

# Conception de la commande d'un système d'occlusion de la trachée pour un larynx artificiel implantable actif



Présenté par:

**Adrien Mialland**

Directrice de thèse:

**Agnès Bonvilain**

Médecin ORL:

**Ihab Atallah**

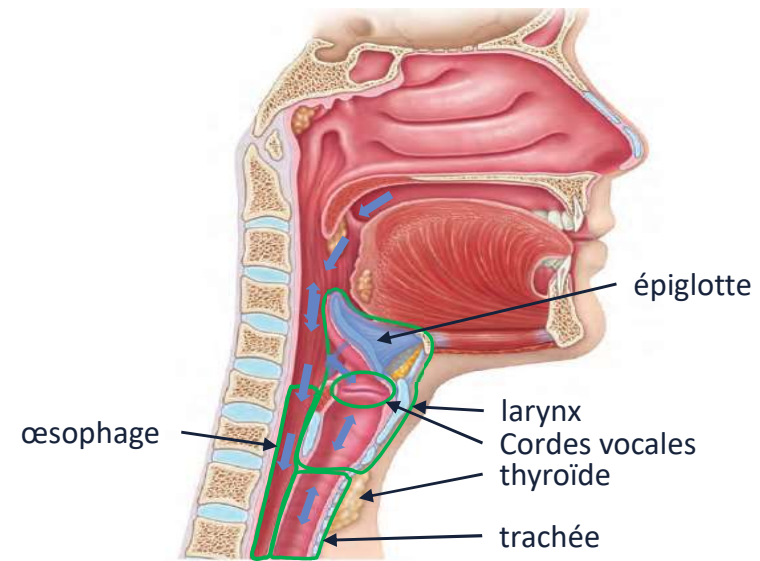
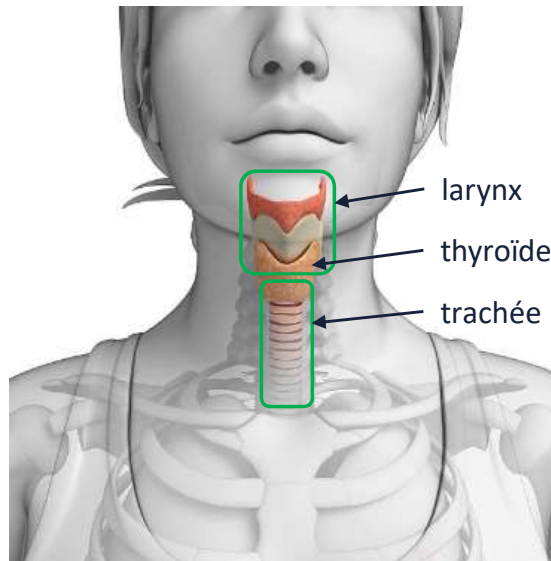
Laboratoire d'accueil :

Grenoble Image Parole Signal Automatique (Gipsa-Lab)  
Université Grenoble Alpes (UGA)

# Plan de la présentation

1. Contexte
2. Protocole de Recherche Clinique (PRC)
3. Étude statistique
4. Détection temps réel
5. Larynx Artificiel Implantable Actif (LAIA)
6. Conclusion et perspectives

# 1. Contexte - Le larynx

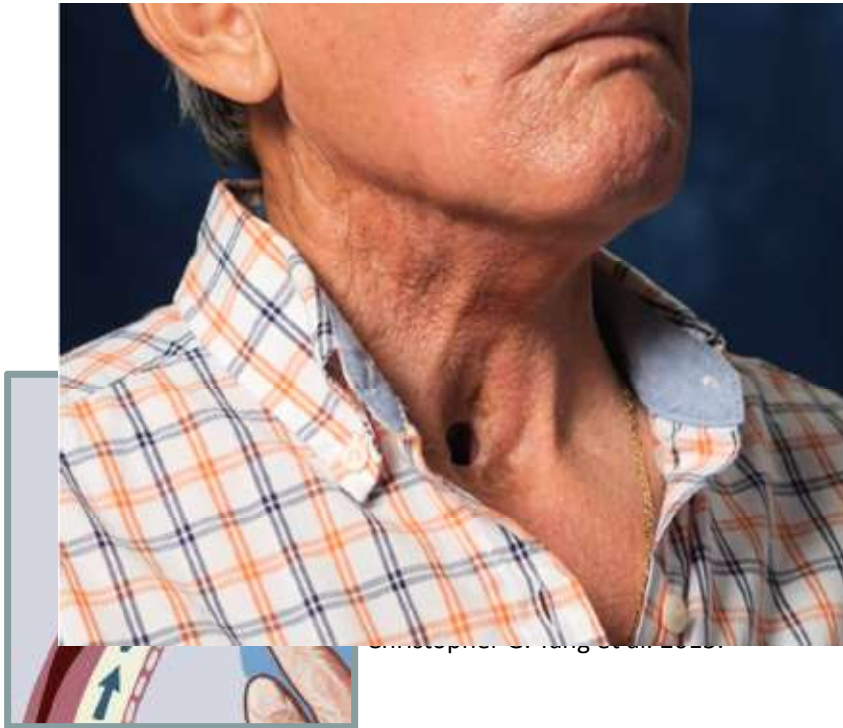


E. Maried et al. 2013

3 principales fonctions:

Respiration - Déglutition - Phonation

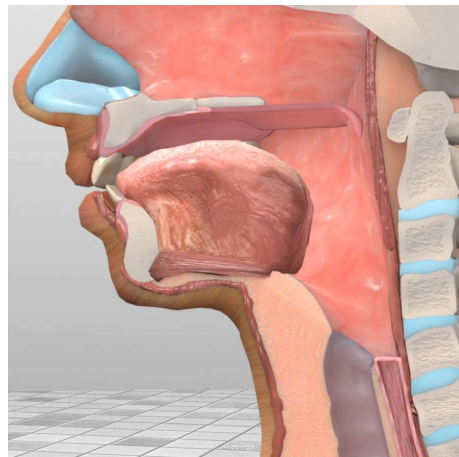
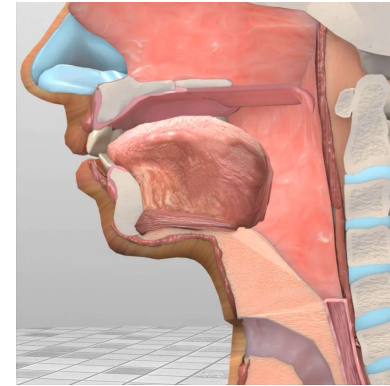
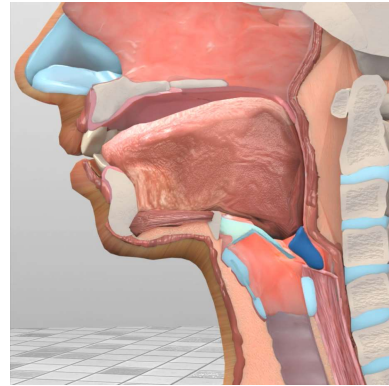
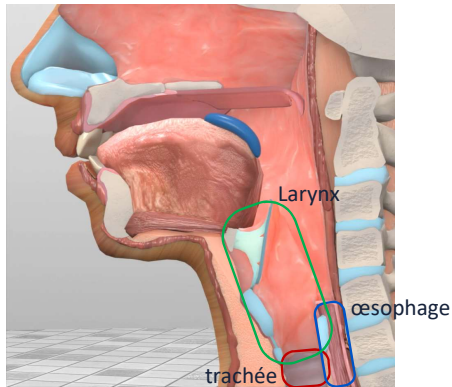
# 1. Contexte - La laryngectomie totale



Les méthodes de réhabilitation:

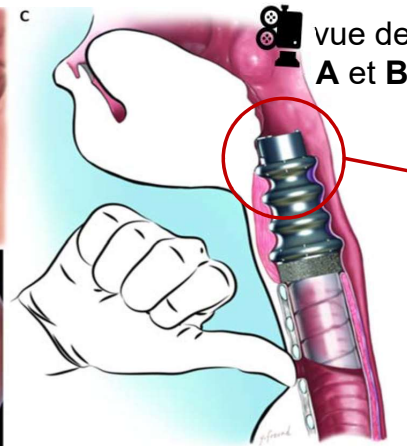
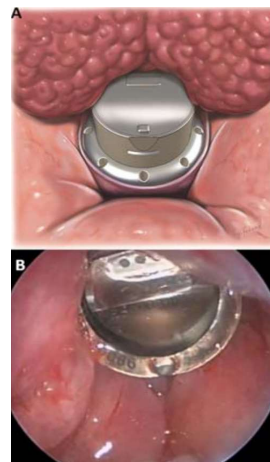
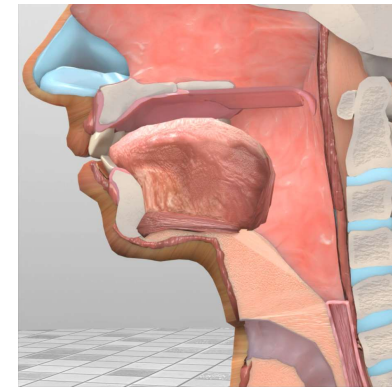
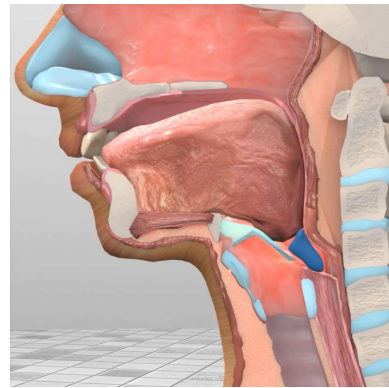
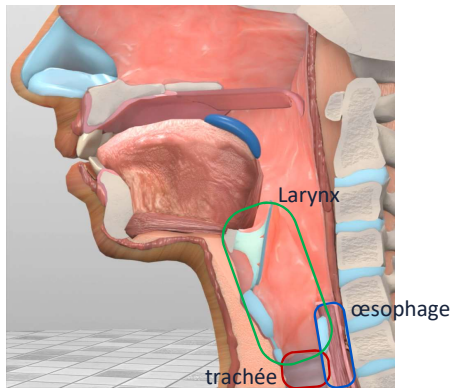
- Trachéostomie.
- Restauration de la voix.

# 1. Contexte - Restauration de la déglutition





# 1. Contexte - Restauration de la déglutition

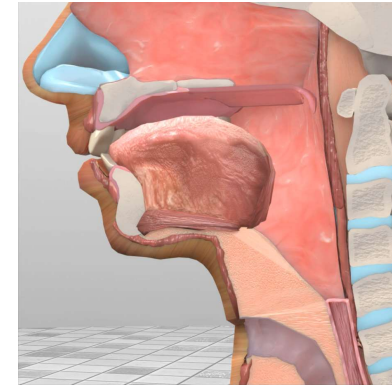
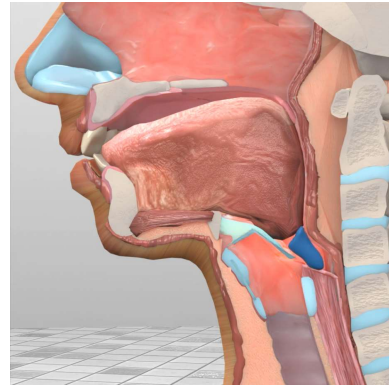
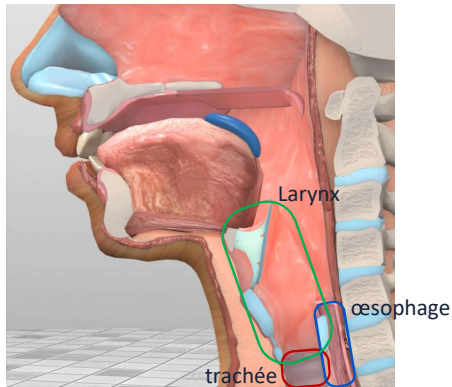


Premier larynx artificiel - 2012:

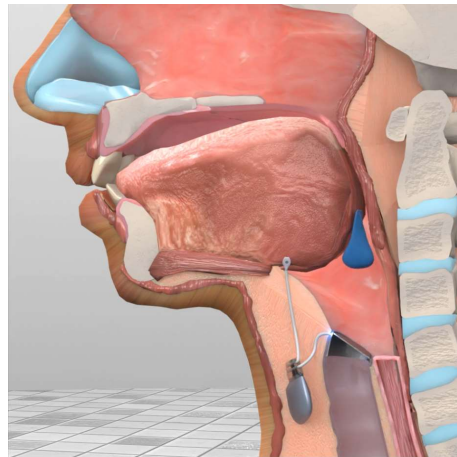
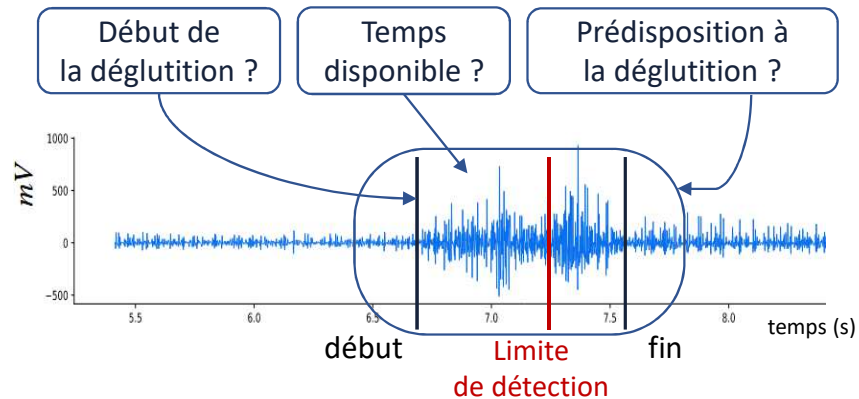
- Mécanisme à clapets - **passif**,
- Implanté chez 6 patients,
- Utilisation sous surveillance médicale,
- **Manque d'étanchéité**,

Debry C. et al. 2014.

# 1. Contexte - Restauration de la déglutition



Exemple d'un signal de déglutition



Détection temps réel - contraintes:

- Précocité
- Justesse
- Préservation
- Consommation

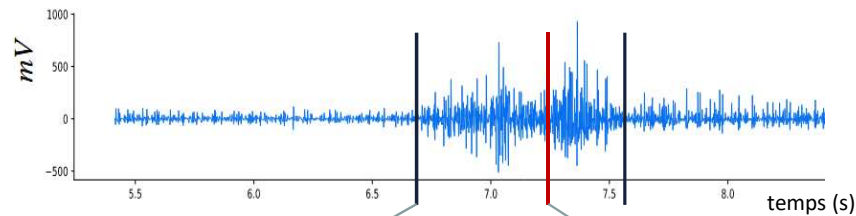
# Plan de la présentation

1. Contexte
- 2. Protocole de Recherche Clinique (PRC)**
3. Étude statistique
4. Détection temps réel
5. Larynx Artificiel Implantable Actif (LAIA)
6. Conclusion et perspectives

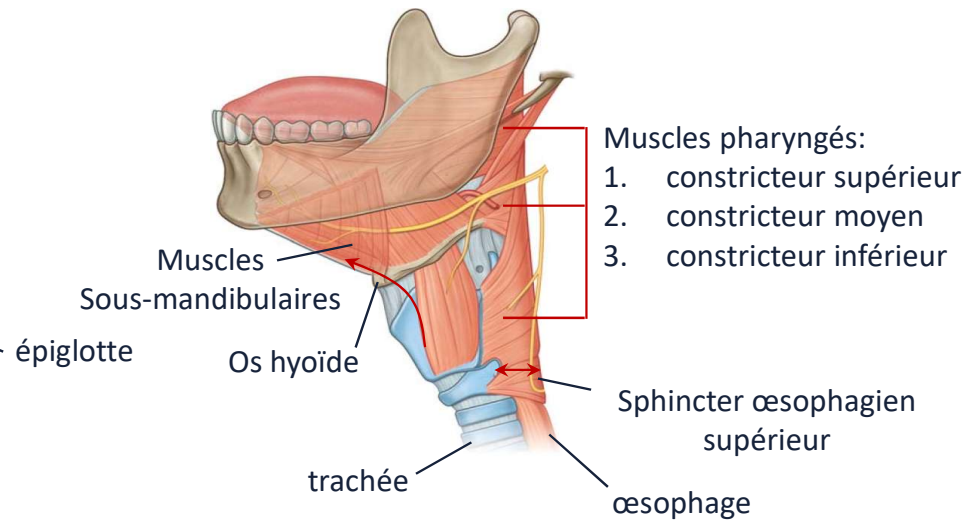
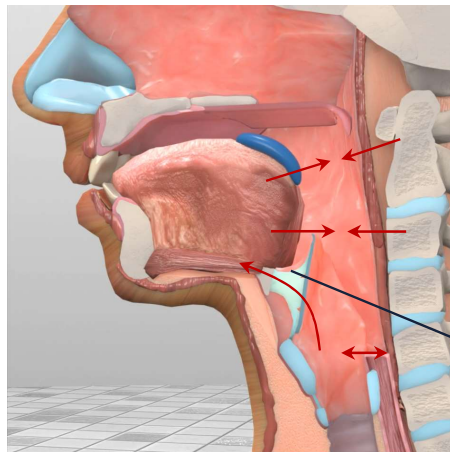


