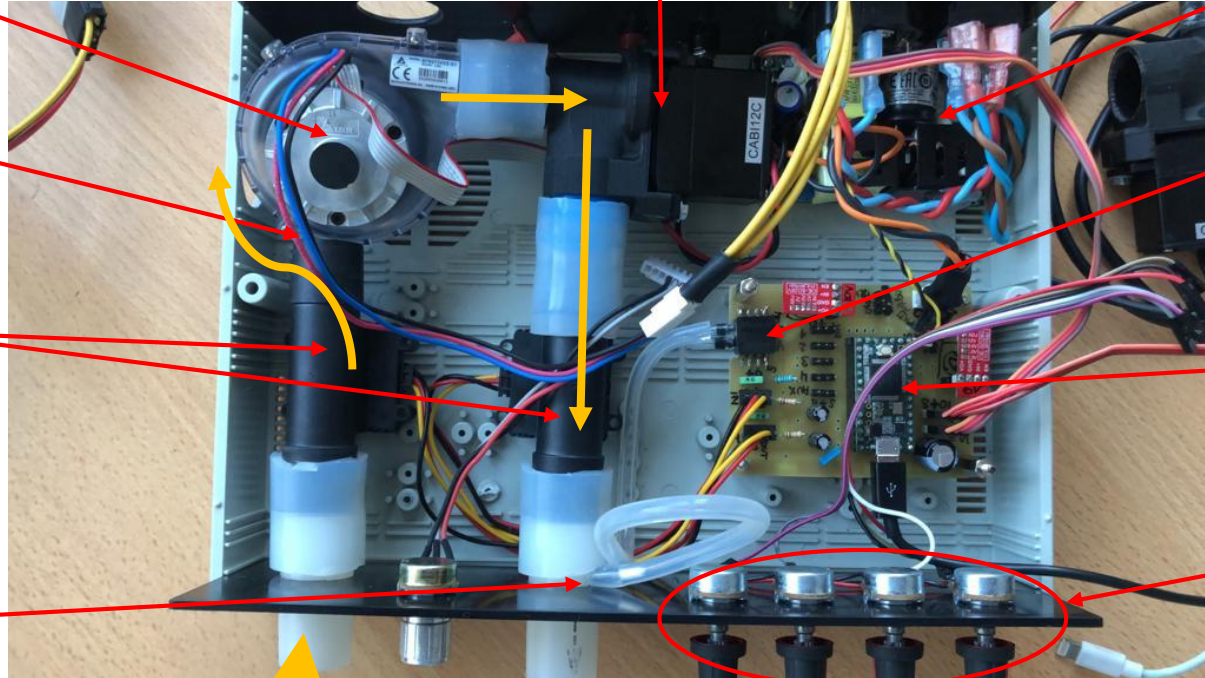
Vanne d'entrée : asservie par PID numérique
(régule la pression dans le système)

Ventilateur
(« turbine »)

Vanne de sortie :
fermée à l'inspiration
ouverte à l'expiration

Débitmètres
(mesure du
Volume inspiré)

Point de prise de pression



Alimentation 12 V

Capteur de pression

Carte Teensy 3.2
(microcontrôleur
type Arduino)
intégrée sur PCB

Potentiomètres
(fréquence cycles,
Ratio I/E, Pression
de plateau, PEP)

2. Objectifs du stage

Hardware :

- Implémenter nouveaux composants (débitmètres MAF, interface graphique, écran tactile, encodeurs numériques)
- Rationaliser architecture interne du respirateur

Software :

- Essais et évolution du logiciel de pilotage existant
- Réglage du PID
- Linéarisation des débitmètres
- Implémentation des alarmes, triggers, modes respiratoires
- Implémentation d'un écran (interface graphique)

Pré-test:

