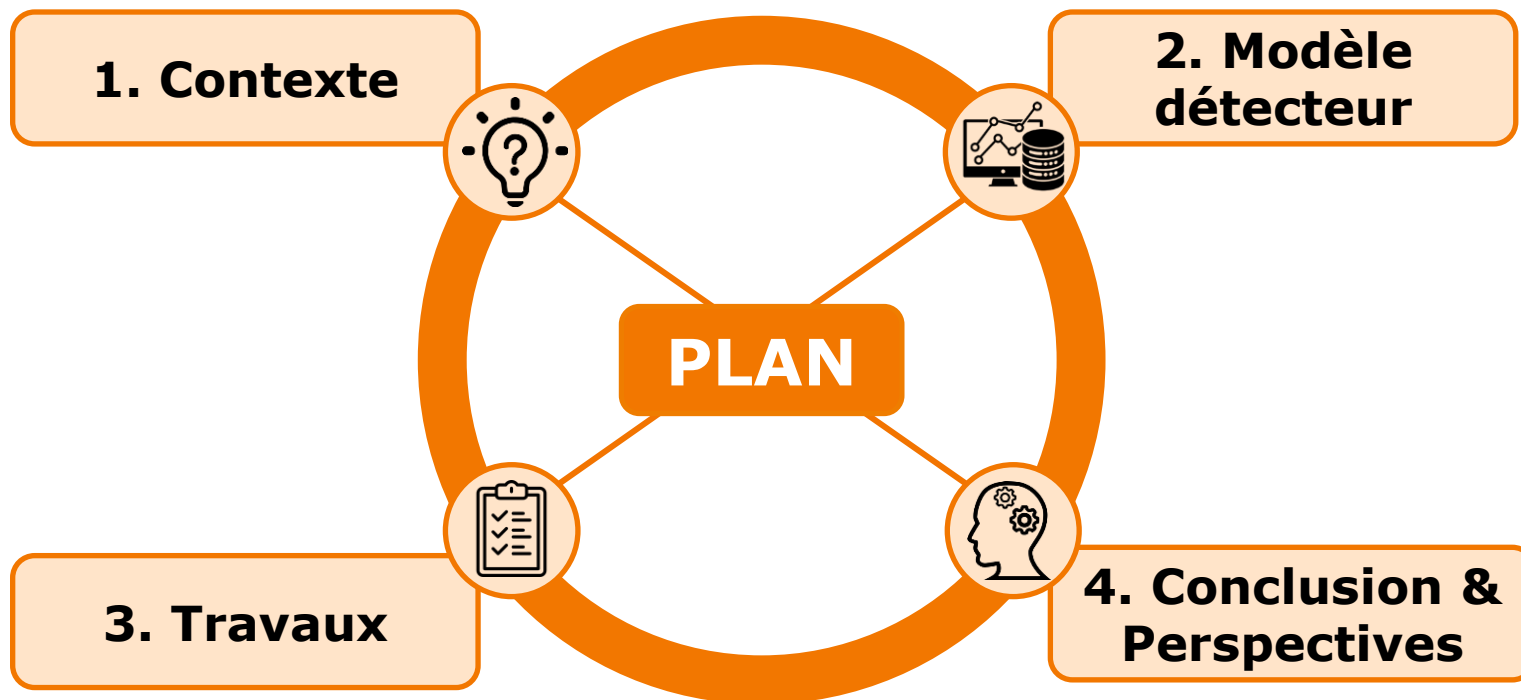


# **MESURE NON-INVASIVE DES MOUVEMENTS DES CORDES VOCALES EN ÉCHOGRAPHIE**

**BUI Trung Kien**

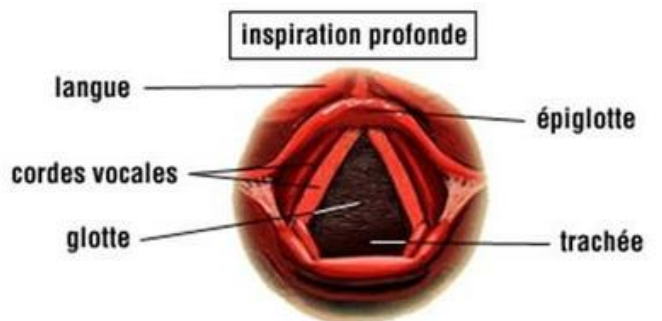
**Encadrante: FROUIN Frédérique**





## Contexte

## ➤ Anatomie



phonation



inspiration

Vue supérieure du larynx

Paralysie des cordes vocales



Normales



Paralysie unilatérale