## 2. PRC - Critère principal: la précocité

Exemple d'un signal de déglutition

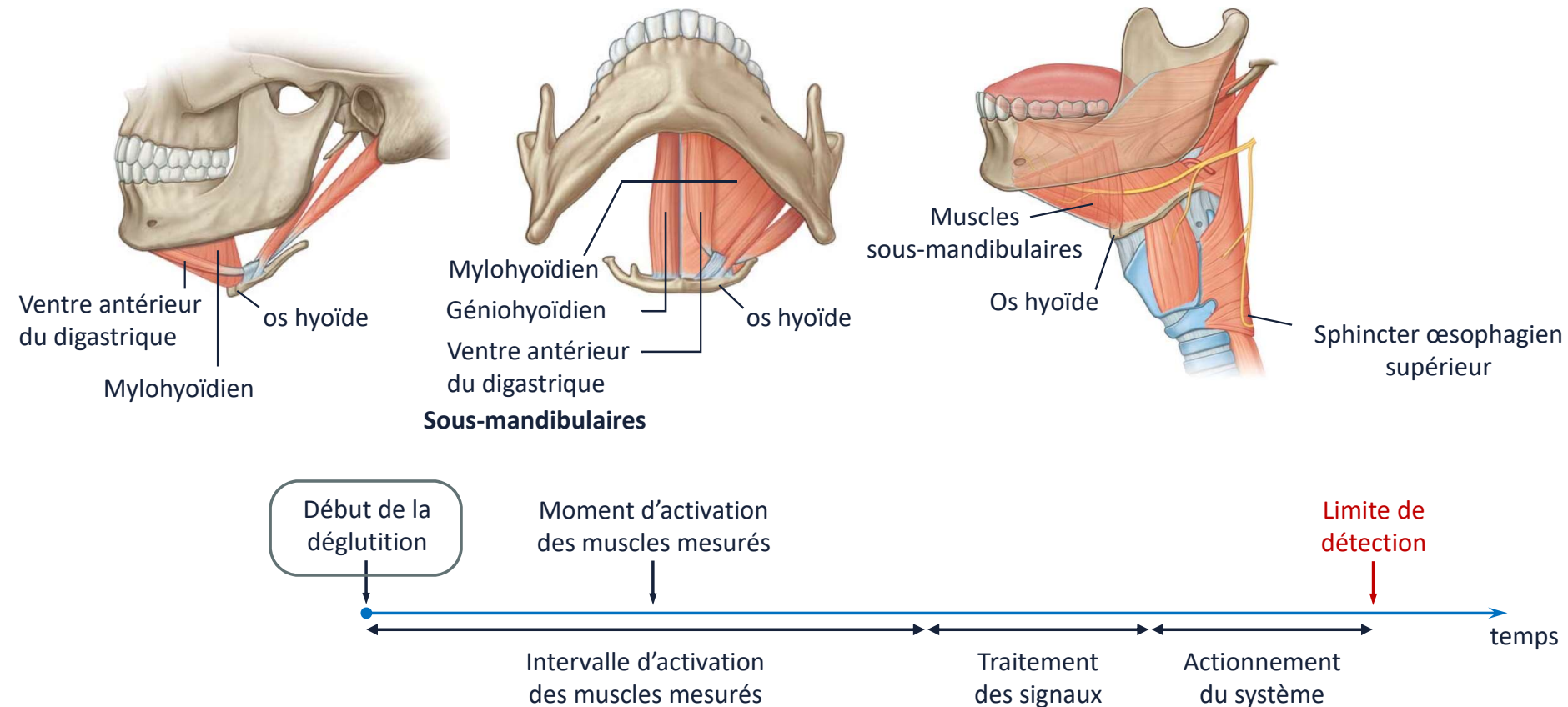


## 2. PRC - Critère principal: la précocité



## 2. PRC – Début de la déglutition

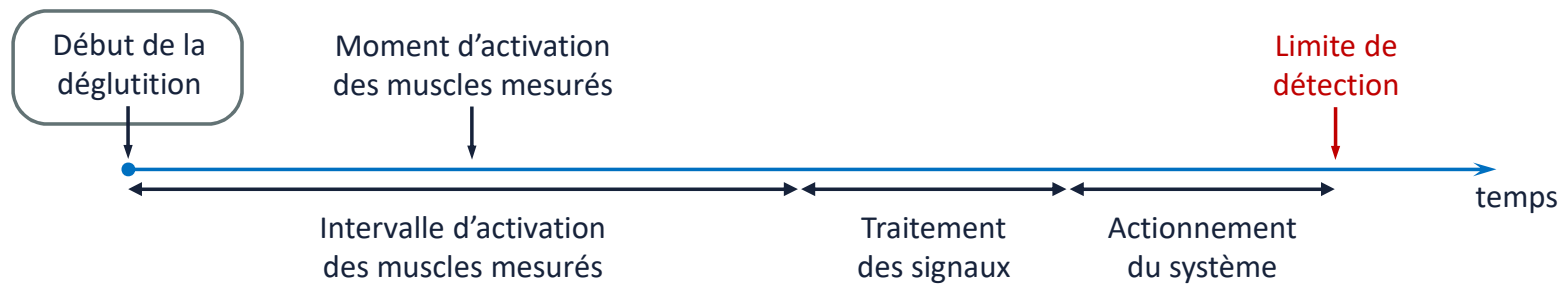
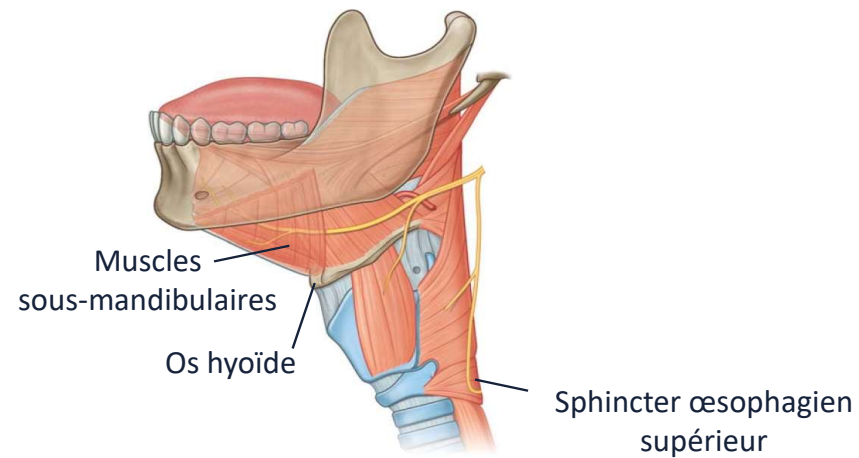
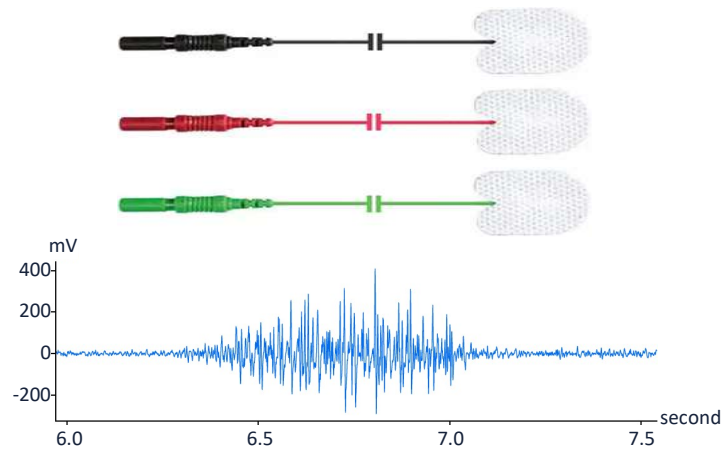
[D. Park et al. 2017, J. Walton et al. 2018, R. L. Drake et al. 2010]



A. Mialland et al. Toward a robust swallowing detection for an implantable active artificial larynx: A survey. In: Med. Biol. Eng. Comput. (2023).

## 2. PRC – Début de la déglutition

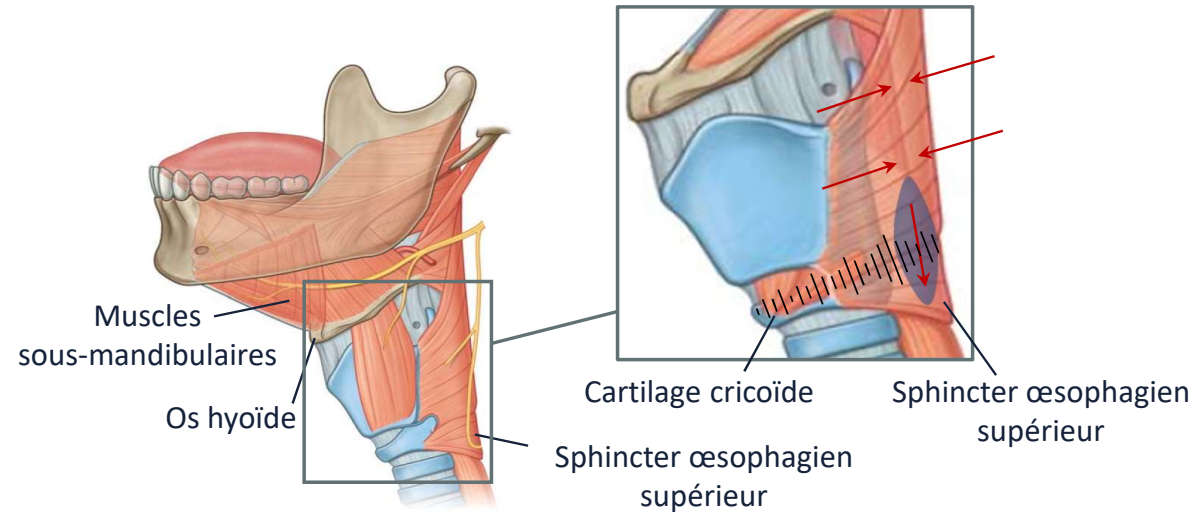
Électrodes  
électromyographiques de surface



## 2. PRC – Limite temporelle de détection

[Morinière et al. 2011, M. Hasegawa et al. 2018, T. Omari et al 2018, A. Pal et al. 2003, J. Lee et al. 2008, J. M. Dudik et al. 2015]

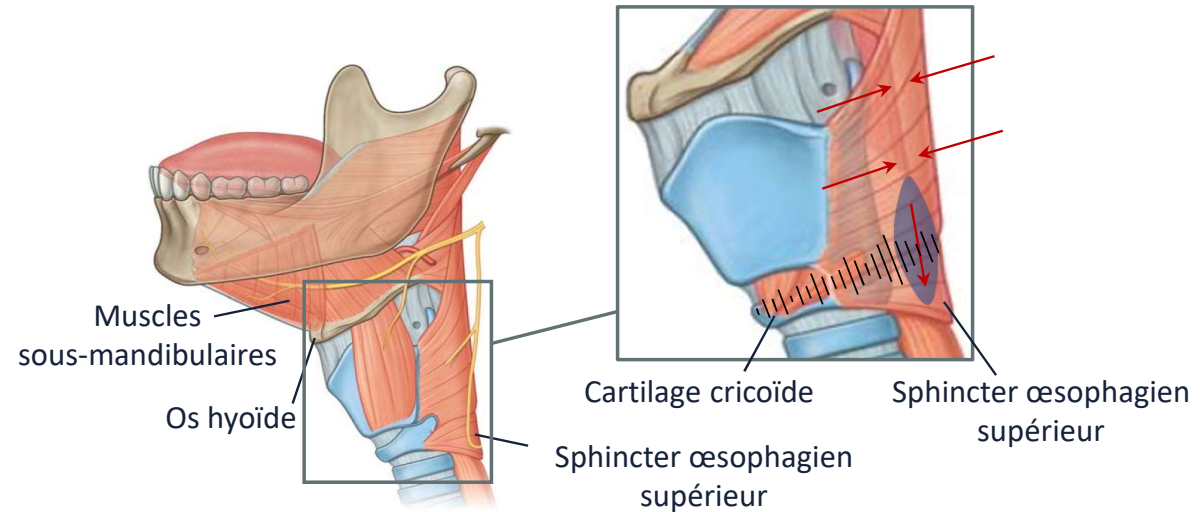
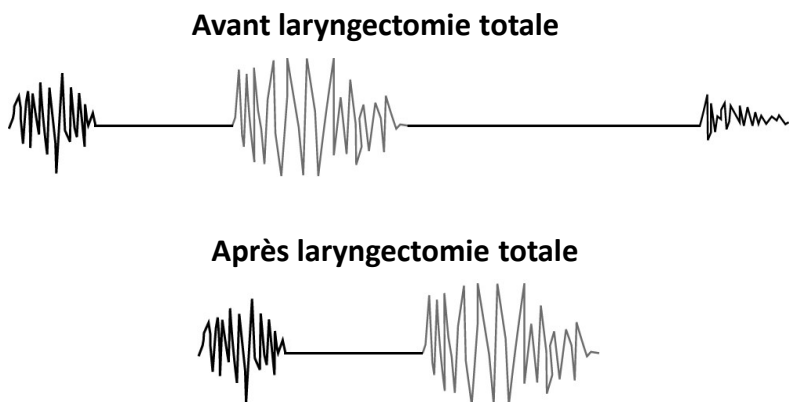
### Avant laryngectomie totale





## 2. PRC – Limite temporelle de détection

[Morinière et al. 2011, M. Hasegawa et al. 2018, T. Omari et al. 2018, A. Pal et al. 2003, J. Lee et al. 2008, J. M. Dudik et al. 2015]



## 2. PRC – muscles stylohyoïdien et digastrique postérieur

Précocité

Justesse

Consommation

Préservation

Variabilité d'activation des muscles stylohyoïdien et digastrique postérieur:

- Activation en même temps que les muscles sous-mandibulaires
  - Étude par EMG sur l'animal [Rebecca Z. German et al. 2009, A. J. Thexton et al. 2007, R. W. Doty et al. 1956].
  - Étude par imagerie sur l'humain [T. Okada et al. 2013]
  - Propriétés anatomiques sur l'humain [W. G. Pearson et al. 2011]



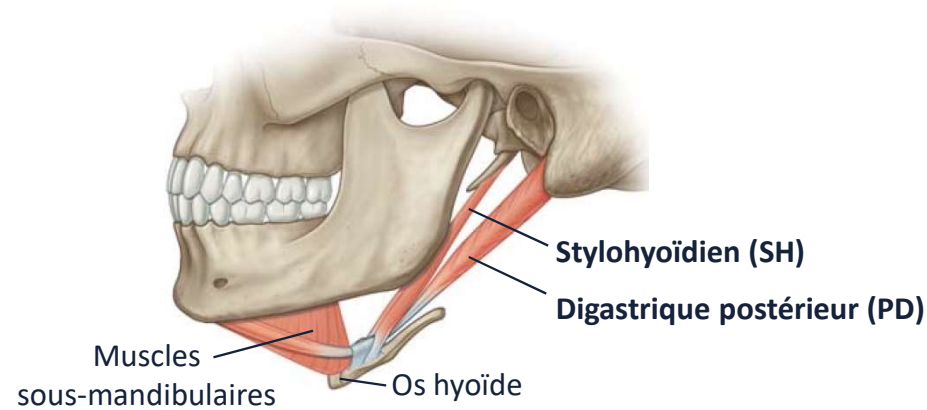
## 2. PRC – muscles stylohyoïdien et digastrique postérieur

Précocité

Justesse

Consommation

Préservation



## 2. PRC – muscles stylohyoïdien et digastrique postérieur

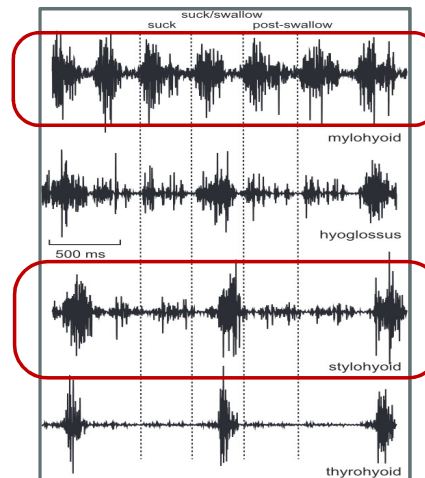
Précocité

Justesse

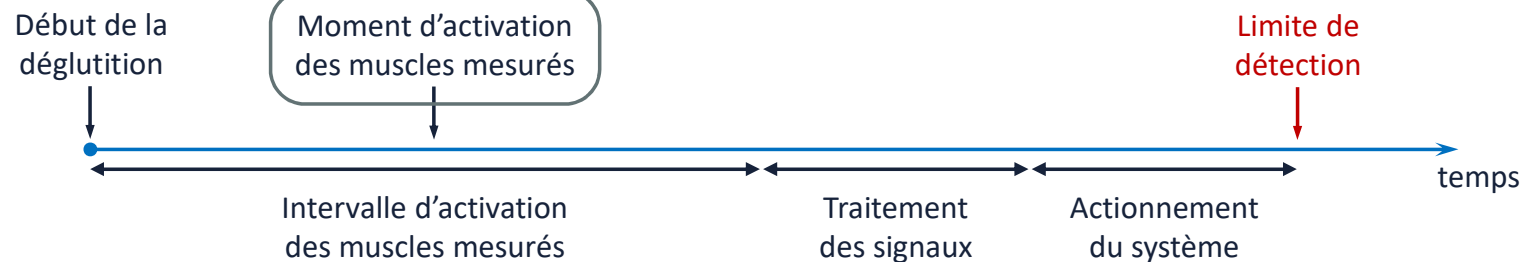
Consommation

Préservation

EMG intramusculaire du cochon



A. J. Thexton et al. 2012



## 2. PRC – muscles stylohyoïdien et digastrique postérieur

Précocité

Justesse

Consommation

Préservation

EMG intramusculaire du cochon

Muscles stylohyoïdien et digastrique postérieur:

- Propension à s'activer pour la déglutition

- Étude par EMG sur l'animal [Rebecca Z. German et al. 2009, C. J. Mayerl et al. 2021, A. J. Thexton et al. 2012].
- Étude par imagerie sur l'humain [W. G. Pearson et al. 2013]
- Étude des propriétés anatomiques sur l'humain [W. G. Pearson et al. 2011]





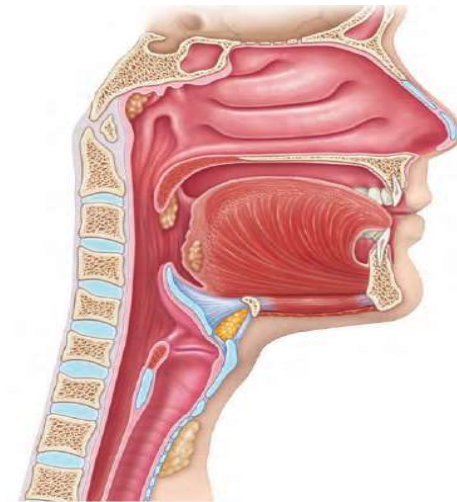
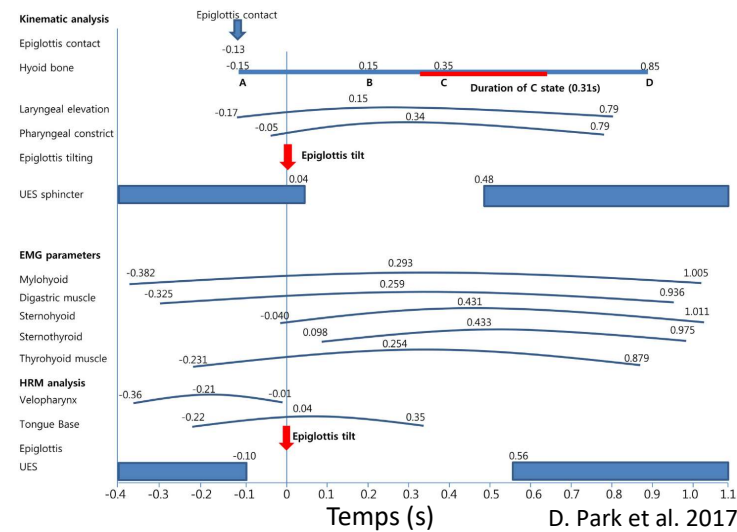
## 2. PRC – muscles stylohyoïdien et digastrique postérieur