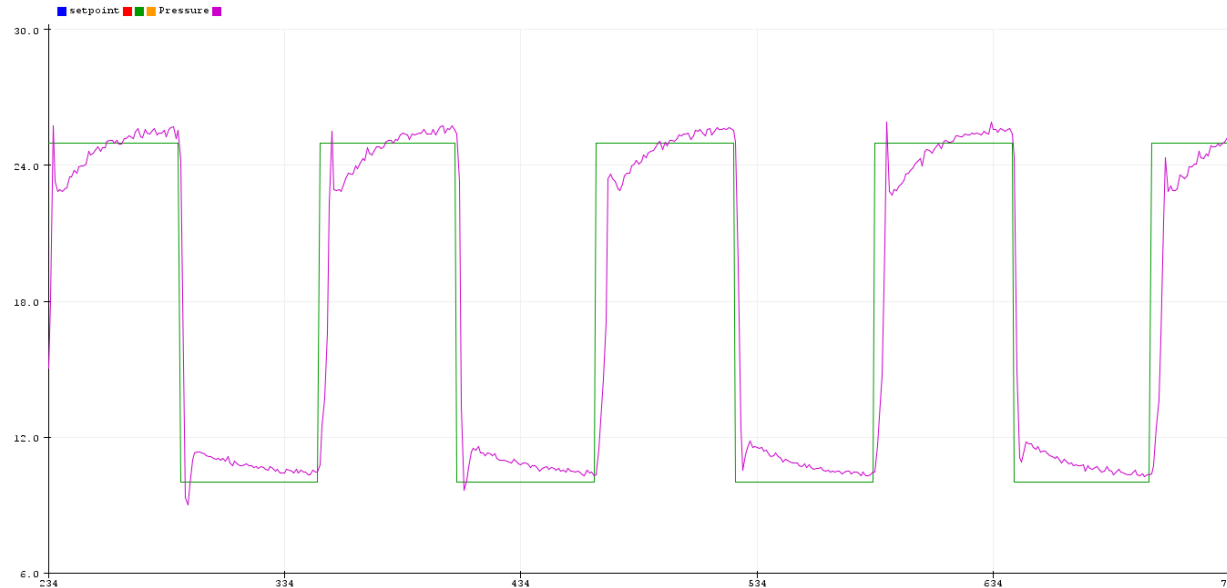
- Test du respirateur sur un poumon artificiel

3. Réveil du respirateur *en début de stage*

- Débogage
- Réglage du PID

Pression
(cmH₂O)

Courbe pression de consigne et pression réelle



Temps (s)