Paralysie bilatérales



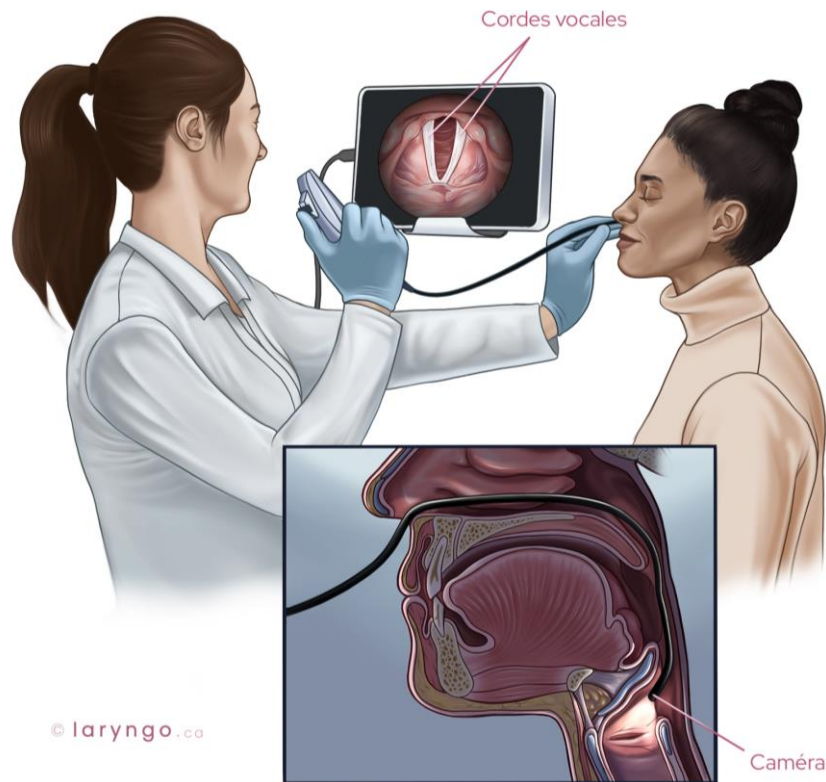
Respiration

Phonation



## Contexte ➤ Méthode de diagnostic la plus utilisée: Laryngoscopie

- Bonne visualisation de l'intérieur du larynx
- Méthode mini invasive





## Contexte

### ➤ Méthode alternative: Echographie translaryngée

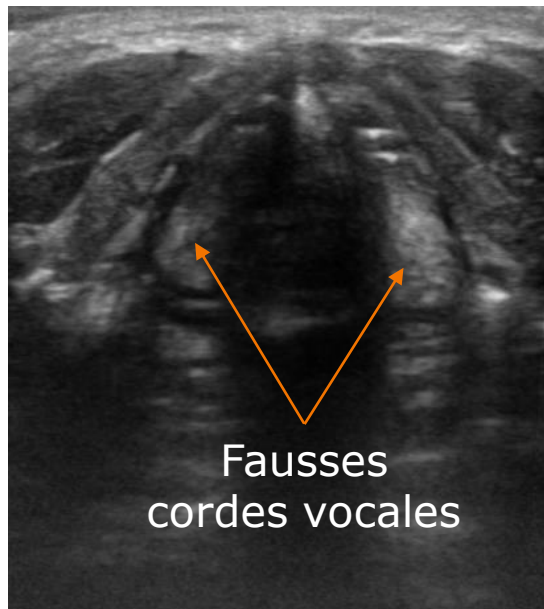
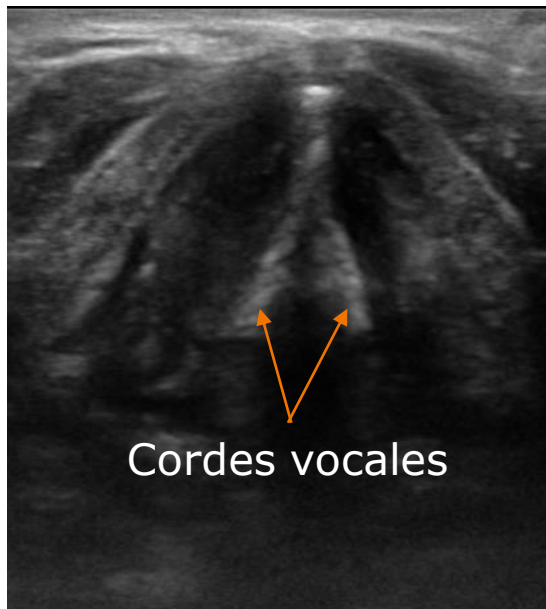