Précocité

Justesse

Consommation

Préservation



Début de la déglutition

Moment d'activation des muscles mesurés

Limite de détection



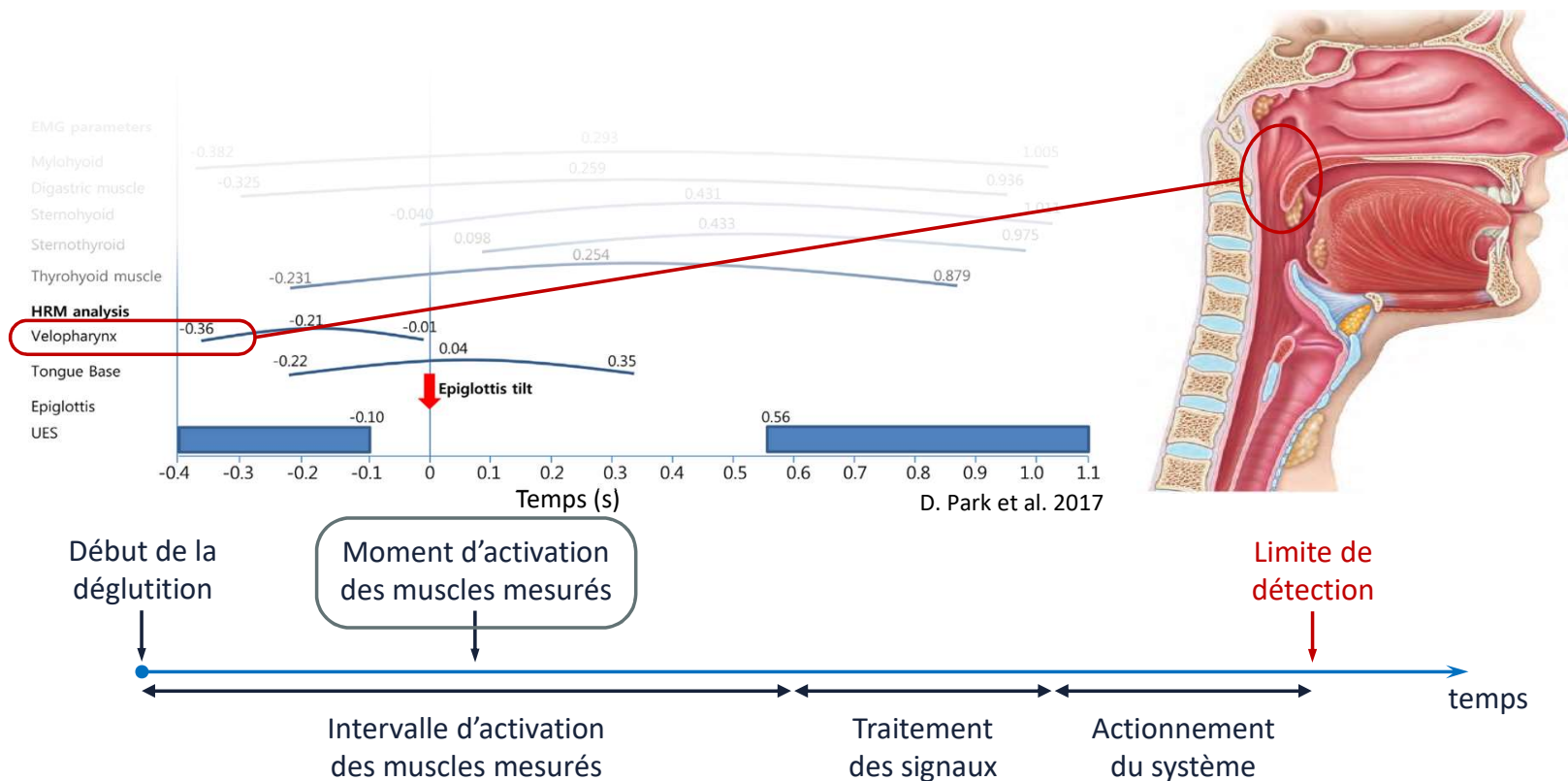
## 2. PRC – muscles stylohyoïdien et digastrique postérieur

Précocité

Justesse

Consommation

Préservation



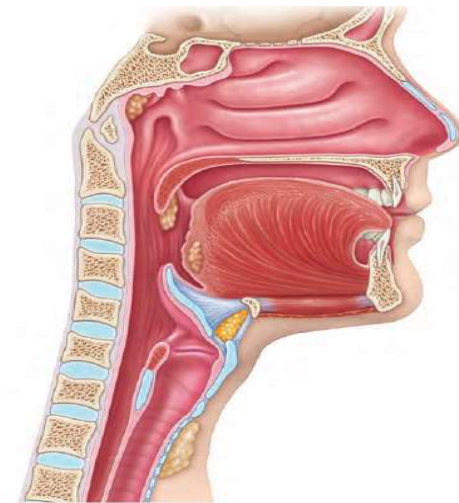
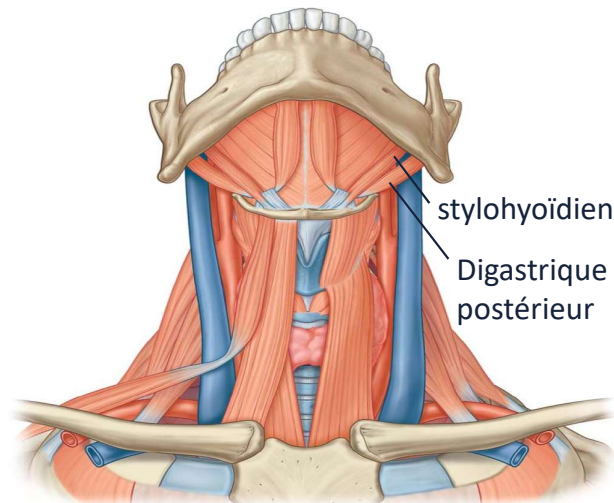
## 2. PRC – muscles stylohyoïdien et digastrique postérieur

Précocité

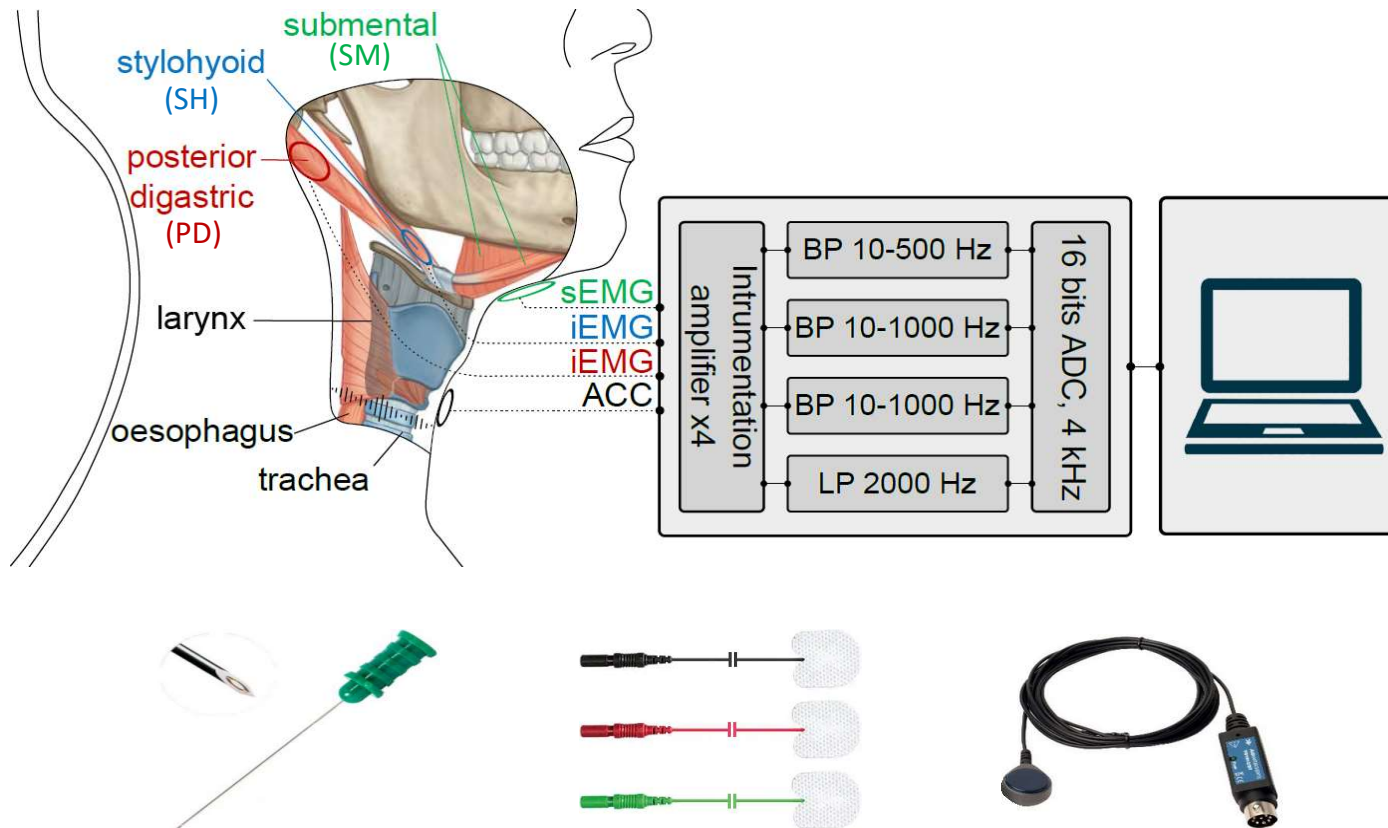
Justesse

Consommation

Préservation

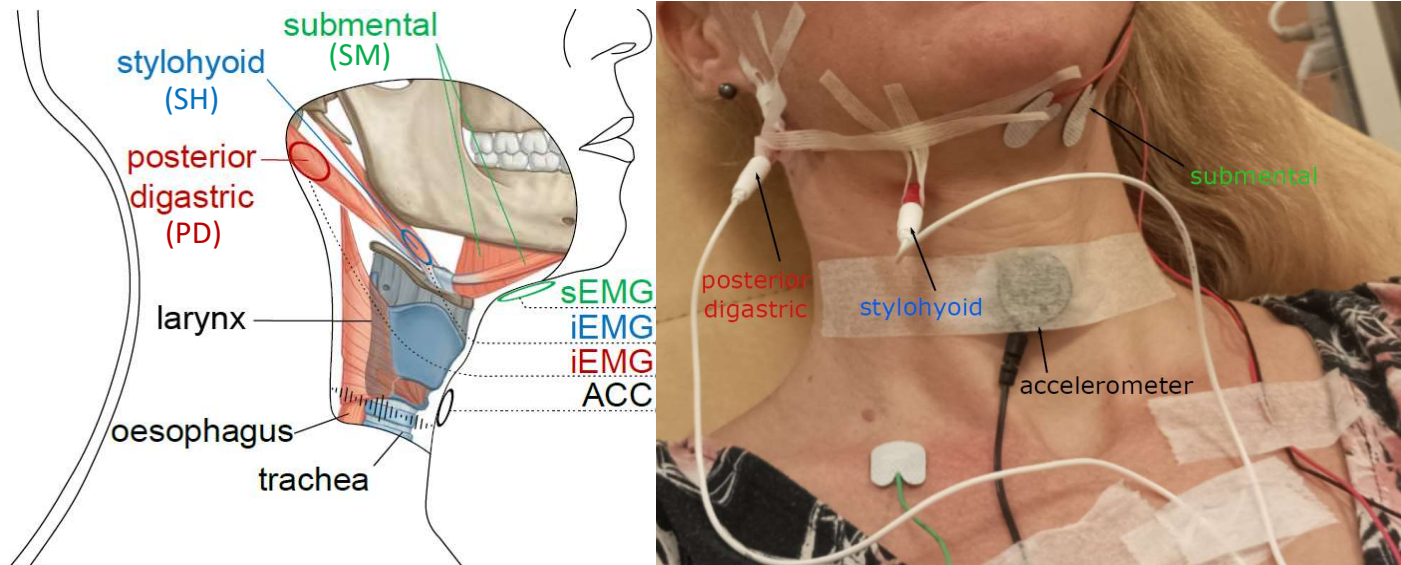


## 2. PRC – Méthode de mesure innovante



A. Mialland et al. Stylohyoid and posterior digastric measurement with intramuscular EMG, submental EMG and swallowing sound. In: BIOSIGNALS (2023)

## 2. PRC – Méthode de mesure innovante



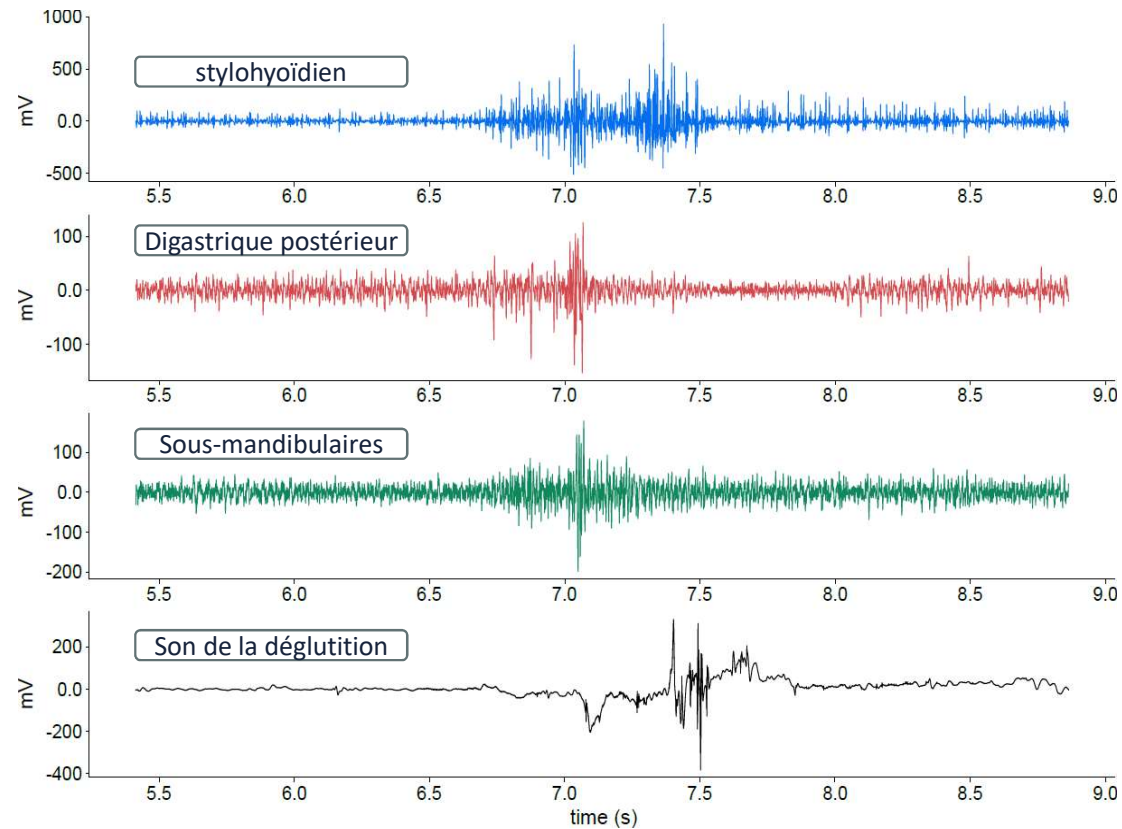
- 17 participants sains (8 hommes / 9 femmes)
- 4 déglutitions: salive, eau, épais (compote), solide (madeleine).
- 13 non-déglutitions: ouvrir la bouche, pincer les lèvres, serrer les dents, sourire, siffler, tousser, souffler, parler, dire « iii », mouvements de la mâchoire, rotation de la tête, flexion/extension de la tête, mastication.