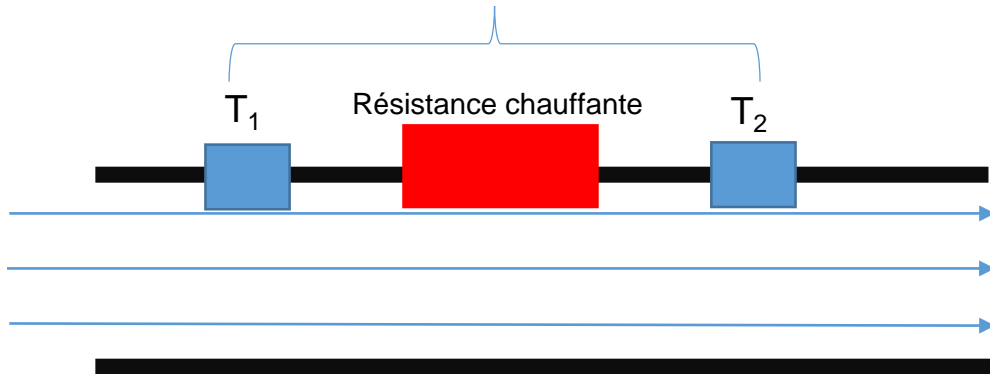
3. Débitmétrie

a) débitmètres MAF

- Débitmètres MEMS pariétaux à fils chauds



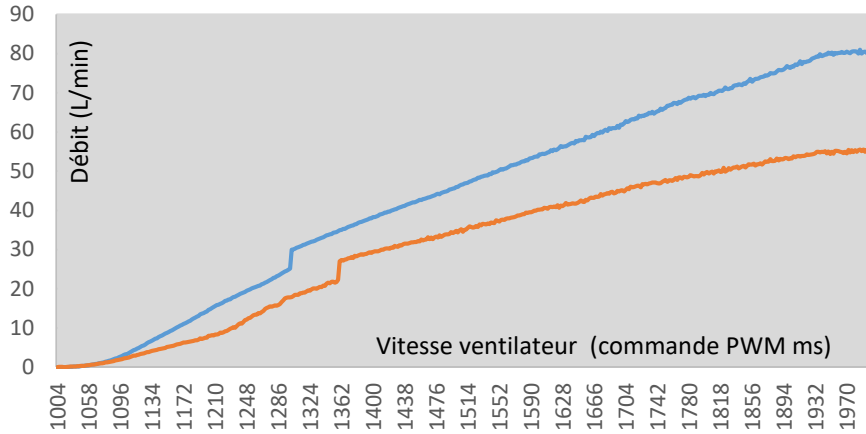
ΔT → Débit massique



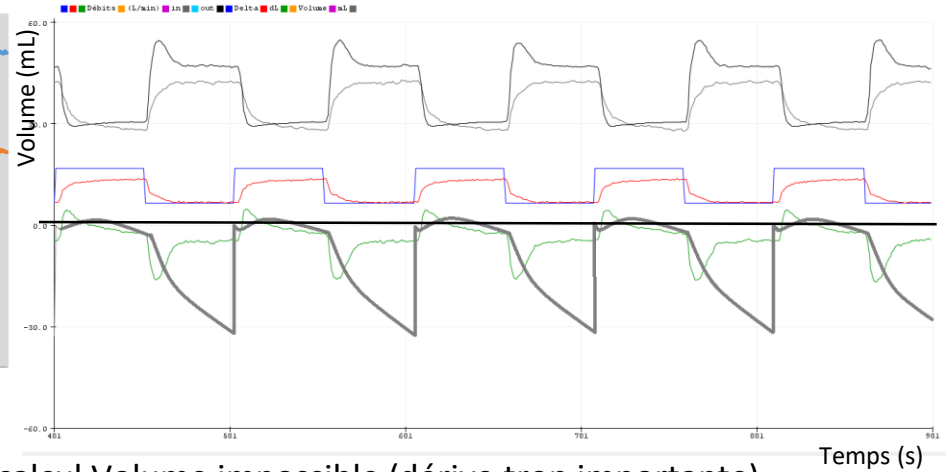
3. Débitmétrie

a) appairage de MAFs

Courbes débit/vitesse ventilateur (débitmètres placés en série)



Courbe d'intégration du volume



- Les 2 débitmètres ne donnent pas le même débit : calcul Volume impossible (dérive trop importante)

3. Débitmétrie

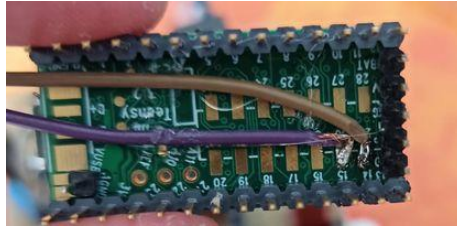
a) implémentation des MAFs

Achat de nouveaux débitmètres : MEMS pariétaux à fils chauds

- Design adapté à l'intégration dans un respirateur (dimensions standard médical, transparence)
- Protocole de communication I2C



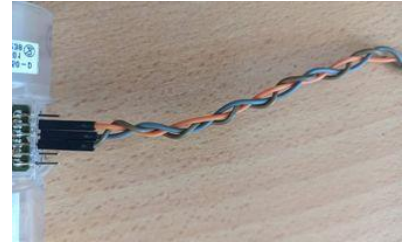
Perçage et soudure des connexions



Soudure des fils sur le 2^e port I2C de la Teensy



Soudure de résistances de pull-up (résistances de pull-up internes trop faibles)