## Contexte

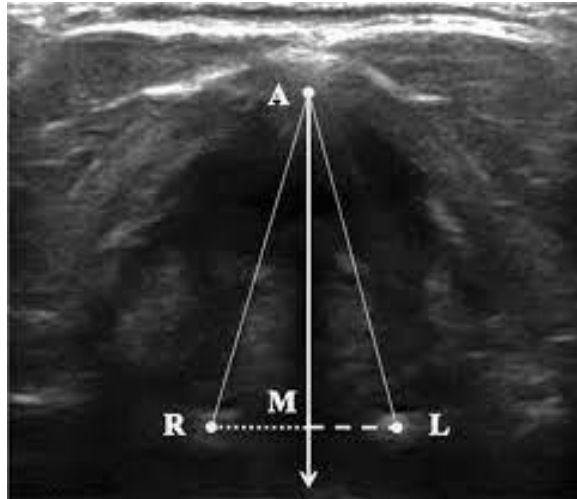
### ➤ Difficulté de la visualisation des cordes vocales





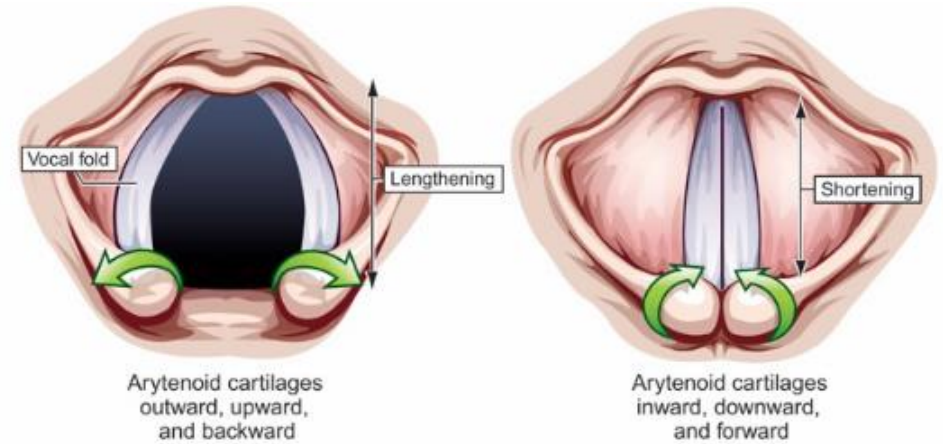
## Contexte

### ➤ Etude sur les éléments de mouvement avoisinants



A : Cartilage thyroïdien

R,L : Cartilages aryténoïdes



Source: Bergeret-Cassagne et al J Ultrasound Med (2017)



## Contexte

### ➤ **Objectif principal du projet VOCALISE**

« Quantification des mouvements des cordes vocales pour mesurer l'impact de l'orthophonie »

### ➤ **Objectif de mon premier travail**

« Détection et suivi automatisés des marqueurs du mouvement par des méthodes Deep Learning »



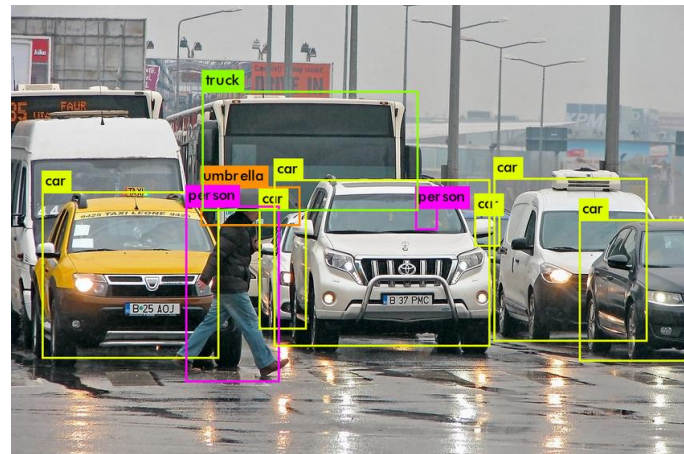
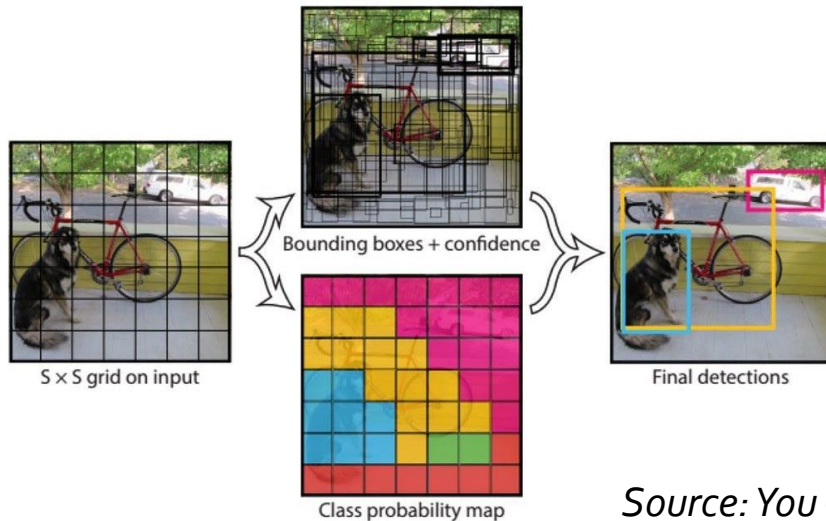