A. Mialland et al. Stylohyoid and posterior digastric measurement with intramuscular EMG, submental EMG and swallowing sound. In: BIOSIGNALS (2023)



## 2. PRC – Méthode de mesure innovante

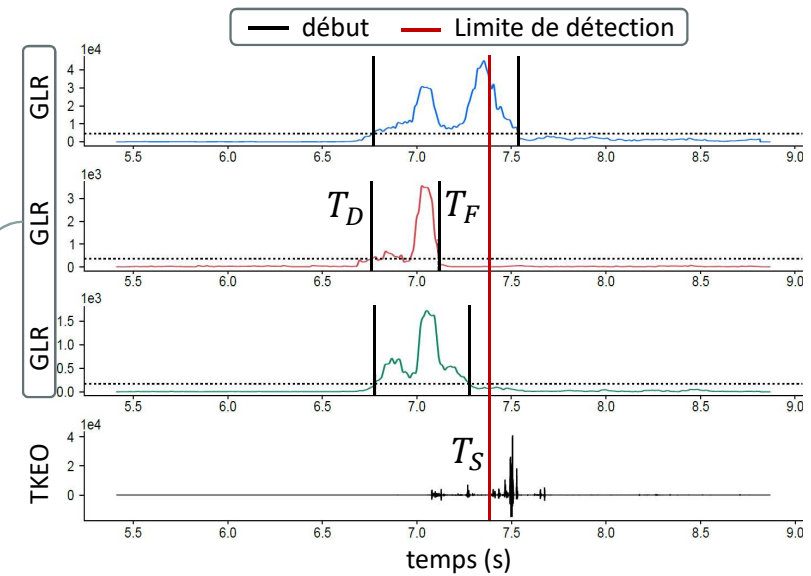
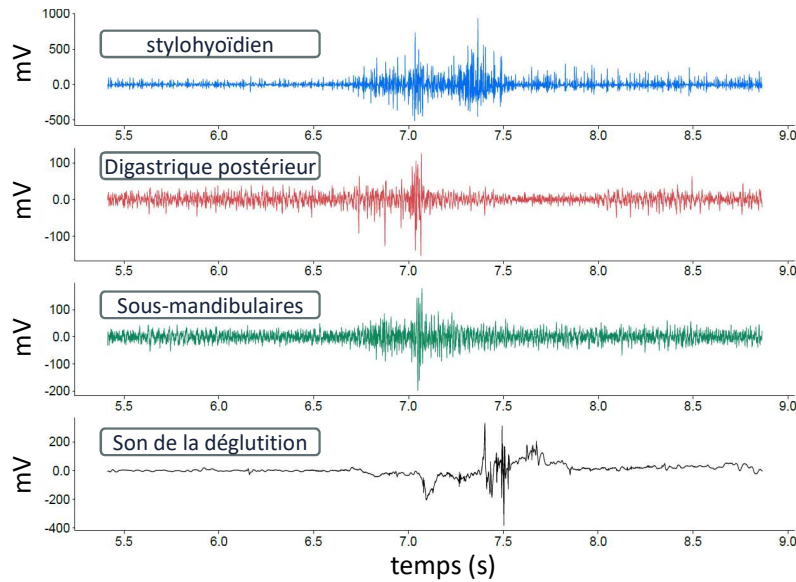
Exemple d'acquisition d'une déglutition



# Plan de la présentation

1. Contexte
2. Protocole de Recherche Clinique (PRC)
- 3. Étude statistique**
4. Détection temps réel
5. Larynx Artificiel Implantable Actif (LAIA)
6. Conclusion et perspectives

### 3. Étude statistique – Extraction de données

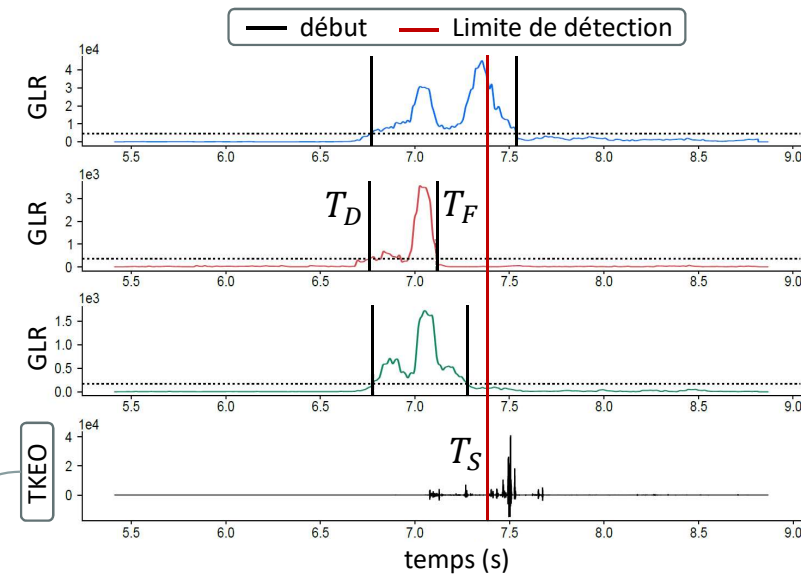
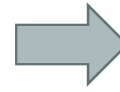
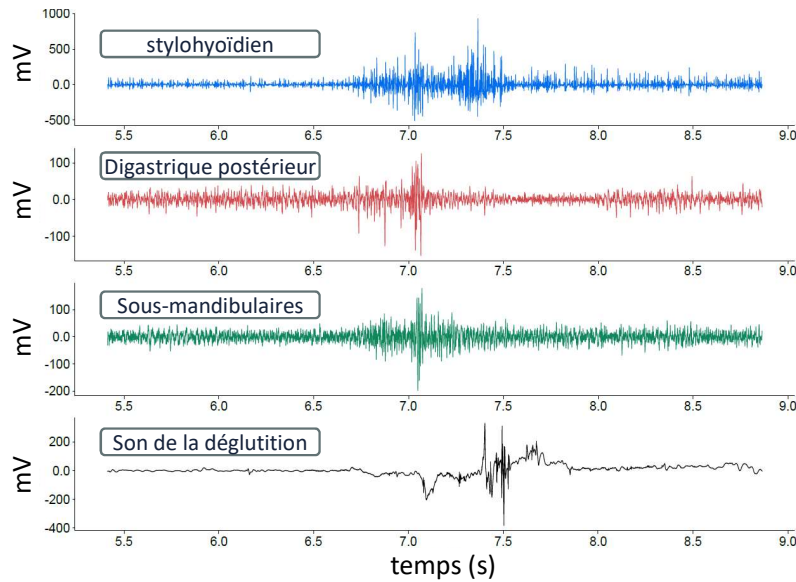


**Generalized Likelihood Ratio (GLR):**

$$\frac{L_1(r, y_0^n)}{L_0(y_0^n)} = \frac{p_0(y_0^{r-1})p_1(y_r^n)}{p_0(y_0^n)} = \prod_{t=r}^n \frac{P_1(y(t))}{P_0(y(t))}$$

$P_i(y(t))$ : hypothèse de muscle activé/non-activé.

### 3. Étude statistique – Extraction de données

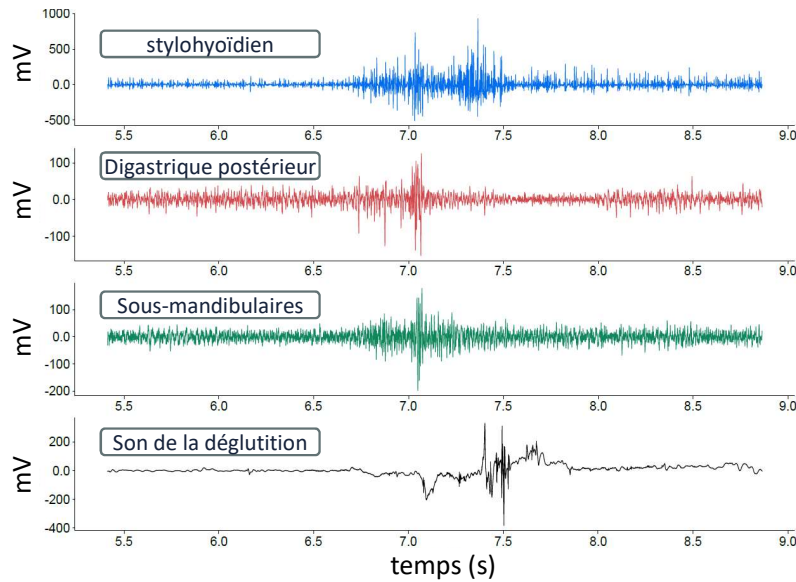


**Teager-Kaiser Energy Operator (TKEO):**

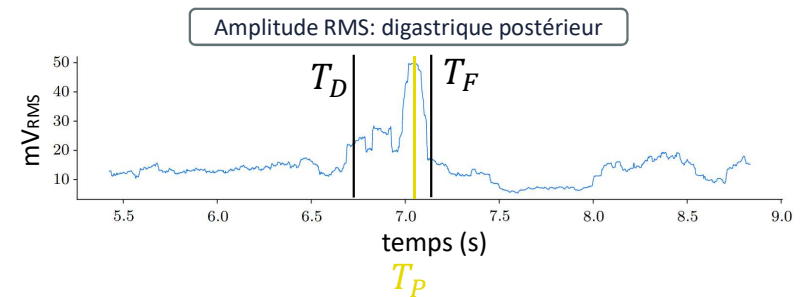
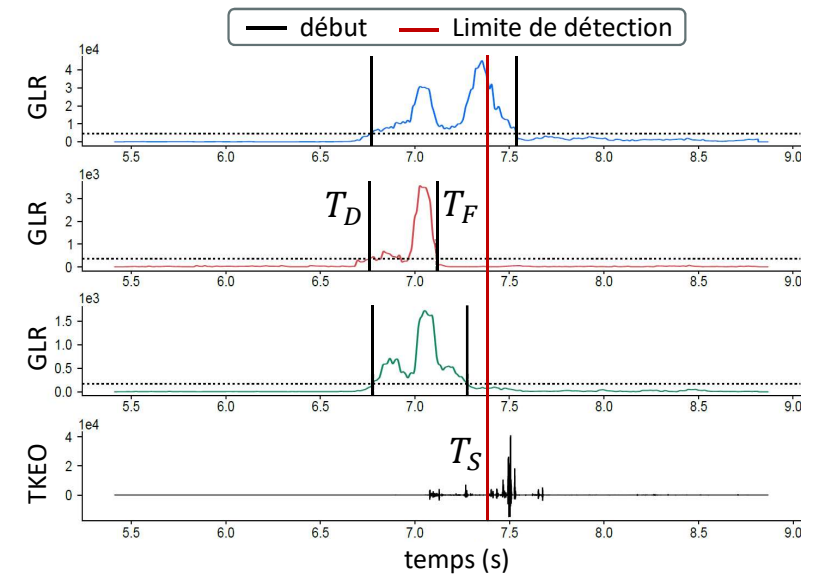
$$\psi[x(n)] = x(n)^2 - x(n-1)x(n+1)$$

Proportionnel à l'amplitude et au contenu fréquentiel du signal

### 3. Étude statistique – Extraction de données

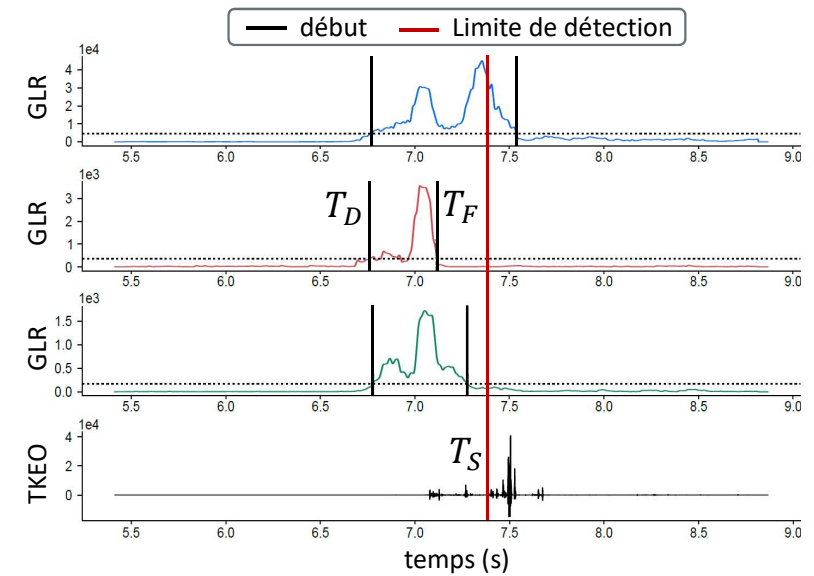
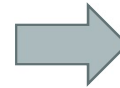
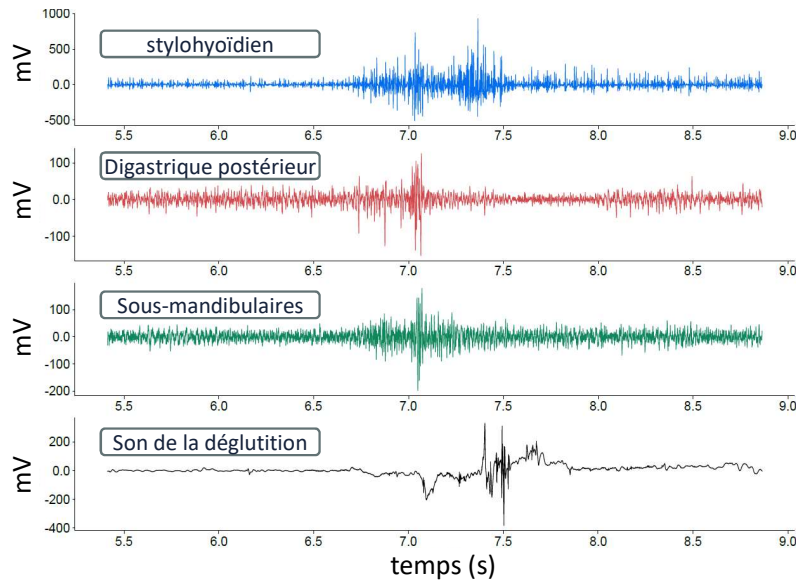


Valeur RMS des échantillons contenus dans une  
fenêtre glissante de 200ms



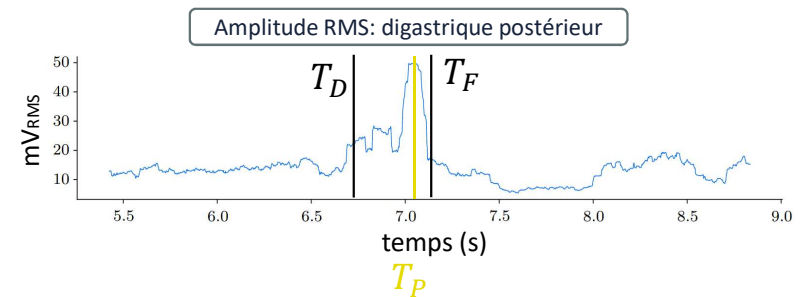


### 3. Étude statistique – Extraction de données

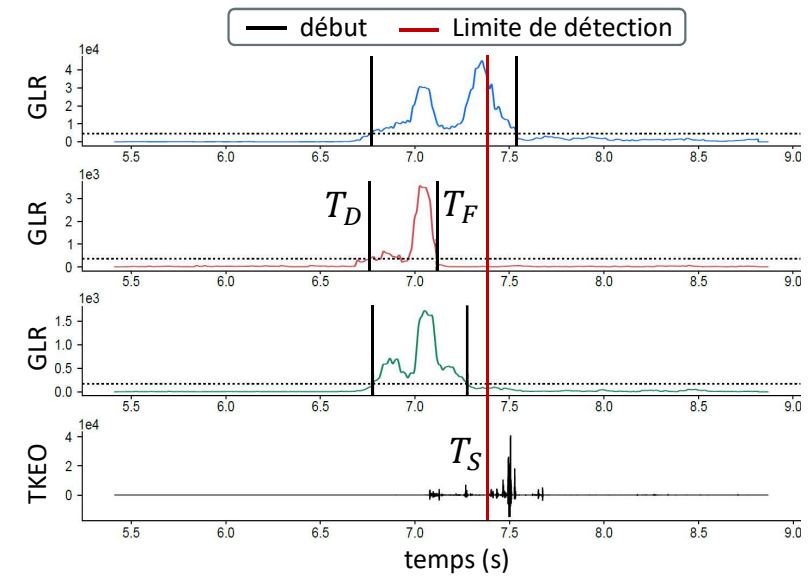
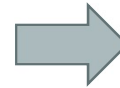
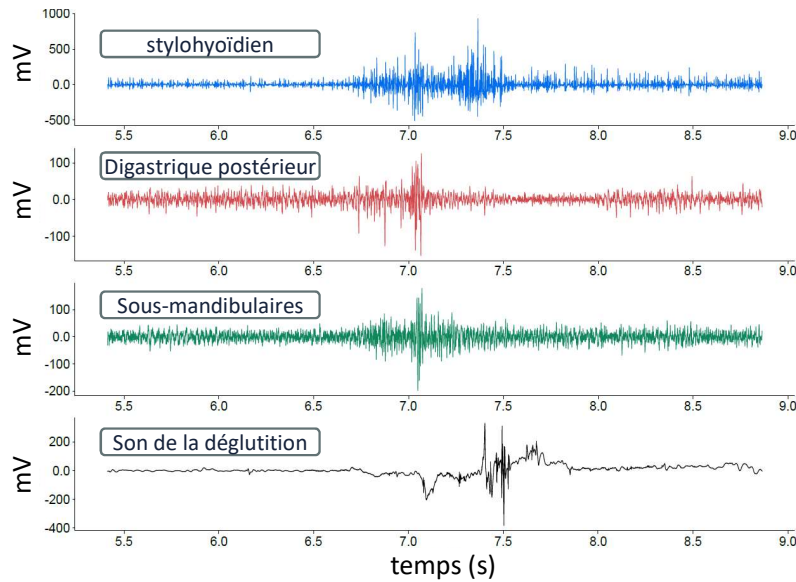


$$M_{md} = \frac{1}{N} \sum_{T_D}^{T_F} A_{RMS_{md}}(i)$$

$$P_{md} = \max(A_{RMS_{md}})$$



### 3. Étude statistique – Extraction de données



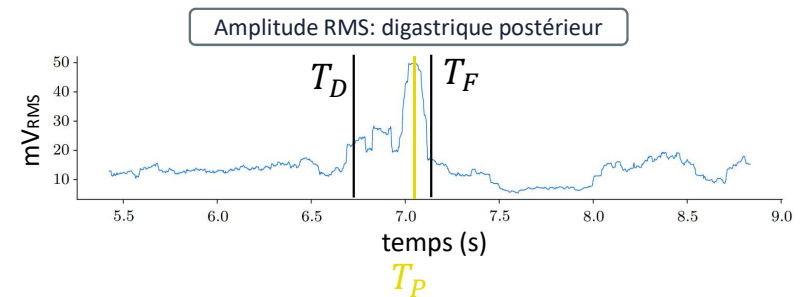
$\forall m \in \{SH, PD, SH\}$  et  $\forall d \in \{0, \dots, N_{deglution}\}$ :