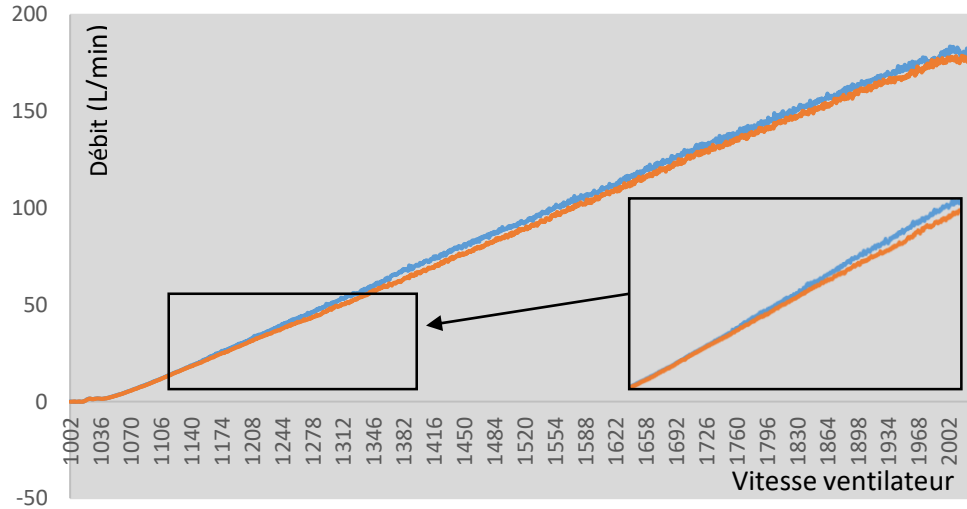


Raccourcissement et tressage des fils de communication (interférences)

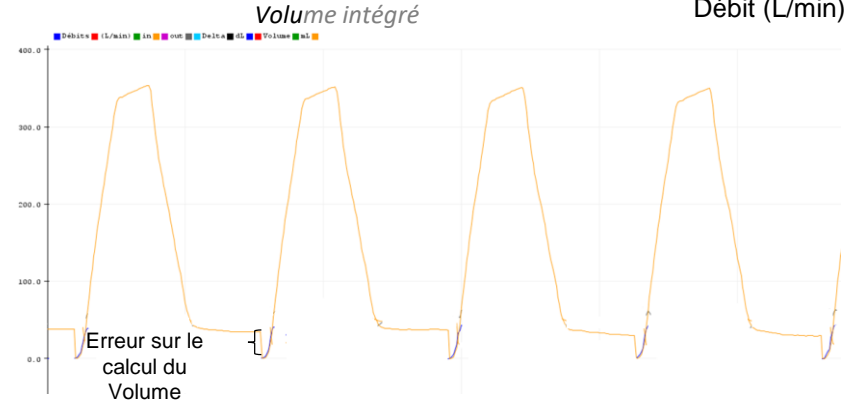
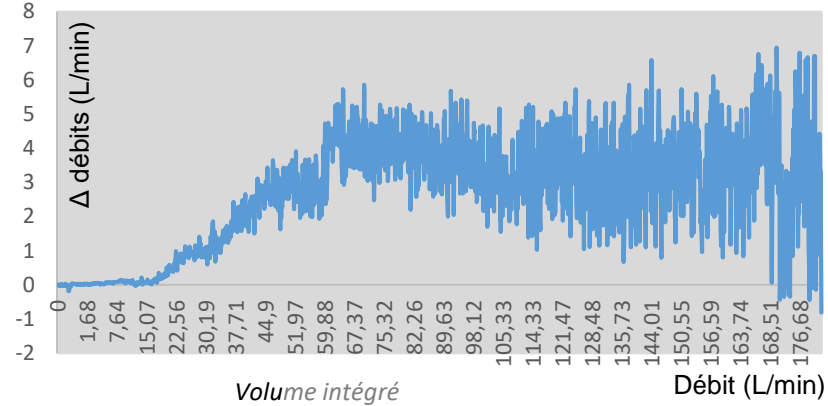
3. Débitmètrie

b) Intégration du volume

Courbes Débit/Vitesse ventilateur (débitmètres en série)