## Détecteur

### ➤ YOLO – *You Only Look Once*

- Détecter, localiser et classifier des objets en une seule étape
- Haut niveau de précision et de vitesse
- Travaux sur la version YOLOv7

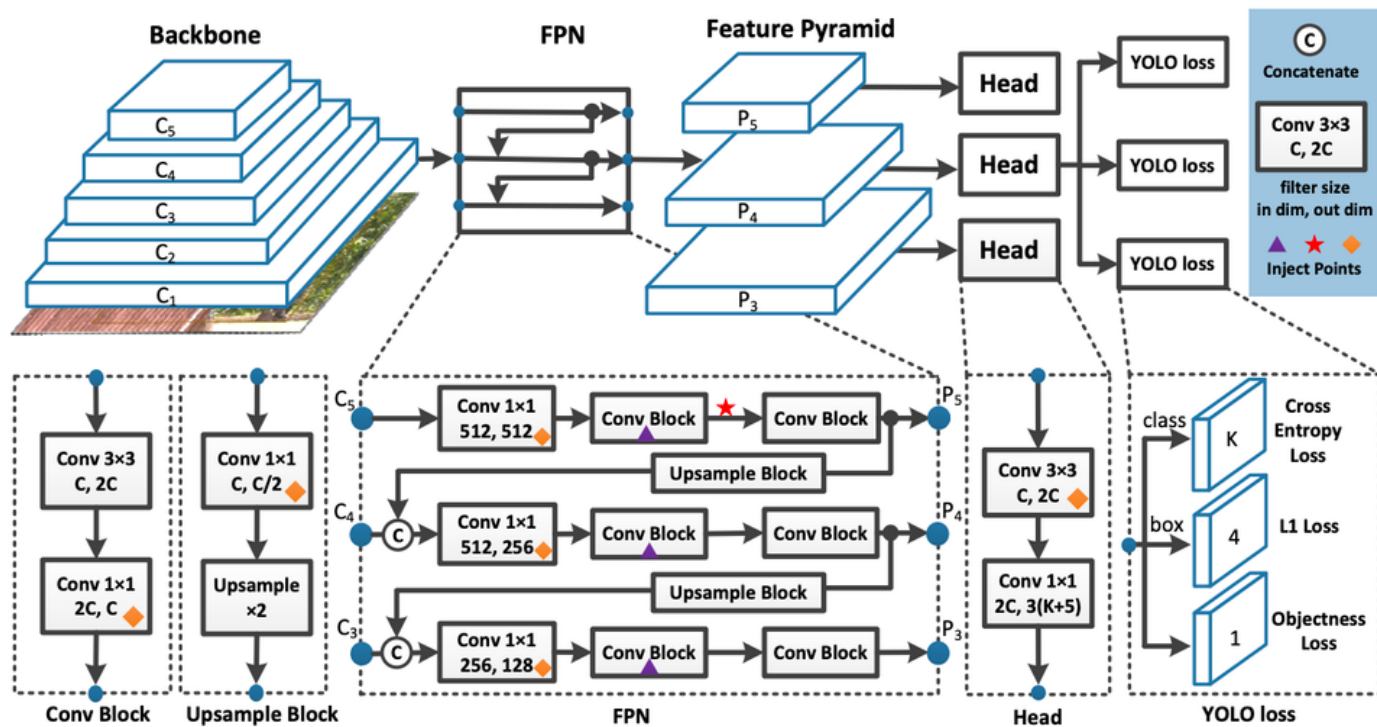


Source: *You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection*



## Détecteur

### ➤ YOLO architecture



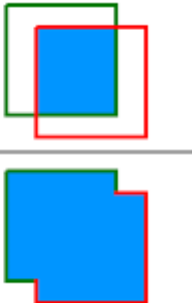
Source: PP-YOLO: An Effective and Efficient Implementation of Object Detector