- Variables temporelles:

$$T_{Dmd}, T_{Pmd}, T_{Fmd}, T_{Sd}$$

- Variables d'amplitudes:

$$M_{md}, P_{md}$$



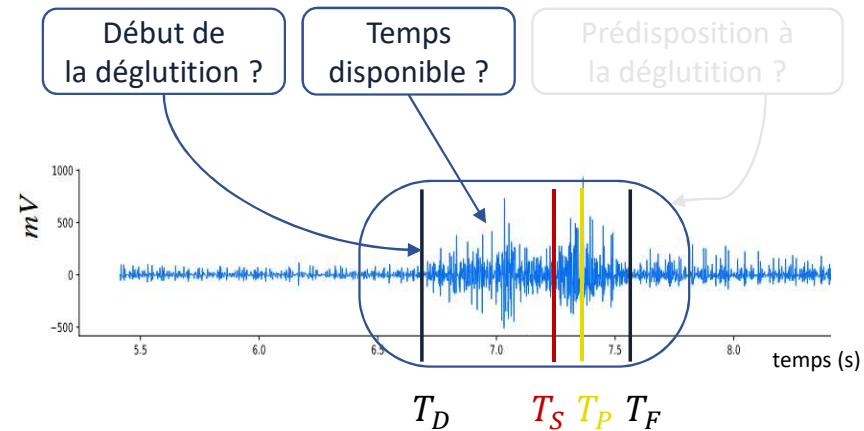
### 3. Étude statistique – Analyse des timings

Variables temporelles normalisées:

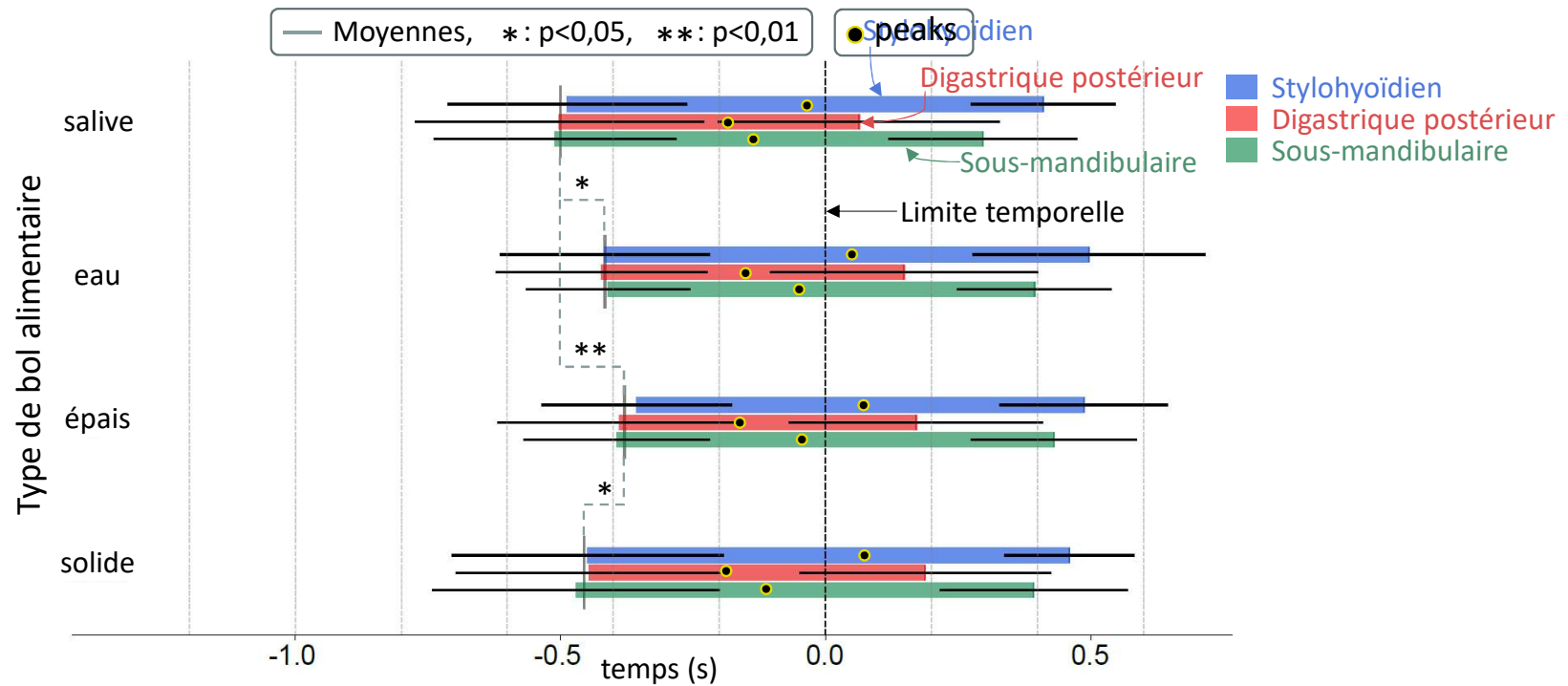
- $T_{DSm} = T_{Dm} - T_S$
- $T_{PSm} = T_{Pm} - T_S$
- $T_{FSm} = T_{Fm} - T_S$

➤ ANOVA à mesures répétées:

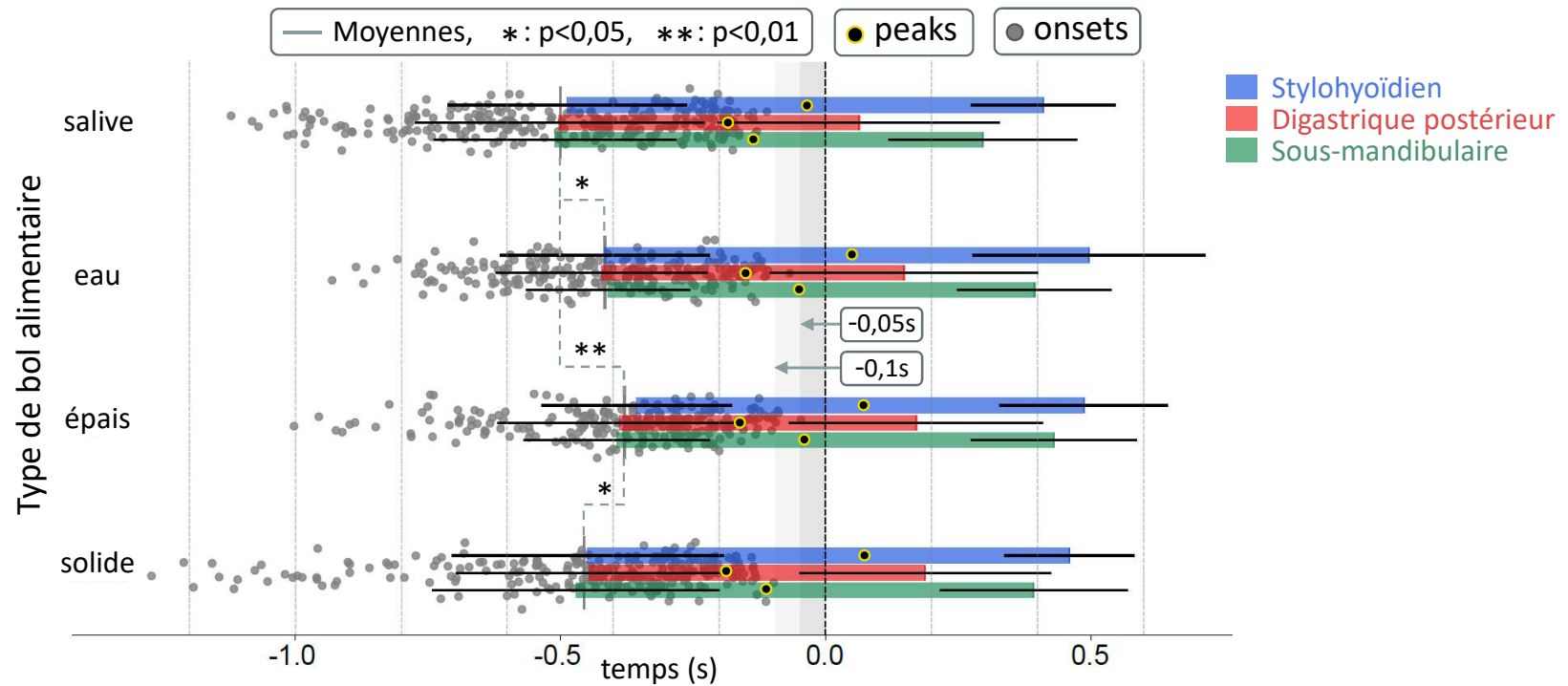
- Effet du type de bol ?
- Effet du type de muscles ?



### 3. Étude statistique – Analyse des timings



### 3. Étude statistique – Analyse des timings



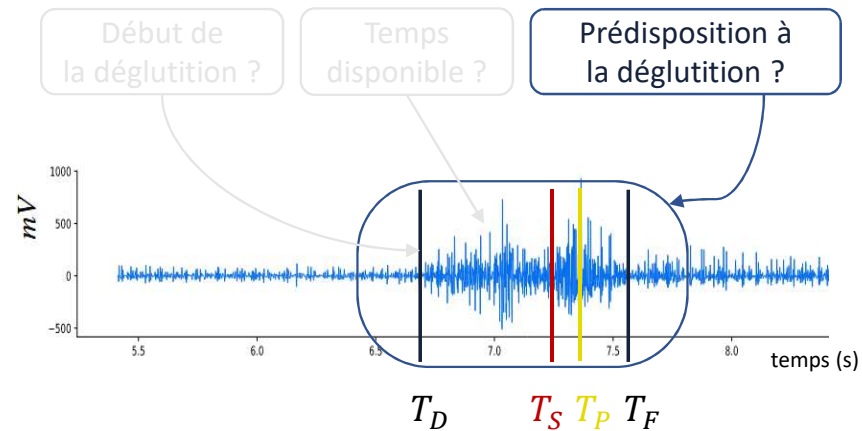
### 3. Étude statistique – Analyse des modes de recrutements

Variable d'amplitudes:

- $M_m$
- $P_m$

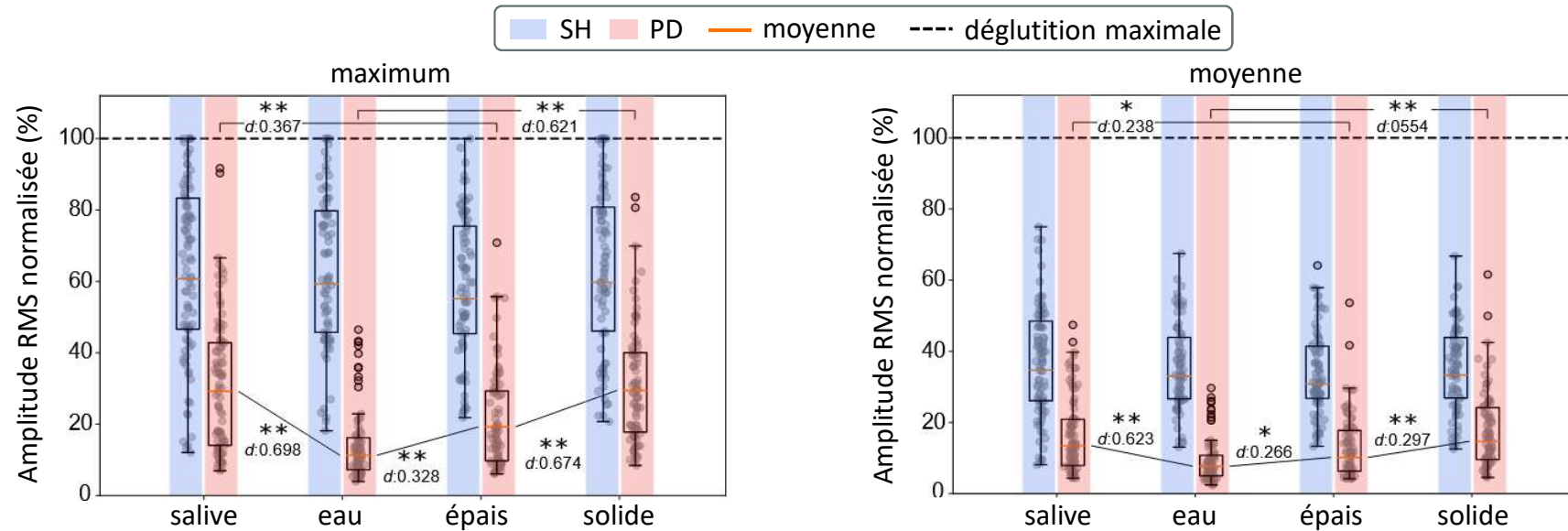
➤ **Modèle linéaire mixed**

- Effet du type de muscles ?
- Effet du type de tâches ?





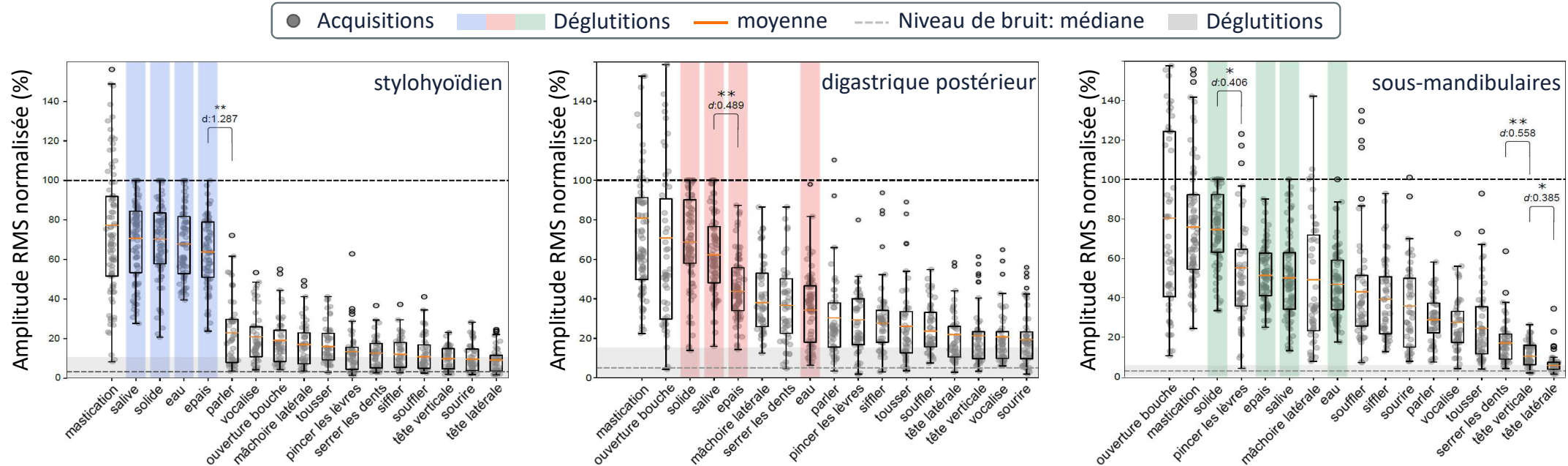
### 3. Étude statistique – Analyse des modes de recrutements



Normalisation: pour chaque sujet, les signaux RMS sont divisés par la **valeur maximale issue de l'ensemble des déglutitions**, au sein des **muscles stylohyoïdien et digastrique postérieur**.

- Le digastrique postérieur possède l'amplitude la plus petite.
- Le stylohyoïdien ne montre aucune variation significative en fonction du bol alimentaire,

### 3. Étude statistique – Analyse des modes de recrutements



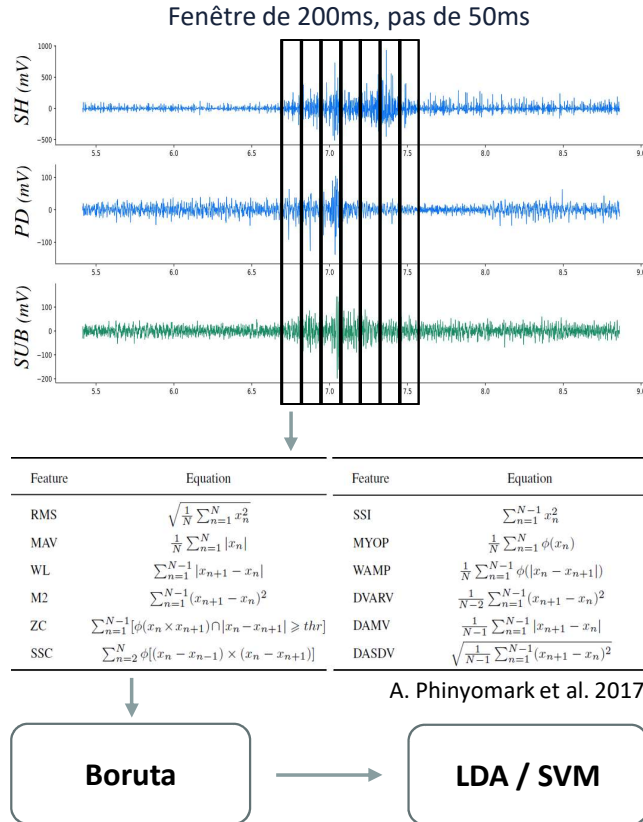
Normalisation: pour chaque sujet, les signaux RMS sont divisés par la **valeur maximale issue de l'ensemble des déglutitions**, au sein du **muscle considéré**.

- Prédilection claire du stylohyoïdien pour la déglutition. Tendance pour le digastrique postérieur
- Pas de tendance claire pour les muscles sous-mandibulaires

# Plan de la présentation

1. Contexte
2. Protocole de Recherche Clinique (PRC)
3. Étude statistique
- 4. Détection temps réel**
5. Larynx Artificiel Implantable Actif (LAIA)
6. Conclusion et perspectives

## 4. Détection temps réel – Comparaison avec la littérature



### Reproduction des études comparables:

- Constantinescu et al. 2018:
  - EMG de surface: muscles sous-mandibulaires.
  - Déglutitions, pincer les lèvres, mouvements de la tête, mouvements de la langue.
  - Déglutitions, pincer les lèvres, rotation tête, flexion/extension tête.
- McNulty et al. 2021:
  - Sujets sains et sujets laryngectomisés totaux
  - EMG de surface: muscles sous-mandibulaires, diaphragme, muscles intercostaux.
  - Déglutition, tousser, parler, lever, assoir, toucher tête, tourner buste, marcher.
  - Déglutition, tousser, parler, dire "iii", tourner tête, flexion/extension tête.