Delta-débit/débit (débitmètres en série)



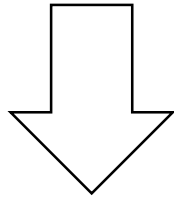
- Respirateur : Débits compris entre 5 et 70 L/min
- Débit > 20 L/min : Δ > 1 L/min \rightarrow erreur 10% sur une inspiration « standard » : OK pour CHU
- 2 problèmes couplés : non reproductibilité des débitmètres et turbulences

3. Débitmétrie

b) Intégration du Volume

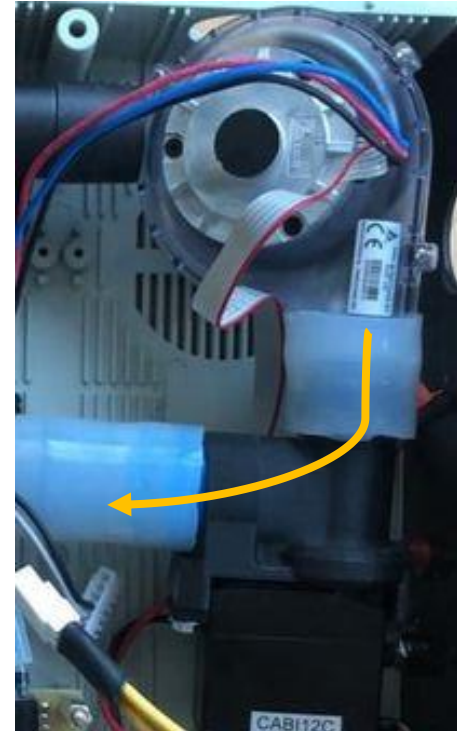
1^{ère} cause possible de turbulences :

vanne entrée située juste avant débitmètre Inspi (coude)



Asservissement du ventilateur par le PID :

- Diminution du bruit en expiration
- Suppression d'une vanne (simplification et diminution du prix)
- Pas d'influence notable sur la mesure des débits



3. Débitmétrie

b) laminarisation du flux

- Structure nid d'abeille : permet de réduire les turbulences (très utilisé dans les souffleries)
- Pas d'amélioration de l'intégration du volume

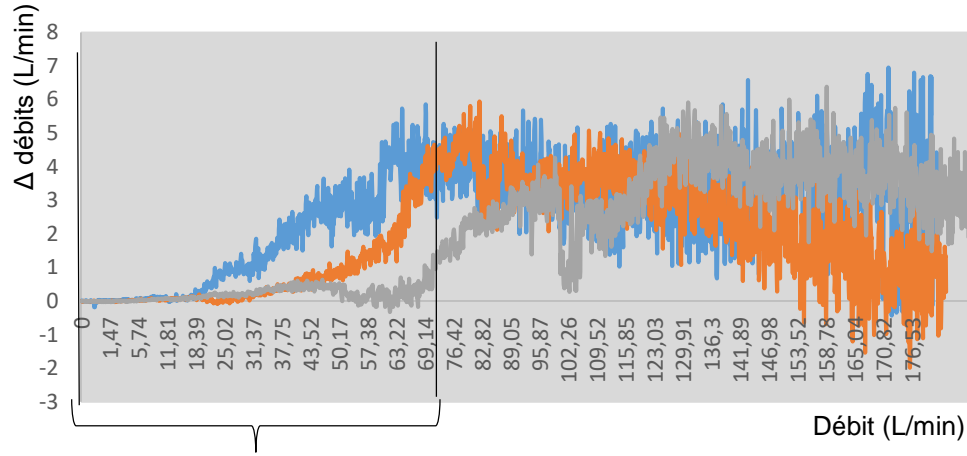
- Certains débitmètres équipés de résilles qui homogénéisent le champ des vitesses (mais ces débitmètres sont 4 fois plus chers)
- Imitation des ces résilles en utilisant des épaisseurs de masques chirurgicaux



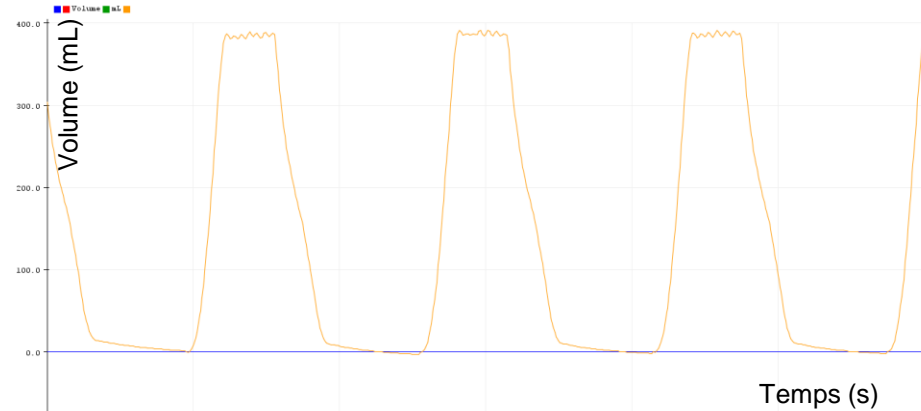
3. Débitmétrie

b) laminarisation du flux

Courbe Delta-débit/débit



Courbe d'intégration du Volume



Zone de travail du respirateur (0 à 70 L/min)

- Sans dispositif nid d'abeille ni épaisseur de masque
- Dispositif nid d'abeille + épaisseur de masque avant le débitmètre d'inspiration
- Dispositif nid d'abeille+épaisseur de masque avant les deux débitmètres

- Erreur sur le calcul du Volume < 8% (non retour à zéro en pied de courbe)

5. Ergonomie: **interface graphique**

Objectif :

Émuler l'interface graphique et le mode d'utilisation d'un respirateur traditionnel (type Monnal-AirLiquide)

Axes de travail :

- Implémentation écran 7 pouces tactile géré par Raspberry Pi4
- Programmation et design interface graphique sur QtCreator (C++)
- Remplacement potentiomètres par encodeurs numériques



Interface graphique Monnal / Air Liquide

5. Ergonomie: **encodeurs**

- Sélection du paramètre à modifier par l'utilisateur sur l'écran tactile
- Modification de ce paramètre en tournant l'encodeur
- Validation de la nouvelle valeur en appuyant sur l'encodeur
- un encodeur pour la gestion des consignes
un encodeur pour la gestion des alarmes



Ecran tactile 7 pouces géré par un RPI 4



Encodeurs numériques pour la gestion des consignes et des alarmes

5. Ergonomie: alarmes, configuration des modes

The screenshot displays the OMYXAir software interface in VPC mode. It features two main graphs: 'Pression en cmH2O' (Pressure in cmH2O) and 'Volume en L' (Volume in L). The pressure graph shows a square wave oscillating between approximately 14 and 25 cmH2O. The volume graph shows a square wave oscillating between approximately -35.7 and 194.3 L. A right-hand panel contains various parameters and alarm settings. A red bar at the bottom indicates a warning: 'Pb: VTE > VTE Maxi'. A dropdown menu at the bottom center is set to 'VPC'.