## 4. Détection temps réel – Comparaison avec la littérature

Comparaison avec Constantinescu et al.  
précision : 83.9%, rappel : 92.3%, F1-score : 87.9%

	LDA				SVM			
	Précision	Rappel	F1-score	D-Rappel	Précision	Rappel	F1-score	D-Rappel
SH-PD-SM	95.31 (0.41)	89.72 (1.25)	92.43 (0.62)	98.27 (0.54)	98.87 (0.37)	99.31 (0.29)	99.09 (0.15)	99.94 (0.16)
SH-SM	94.26 (0.66)	90.93 (1.13)	92.57 (0.68)	98.11 (0.87)	98.54 (0.45)	97.83 (0.64)	98.18 (0.38)	99.85 (0.23)
PD-SM	84.03 (1.32)	80.89 (1.43)	82.43 (1.09)	92.88 (1.12)	95.74 (0.61)	94.43 (0.86)	95.08 (0.52)	99.03 (0.63)
SH-PD	95.07 (0.63)	89.97 (0.95)	92.45 (0.59)	97.66 (0.69)	98.42 (0.43)	97.97 (0.47)	98.19 (0.31)	99.74 (0.35)
SH	93.87 (0.98)	92.17 (0.87)	93.01 (0.49)	97.91 (0.71)	96.93 (0.52)	95.58 (0.66)	96.25 (0.37)	99.24 (0.59)
PD	81.15 (2.12)	47.07 (2.59)	59.58 (2.28)	61.34 (2.61)	81.31 (1.61)	70.06 (2.41)	75.27 (1.88)	88.06 (2.28)
SM	83.06 (1.21)	80.65 (1.48)	81.83 (0.86)	91.66 (1.24)	88.44 (1.13)	83.54 (1.38)	85.92 (0.78)	94.93 (1.29)

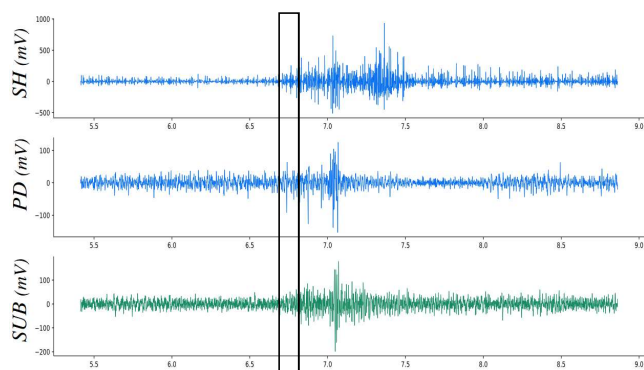
Comparaison avec McNulty et al.  
précision : 77%, rappel : 57%, F1-score : 66%

	LDA				SVM			
	Précision	Rappel	F1-score	D-Rappel	Précision	Rappel	F1-score	D-Rappel
SH-PD-SM	92.51 (0.52)	81.58 (1.38)	86.71 (0.91)	94.59 (1.13)	97.79 (0.45)	98.02 (0.52)	97.91 (0.32)	99.78 (0.32)
SH-SM	92.56 (0.72)	83.01 (1.31)	87.53 (0.81)	94.74 (0.84)	95.86 (0.76)	94.19 (0.81)	95.02 (0.55)	99.26 (0.58)
PD-SM	86.67 (1.24)	74.76 (1.56)	80.28 (1.09)	89.98 (1.29)	93.42 (1.03)	90.99 (1.06)	92.19 (0.74)	98.37 (0.82)
SH-PD	90.82 (0.96)	82.38 (1.27)	86.39 (0.84)	94.91 (1.07)	96.01 (0.75)	94.64 (0.69)	95.32 (0.56)	99.32 (0.46)
SH	90.92 (1.01)	84.87 (1.16)	87.79 (0.81)	94.74 (1.09)	93.31 (0.96)	88.55 (1.13)	90.87 (0.81)	96.78 (0.98)
PD	75.03 (2.58)	36.54 (1.78)	49.15 (1.95)	50.79 (2.51)	75.65 (2.15)	58.88 (2.35)	66.22 (1.88)	78.95 (2.82)
SM	85.07 (1.04)	73.87 (1.48)	79.08 (1.02)	88.21 (1.42)	90.44 (0.97)	74.94 (1.64)	81.96 (1.08)	89.19 (1.54)

- Résultats les plus proche des travaux comparés.
- Amélioration substantielle avec le muscle stylohyoïdien seulement.
- Potentiel effet synergique entre les muscles SH et PD.



## 4. Détection temps réel – Classification des tâches

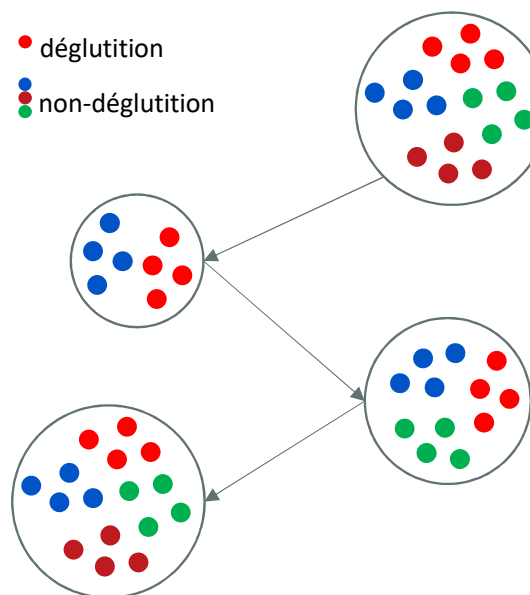


Feature	Equation	Feature	Equation
RMS	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n^2}$	SSI	$\sum_{n=1}^{N-1} x_n^2$
MAV	$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N  x_n $	MYOP	$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \phi(x_n)$
WL	$\sum_{n=1}^{N-1}  x_{n+1} - x_n $	WAMP	$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N-1} \phi( x_n - x_{n+1} )$
M2	$\sum_{n=1}^{N-1} (x_{n+1} - x_n)^2$	DVARV	$\frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^{N-1} (x_{n+1} - x_n)^2$
ZC	$\sum_{n=1}^{N-1} [\phi(x_n \times x_{n+1}) \cap  x_n - x_{n+1}  \geq thr]$	DAMV	$\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^{N-1}  x_{n+1} - x_n $
SSC	$\sum_{n=2}^N \phi[(x_n - x_{n-1}) \times (x_n - x_{n+1})]$	DASDV	$\sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^{N-1} (x_{n+1} - x_n)^2}$

Boruta

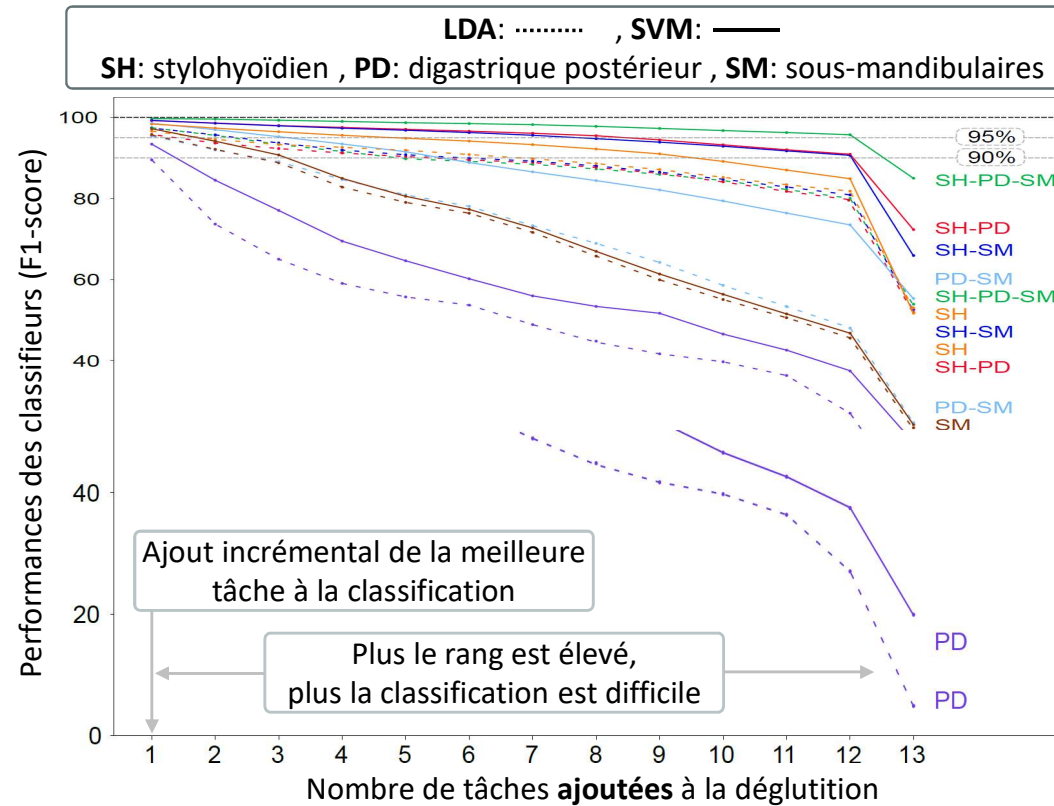
LDA / SVM

Méthode:  
Sequential forward selection

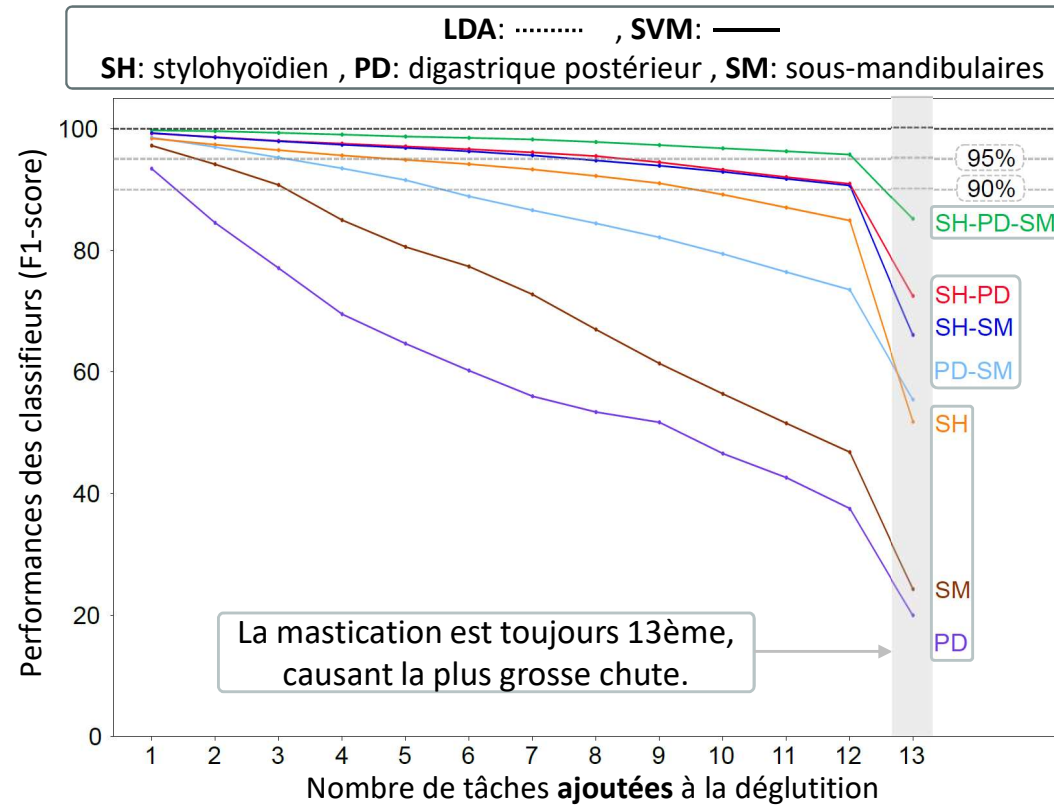




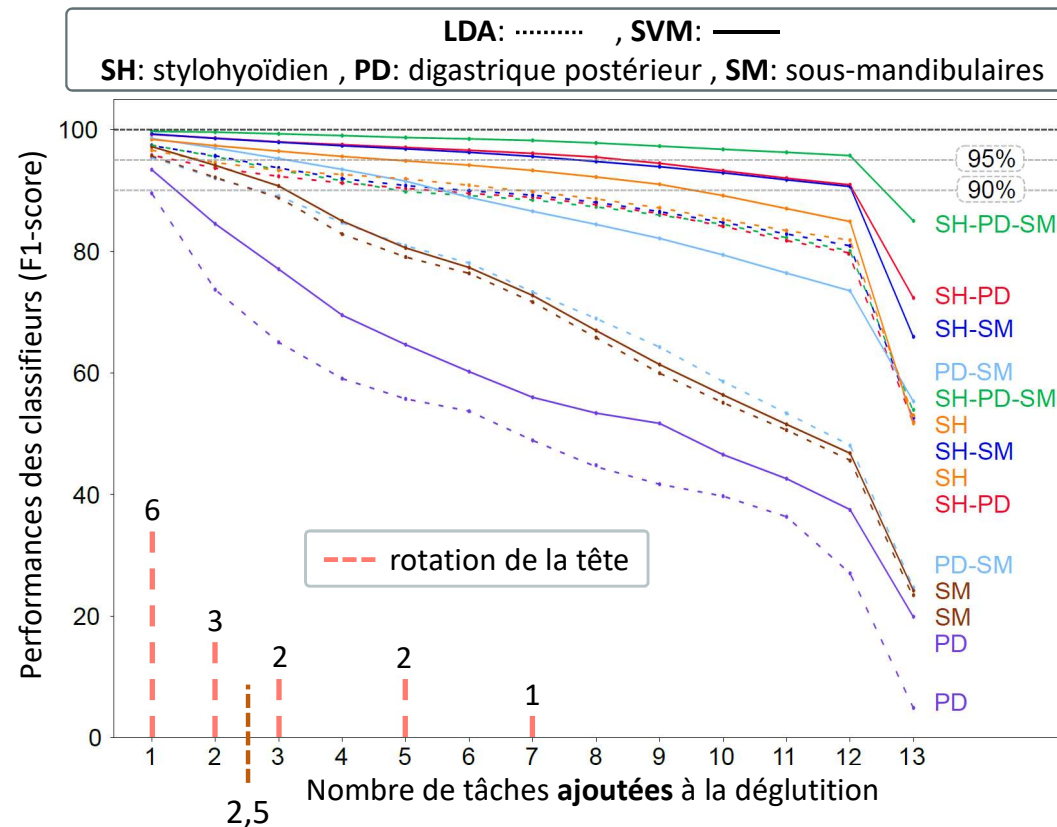
## 4. Détection temps réel – Classification des tâches



## 4. Détection temps réel – Classification des tâches

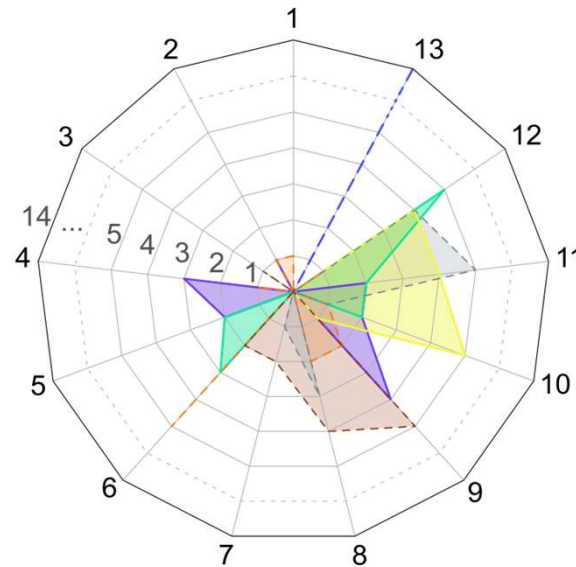
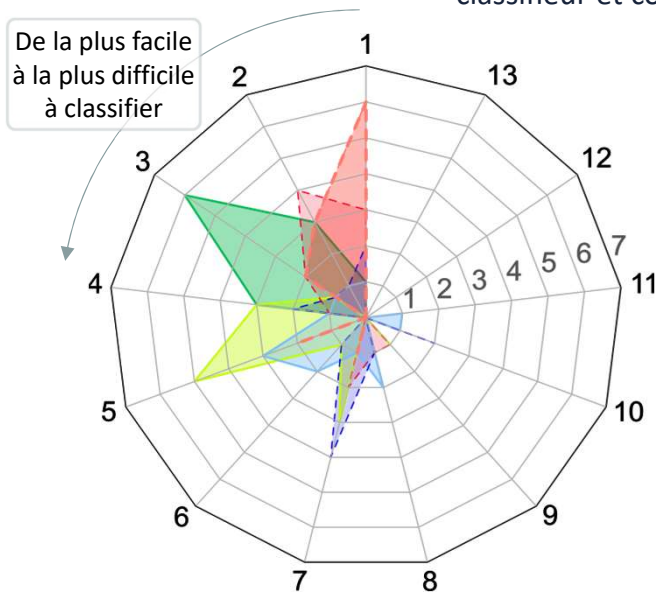


## 4. Détection temps réel – Classification des tâches



## 4. Détection temps réel – Classification des tâches

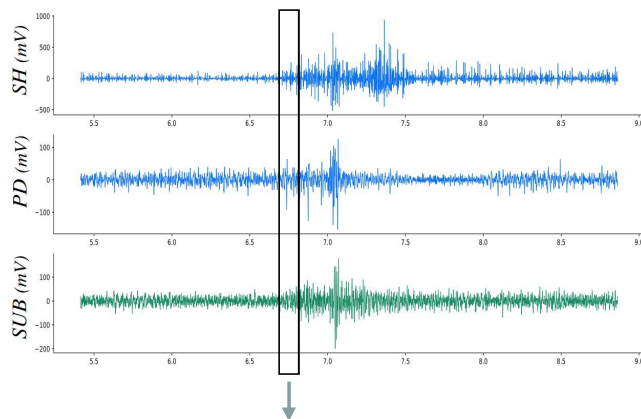
Rangs d'inclusion des tâches, pour chaque classifieur et combinaison de signaux



Rang moyen de chaque tâche:

- 2,5: rotation de la tête
- 3,2: flexion/extension de la tête
- 3,7: tousser
- 5,4: serrer les lèvres
- 5,5: siffler
- 5,8: serrer les dents
- 6,6: sourire
- 7,3: dire « iii »
- 7,6: souffler
- 9,3: parler
- 10,3: ouverture de la bouche
- 10,8: mouvements de la mâchoire
- 13: mastication

## 4. Détection temps réel – Regroupement de participants

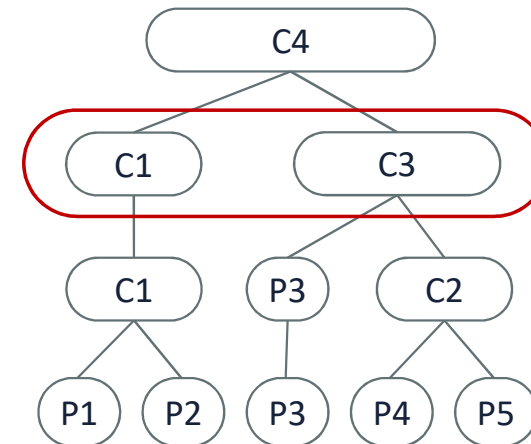


Feature	Equation	Feature	Equation
RMS	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n^2}$	SSI	$\sum_{n=1}^{N-1} x_n^2$
MAV	$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N  x_n $	MYOP	$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \phi(x_n)$
WL	$\sum_{n=1}^{N-1}  x_{n+1} - x_n $	WAMP	$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N-1} \phi( x_n - x_{n+1} )$
M2	$\sum_{n=1}^{N-1} (x_{n+1} - x_n)^2$	DVARV	$\frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^{N-1} (x_{n+1} - x_n)^2$
ZC	$\sum_{n=1}^{N-1} [\phi(x_n \times x_{n+1}) \cap  x_n - x_{n+1}  \geq thr]$	DAMV	$\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^{N-1}  x_{n+1} - x_n $
SSC	$\sum_{n=2}^N \phi[(x_n - x_{n-1}) \times (x_n - x_{n+1})]$	DASDV	$\sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^{N-1} (x_{n+1} - x_n)^2}$

**Boruta**

**LDA / SVM**

Méthode:  
Agglomerative hierarchical clustering



Distance euclidienne moyenne entre les déglutitions.