Parameter	Value
Frequence cy/min	10
Ratio	0.5
PUP	25
PEP	13
Trigger Volume	50,00
VTE (moyenne sur 2 cycles)	186.7 ml
VTE moy./min. (l/m)	TextLabel
Fréq. Réel (cy/min)	TextLabel
Consigne Pression Tps réel	0 cmH2O

Seuils Alarmes : Min/Max	
Freq Min (cy/min)	VTE Min (mL)
Freq Max (cy/min)	VTE Max (mL)
Volume/minute Min	Pression Min
	Pression Max

Pb: VTE > VTE Maxi

OMYXAir - 2020 | Port série: COM4 | **VPC** | Envoie des données

Choix du mode de ventilation

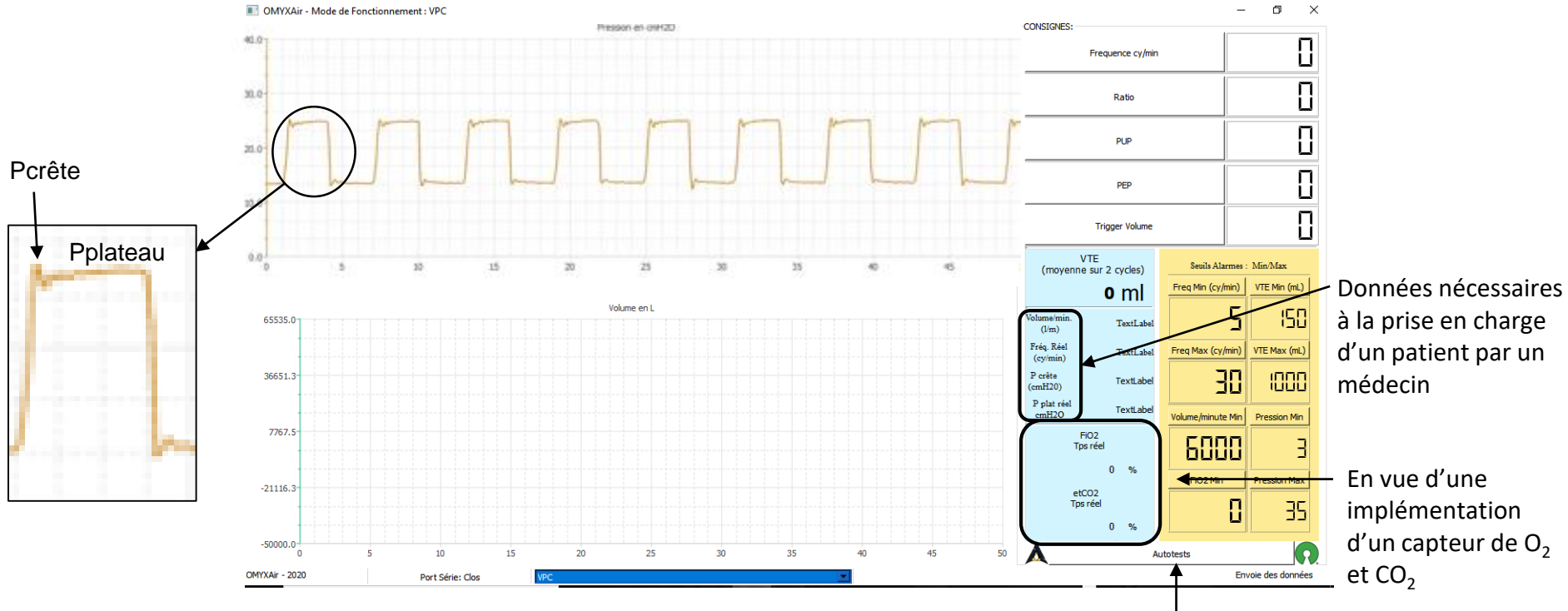
Encodeur 1

Encodeur 2

Affichage de la nature du problème

6. Implémentation de nouvelles fonctions

a) Calculs de données patient



Lancement de la routine de tests (Mise en pression et test des différents capteurs)

6. Implémentation de nouvelles fonctions

a) Calculs de données patient

VTE (mL)	Volume/min (mL)	Freq réelle	Pplateau (cmH2O)	Pcrete (cmH2O)	FiO2 (%)	etCO2 (%)
1						

Pression en cmH2O

Volume en L

CONSIGNES:

Freq (cy/min) [10]

PEP (cmH2O) [3]

Trig Exp (%ΔQMax) [100]

ALARMES :

Freq Min	Freq Max	VTE Min	VTE Max
0	0	0	0
P Min	P Max	FiO2 Min	V/min
0	0	0	0

qt_respi

?

Voulez vous vraiment désactiver cette alarme ?

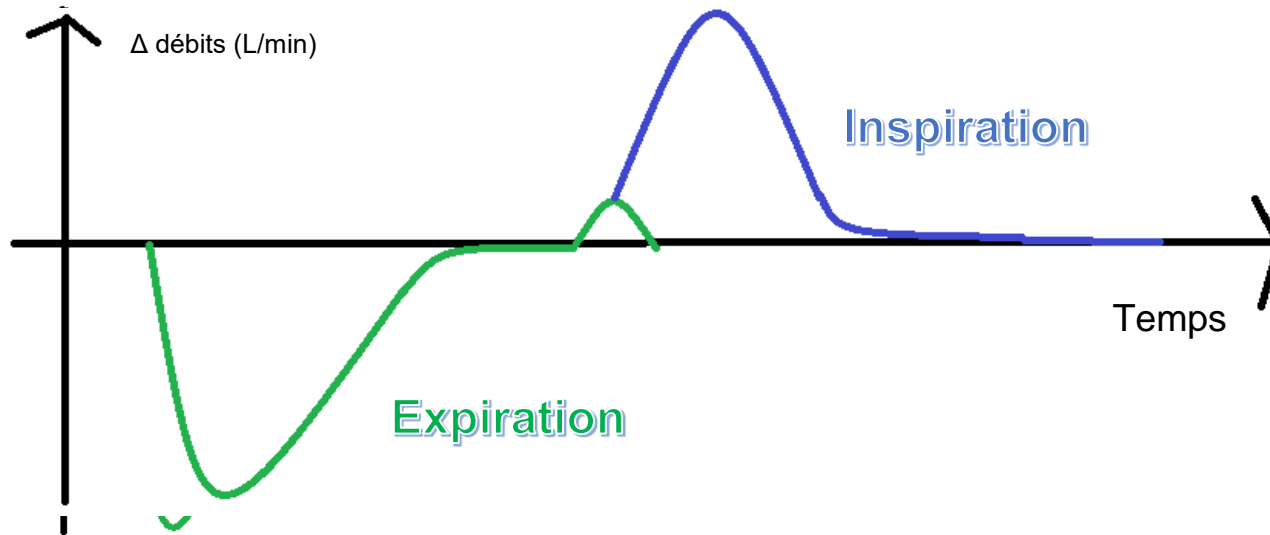
Yes No

OMYXAir - 2020 | Port Série: Clos | OFF | 31 août 2021 - 22:24:35

6. Implémentation de nouvelles fonctions

b) Plusieurs modes de respiration

VPC-A Ventilation en Pression Contrôlée-Aide Inspiratoire



- Trigger (inspiratoire ou expiratoire) \longrightarrow pourcentage du débit Max
- Si Trigger inspiratoire détecté \longrightarrow déclenchement de l'inspiration (et inversement)
- Le patient impose sa fréquence respiratoire
- Le respirateur sert simplement à gérer les pressions

7. Perspectives

- Test du respirateur sur un poumon artificiel
- Intégration du prototype dans un boîtier adapté (machine + écran)
- Intégration d'un mélangeur d'oxygène (ballon mélangeur en amont du ventilateur)
- Intégration d'un capteur d'O₂ et d'un capteur de CO₂
- Evolution de l'interface graphique:
 - Gestion des alarmes (code couleurs, icônes spécifiques, sons...)
 - Affichage d'une courbe CO₂