## 4. Détection temps réel – Regroupement de participants

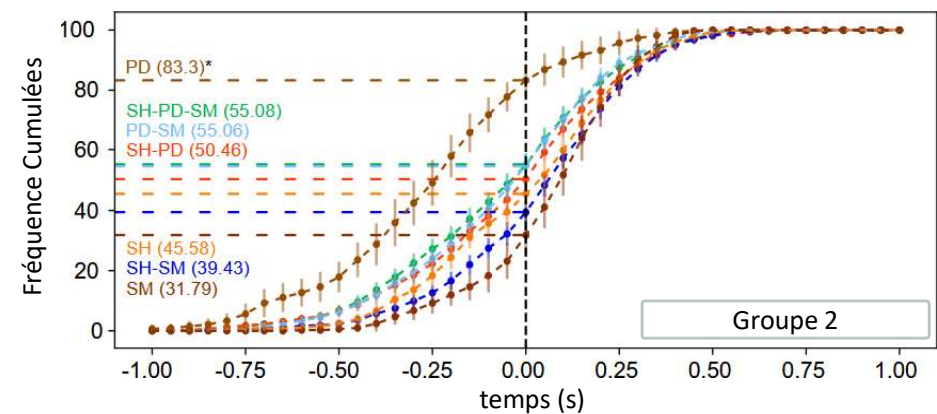
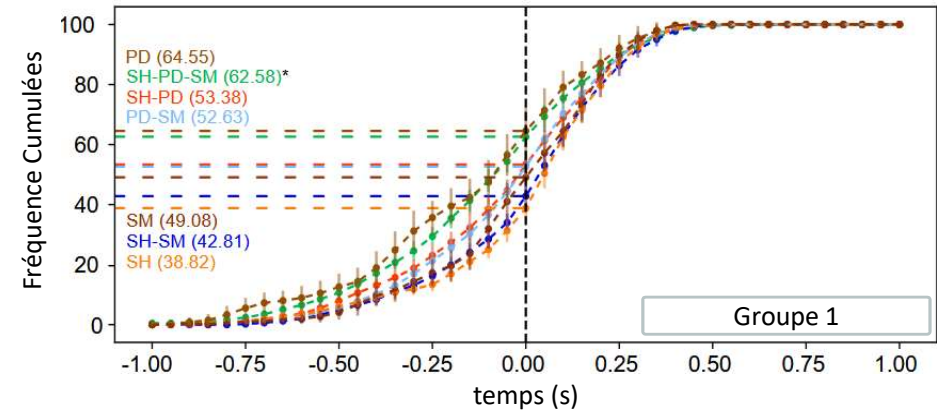
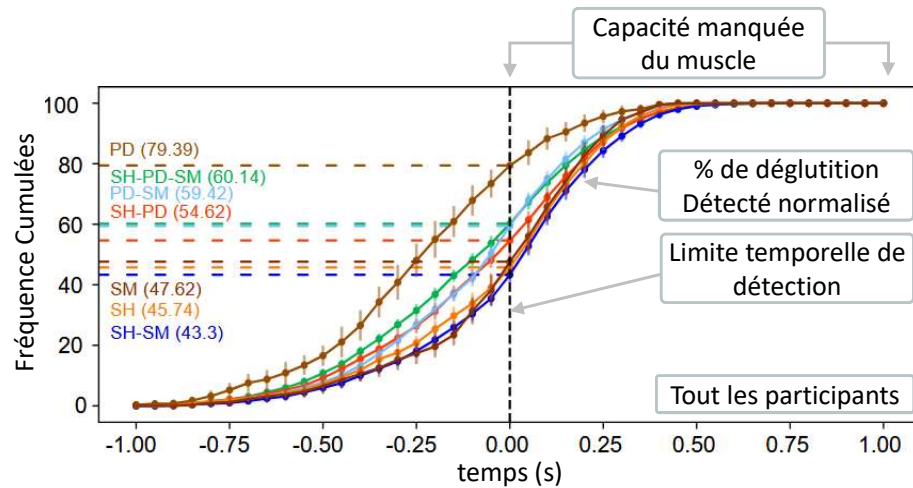
Effet du regroupement des participants en deux groupes

Tout les participants				
	Précision	Rappel	F1-score	D-Rappel
SH-PD-SM	90.36 (1.03)	80.27 (1.31)	84.98 (0.76)	96.31 (1.49)
SH-SM	82.51 (1.52)	54.77 (1.56)	65.84 (1.33)	84.83 (2.31)
PD-SM	80.79 (2.01)	41.98 (1.49)	55.25 (1.51)	70.65 (2.21)
SH-PD	76.72 (1.01)	68.39 (1.51)	72.28 (1.44)	90.11 (1.44)
SH	73.86 (1.86)	39.71 (1.74)	51.65 (1.68)	68.46 (2.58)
PD	61.51 (6.01)	11.81 (0.93)	19.81 (1.92)	19.95 (1.81)
SM	47.71 (3.11)	15.91 (1.29)	23.85 (1.74)	33.51 (1.57)
Groupe 1				
	Précision	Rappel	F1-score	D-Rappel
SH-PD-SM	92.65 (1.29)	86.47 (1.67)	89.45 (1.13)*	97.71 (1.33)
SH-SM	86.81 (1.64)	63.82 (2.41)	73.56 (1.83)*	90.76 (2.26)
PD-SM	86.17 (2.23)	55.62 (2.53)	67.59 (2.11)*	81.93 (3.04)
SH-PD	86.37 (2.01)	69.58 (2.37)	77.07 (1.74)*	90.56 (2.33)
SH	77.22 (2.37)	49.23 (2.43)	60.13 (2.15)*	77.17 (3.69)
PD	75.45 (9.94)	15.01 (1.21)	25.04 (2.91)*	26.77 (1.76)
SM	53.39 (4.07)	24.84 (2.15)	33.87 (2.57)*	36.38 (3.82)
Groupe 2				
	Précision	Rappel	F1-score	D-Rappel
SH-PD-SM	91.77 (1.45)	85.06 (1.58)	89.29 (1.11)*	96.81 (1.42)
SH-SM	83.35 (2.28)	62.61 (2.06)	71.64 (1.74)*	89.56 (2.65)
PD-SM	81.55 (2.44)	46.78 (2.31)	59.45 (2.05)*	71.46 (3.21)
SH-PD	80.67 (1.66)	73.91 (1.86)	77.14 (1.52)*	93.22 (2.11)
SH	72.52 (2.91)	34.98 (2.34)	47.19 (2.34)	58.06 (3.34)
PD	75.92 (8.98)	10.96 (1.71)	19.15 (3.19)	20.05 (2.81)
SM	47.52 (3.52)	21.94 (1.13)	29.98 (2.01)*	36.25 (1.05)

■ Plus grande amélioration, par rapport au groupe contenant tous les participants



## 4. Détection temps réel – Regroupement de participants



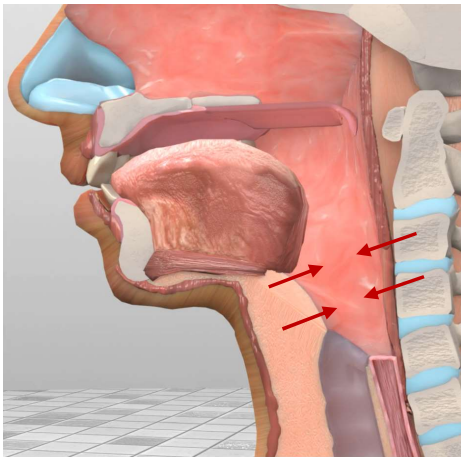
# Plan de la présentation

1. Contexte
2. Protocole de Recherche Clinique (PRC)
3. Étude statistique
4. Détection temps réel
- 5. Larynx Artificiel Implantable Actif (LAIA)**
6. Conclusion et perspectives

## 5. LAIA - Faisabilité

Reconstruction des voies aériennes

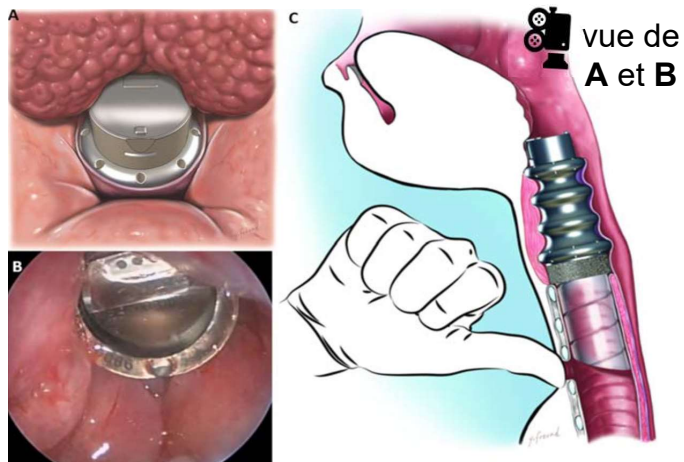
Système de protection actif



[H. C. Grillo 2002] prothèse synthétique inefficace.

## 5. LAIA - Faisabilité

Reconstruction des voies aériennes



Debry C. et al. 2014.

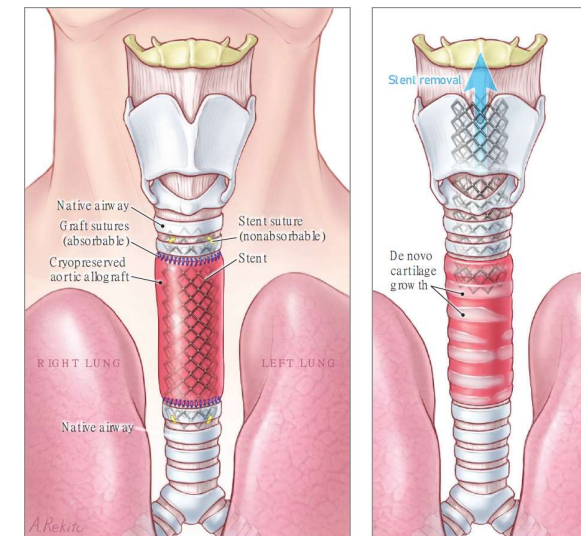
## 5. LAIA - Faisabilité

### Reconstruction des voies aériennes

Prothèse trachéale fonctionnelle [H. Etienne et al. 2018, H. C. Grillo 2002 ]:

- Flexibilité longitudinale.
- Rigidité.
- Étanchéité: épithélium respiratoire.
- Non-immunogénicité.
- Fiabilité et reproductibilité de la méthode.
- Biocompatibilité des matériaux.

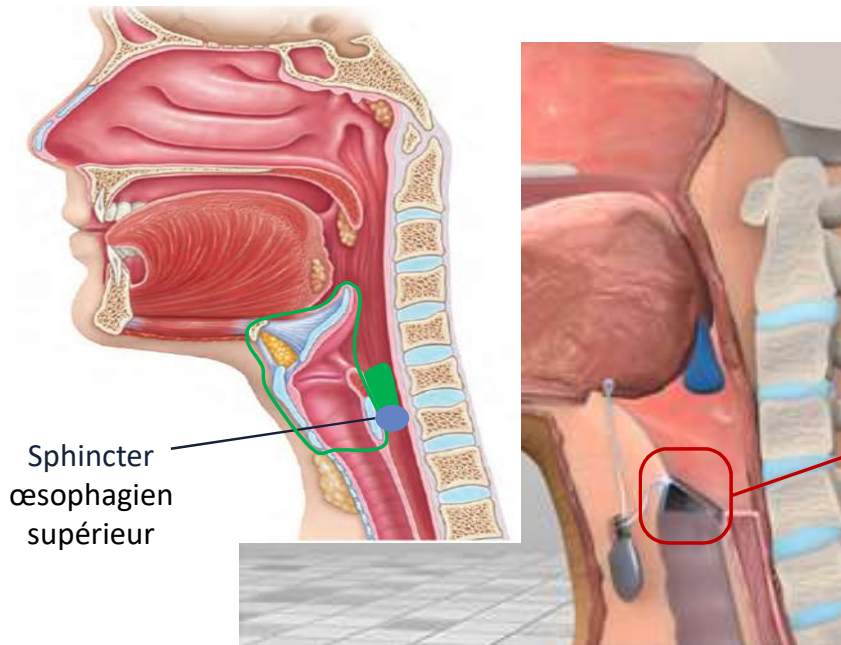
[H. C. Grillo 2002] prothèse synthétique inefficace.



E. Martinod et al. 2018

## 5. LAIA - Faisabilité

### Système de protection actif



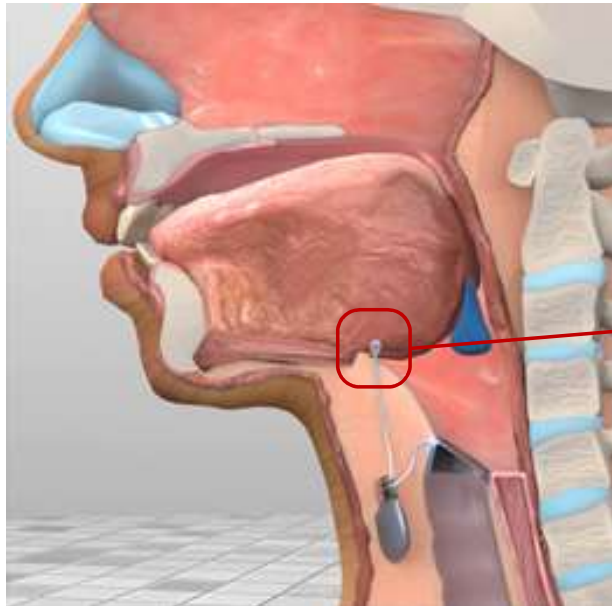
#### Mécanisme de protection fonctionnel:

- Surélévation de l'entrée du larynx
- Détournement du bol alimentaire
- Permettre une intervention médicale
- Compatibilité avec la radiothérapie
- Permettre l'expectoration des sécrétions
- Interdire toute fermeture définitive
- Rapidité de fermeture
- Petite taille



## 5. LAIA - Faisabilité

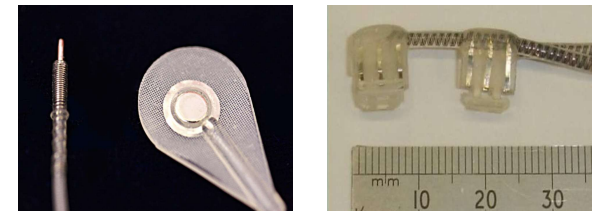
Reconstruction des voies aériennes



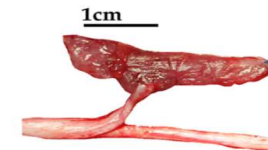
Système de protection active

Mesures implantables:

- K. A. Yildiz et al. 2020 (survey)



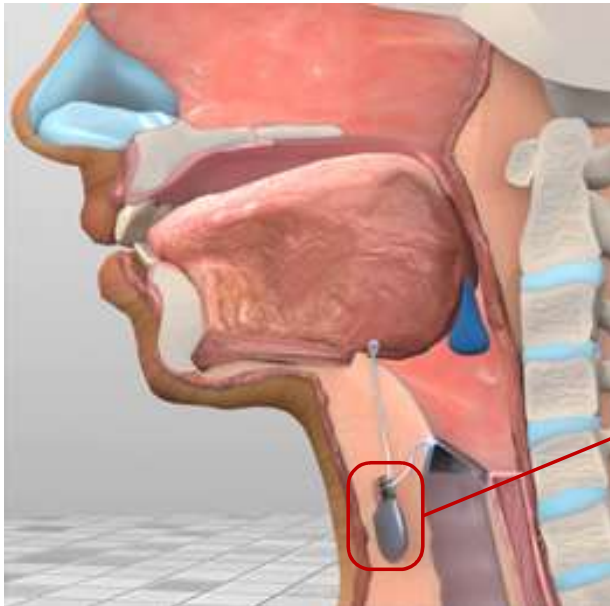
- Vue et al. 2020, K. L. Burke et al. 2022:



## 5. LAIA - Faisabilité

Reconstruction des voies aériennes

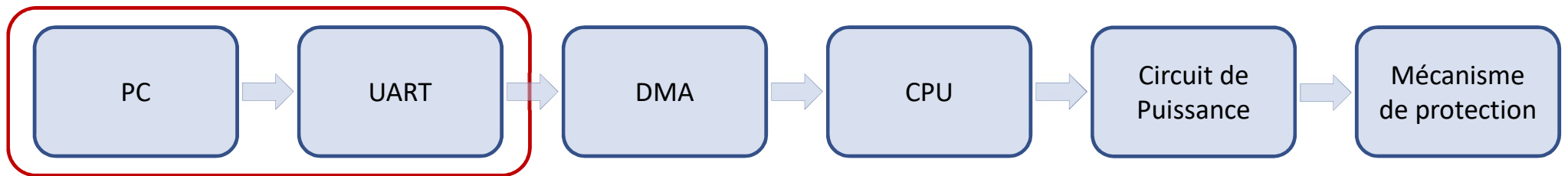
Système de protection active



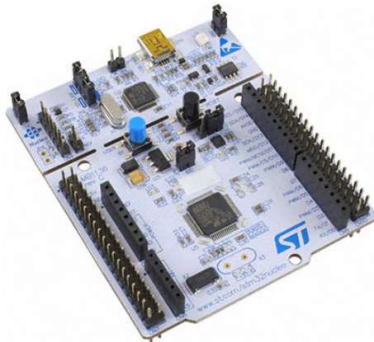
Rapidité de l'unité de calculs:

- Prothèses de bras robotisées [A. Jaramillo-Yáñez et al. 2020, N. Parajuli et al. 2019, R. H. Chowdhury et al. 2013]:
  - Contraintes de temps et de calcul comparables
  - Signaux relativement stationnaires
  - Pas de contrainte de consommation majeure
  - Pas d'enjeux vitaux

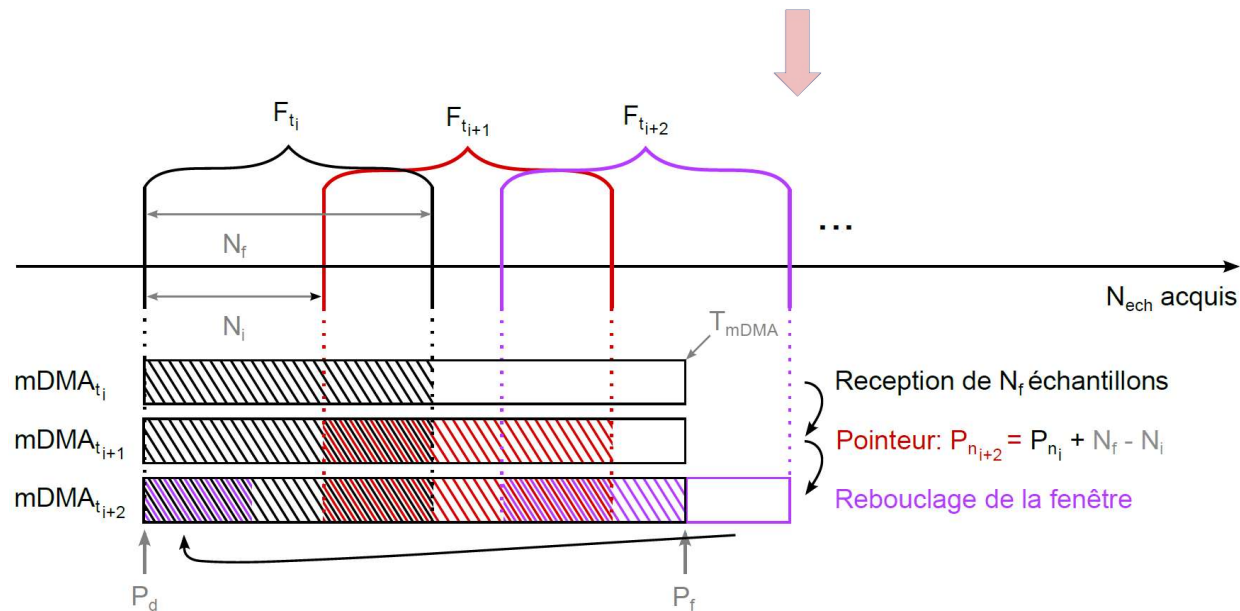
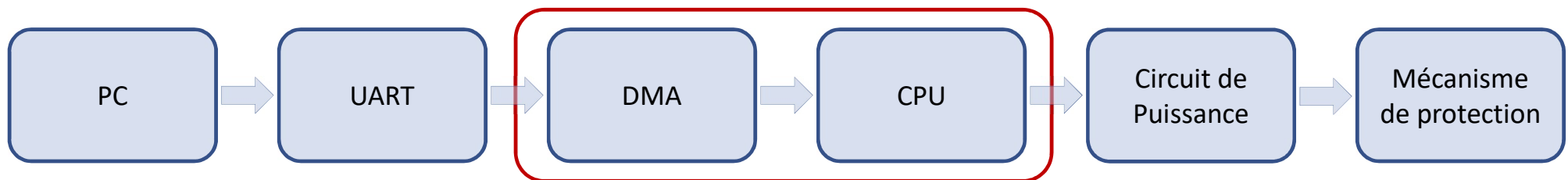
## 5. LAIA – Prototype de laboratoire



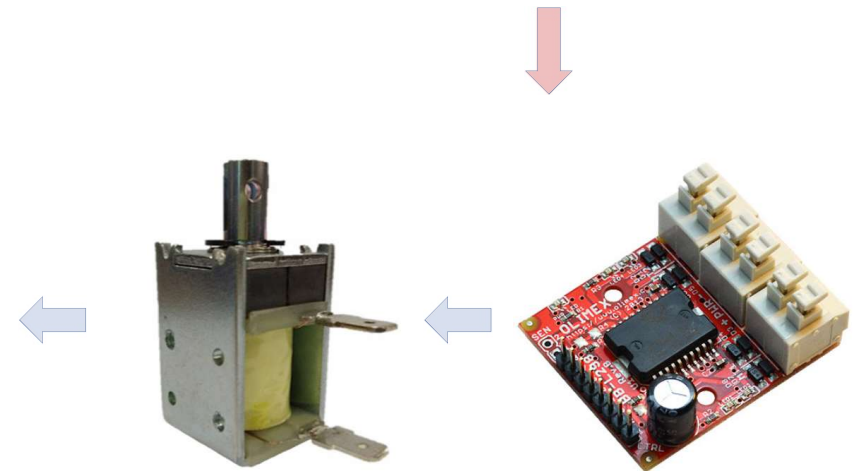
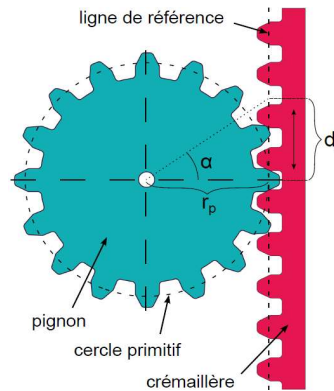
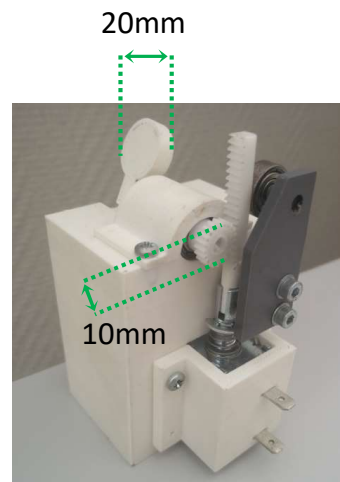
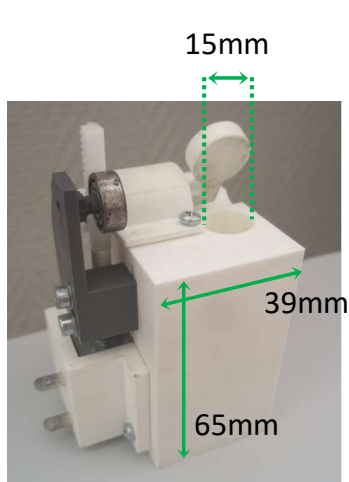
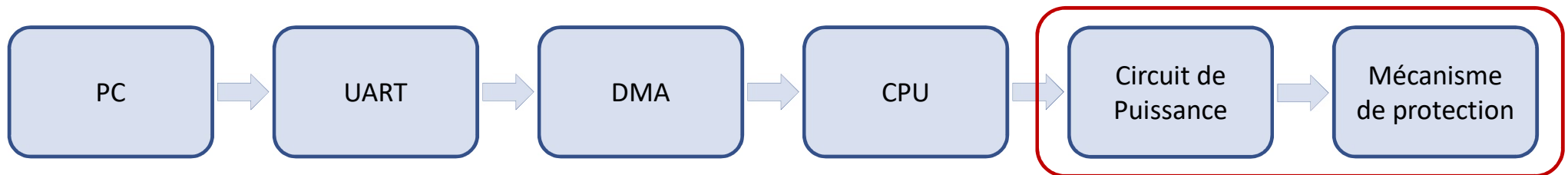
- Liaison série.
- Envoi temps réel.



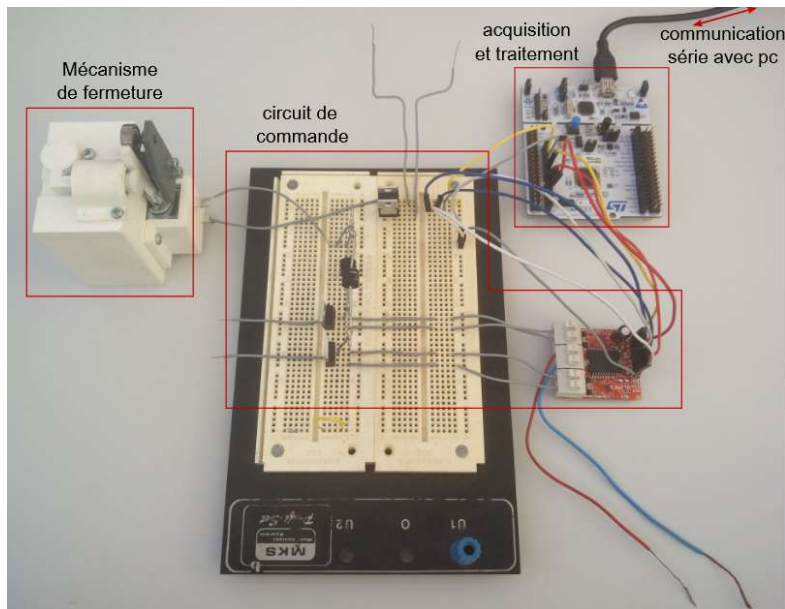
## 5. LAIA – Prototype de laboratoire



# 5. LAIA – Prototype de laboratoire



## 5. LAIA – Prototype de laboratoire



Microcontrôleurs utilisés

	CPU	Fréquence CPU max (MHz)	Mémoire Flash (Kbytes)	Consommation ( $\mu\text{A}/\text{MHz}$ )	UART	DMA	FPU	DSP
NUCLEO-L010RB	Cortex M0	32	128	93	✓	✓	X	X
NUCLEO-F446RE	Cortex M4	180	512	100	✓	✓	✓	✓
NUCLEO-U575ZI	Cortex M33	160	2000	19.5	✓	✓	✓	✓

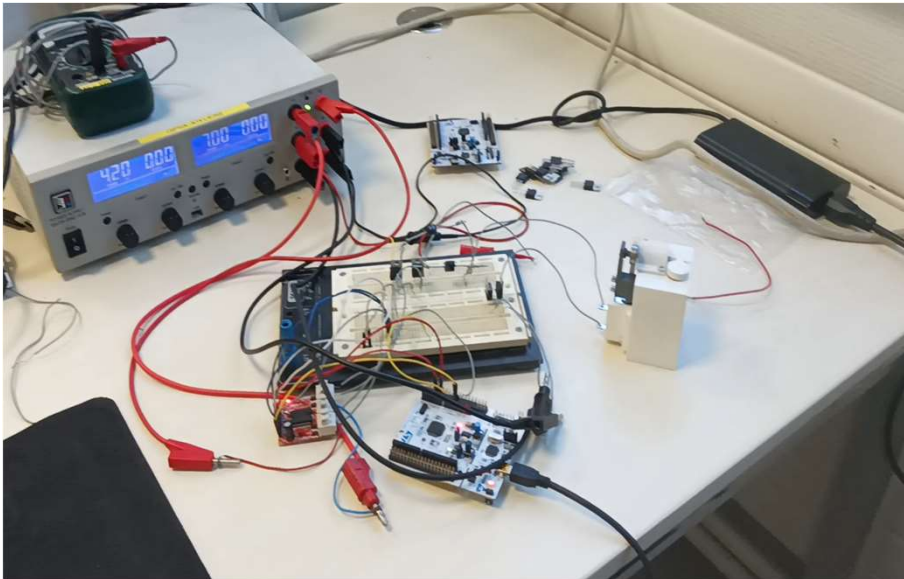
✓ : module présent, X : module non-présent.

### Configurations évaluées:

- Classifieurs: LDA, SVM, ANN
- Taille de fenêtre: 200 points, 400 points
- Intervalle entre fenêtres: 50 ms
- Signaux considérés: SH-PD, SH-PD-SM



## 5. LAIA – Prototype de laboratoire



Caméra rapide (1000 fps):

- La détection d'une déglutition allume une LED

- $T_a = T_f - T_{LED}$

- $T_a = 22ms$

Résultats par configuration

microcontrôleur	classifieur	taille de la fenêtre	signaux	temps (ms)	consommation (mA)	durée (ms)
L010RB	LDA	400	SH-PD	72.78	5.15	100
			SH-PD-SM	108.85	7.15	100
		200	SH-PD	38.18	5.44	50
			SH-PD-SM	55.26	3.93	100
	ANN	—	—	—	—	—
	SVM	—	—	—	—	—
F446RE ■	LDA	400	SH-PD	1.41	8.13	50
			SH-PD-SM	1.92	8.37	50
		200	SH-PD	0.76	7.91	50
			SH-PD-SM	1.13	8.03	50
	ANN	400	SH-PD-SM	2.31	24	50
	SVM	—	—	—	—	—
U575ZI ■	LDA	400	SH-PD-SM	2.69	1.93	50
	ANN	400	SH-PD-SM	3.27	1.95	50
	SVM	400	SH-PD-SM	135	3.5	50

■ classifieurs non implémentés. ■ possède un module FPU et DSP.

Temps total pire scénario - 400 points, SH-PD-SM, ANN:

$$T_T = 22 + 3,27 = 25,27ms$$

# Plan de la présentation

1. Contexte
2. Protocole de Recherche Clinique (PRC)
3. Étude statistique
4. Détection temps réel
5. Larynx Artificiel Implantable Actif (LAIA)
- 6. Conclusion et perspectives**

## 6. Conclusion et perspectives

- Mesure des muscles stylohyoïdien (SH) et digastrique postérieur (PD):
  - Élaboration d'une méthode novatrice par électromyographie intramusculaire.
- Timings:
  - Activation des muscles SH et PD au début de la déglutition.
  - Précocité de l'activité du muscle PD.
- Amplitude:
  - Prédisposition du muscle SH à la déglutition.
  - Stabilité du muscle SH.

## 6. Conclusion et perspectives

- Détection temps réel:
  - Amélioration significative de la **justesse** de détection avec le muscle SH.
  - Amélioration significative de la **précocité** de détection avec le muscle PD.
  - Potentiel effet synergique entre les muscles SH et PD.
- Larynx artificiel implantable actif:
  - Les méthodes de mesure et de reconstruction des voies aériennes sont prometteuses.
  - Prototype de laboratoire actionnable en **25,27ms**.



## 6. Conclusion et perspectives

- Recherche d'informations complémentaires sur l'activité du cou.
- Développement d'un mécanisme de protection de la trachée.
- Étude du système sur des patients laryngectomisés totaux.
- Élaboration d'un algorithme aux contraintes temporelles fortes.
- Étude des cas particuliers: vomissement, sommeil, évolution temporelle, ...

# Publications

- Revues internationales à comité de lecture:
  - Survey
    - **A. Mialland**, I. Atallah et A. Bonvilain. “*Toward a robust swallowing detection for an implantable active artificial larynx : a survey*”. In : Medical & Biological Engineering & Computing (2023), p. 1299-1327. doi : [10.1007/s11517-023-02772-8](https://doi.org/10.1007/s11517-023-02772-8).
  - Articles
    - **A. Mialland**, I. Atallah et A. Bonvilain. “*Stylohyoid and posterior digastric potential evaluation for a real-time swallowing detection, with intramuscular EMG*”. In: IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics (2023), doi: [10.1109/TMRB.2023.3336960](https://doi.org/10.1109/TMRB.2023.3336960).
    - **A. Mialland**, I. Atallah et A. Bonvilain. “*Stylohyoid and posterior digastric recruitment pattern evaluation in swallowing and non-swallowing tasks*”. In : Innovation and Research in BioMedical engineering (2023). Doi: [10.1016/j.irbm.2024.100823](https://doi.org/10.1016/j.irbm.2024.100823).
    - **A. Mialland** et al. “*Submental MechanoMyoGraphy (MMG) to Characterize the Swallowing Signature*”. In : Innovation and Research in BioMedical engineering (2021). doi : [10.1016/j.irbm.2021.05.001](https://doi.org/10.1016/j.irbm.2021.05.001).
- Conférences internationales à comité de lecture:
  - **A. Mialland**, I. Atallah et A. Bonvilain. “*Stylohyoid and posterior digastric measurement with intramuscular EMG, submental EMG and swallowing sound*.” In : Biomedical Engineering Systems and Technologies (2023). Lisbonne. doi : [10.5220/0011628100003414](https://doi.org/10.5220/0011628100003414).
  - **A. Mialland**, I. Atallah et A. Bonvilain. “*Stylohyoid and posterior digastric timing evaluation*”. In : Body Sensor Networks (2023). Boston. Doi: [10.1109/BSN58485.2023.10331308](https://doi.org/10.1109/BSN58485.2023.10331308).
- Conférence internationale:
  - **A. Mialland**, I. Atallah et A. Bonvilain. *The inherent complexity of an implantable active artificial larynx*. Recherche en Imagerie et Technologies pour la Santé. Brest. 2022.
- Conférence nationale:
  - **A. Mialland**, I. Atallah et A. Bonvilain. *Vers la faisabilité d'un larynx artificiel implantable actif*. Société Française de Phoniatrie et Laryngologie. Tours. 2021.
- Protocole de recherche clinique:
  - **A. Mialland**, I. Atallah et A. Bonvilain. *Detection of Early Swallowing Time by Electromyogram and Sound Recording in Healthy Volunteers*. <https://clinicaltrials.gov/>. Protocol ID : 38RC22.0096.2022.