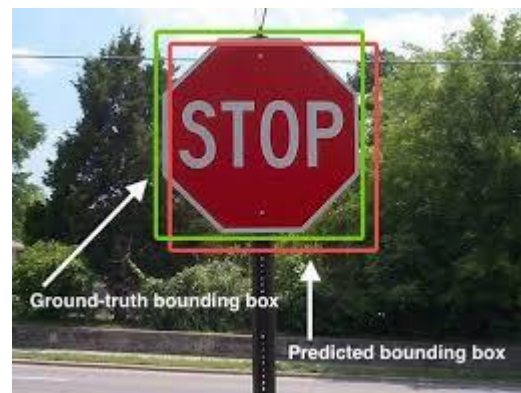


## Détecteur

### ➤ Métriques d'évaluation pour YOLO

- *Intersection over Union (IoU)*

$$IoU = \frac{\text{area of overlap}}{\text{area of union}} = \frac{\text{area of intersection}}{\text{area of union}}$$




Vérifier la précision du détecteur

Déterminer le seuil de IoU pour valider la prédiction



## Détecteur

### ➤ Métriques d'évaluation pour YOLO

- *Matrice de confusion*

TP si  $\text{IoU} > \text{seuil donné}$

FP si  $\text{IoU} < \text{seuil donné}$

FN si l'objet non détecté

		True Class	
		Positive	Negative
Predicted Class	Positive	TP	FP
	Negative	FN	TN



## Détecteur

### ➤ Métriques d'évaluation pour YOLO

- *Matrice de confusion*

Seuil IoU = 0.5 ; **ground-truth** ; **prediction**



TP



FN



FP



## Détecteur

### ➤ Métriques d'évaluation pour YOLO

- *Matrice de confusion*

TP si IoU > seuil donné

FP si IoU < seuil donné

FN si l'objet non détecté

- *Précision*

$$p = \frac{TP}{TP + FP}$$

- *Recall*

$$r = \frac{TP}{TP + FN}$$

		True Class	
		Positive	Negative
Predicted Class	Positive	TP	FP
	Negative	FN	TN

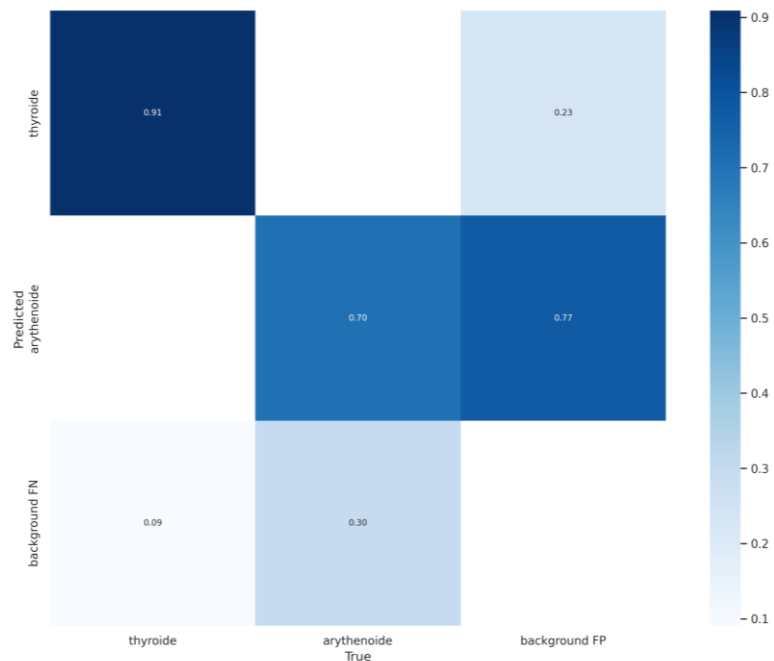




## Détecteur

### ➤ Métriques d'évaluation pour YOLO

- *Matrice de confusion pour la classification multiclasse*





### Détecteur

### ➤ Métriques d'évaluation pour YOLO

#### Pour la classification multiclasse

- *AP (Average precision)* est calculée comme la moyenne des valeurs de précision pour toutes les valeurs de recall entre 0–1 à une seuil donnée de IoU ( $AP@.5$ ,  $AP@.75$ ,  $AP@.95$ ,...)
- *$mAP@.5$  (mean Average precision à  $IoU = 0.5$ )* est calculée comme la moyenne des valeurs  $AP@.5$  de chaque classe

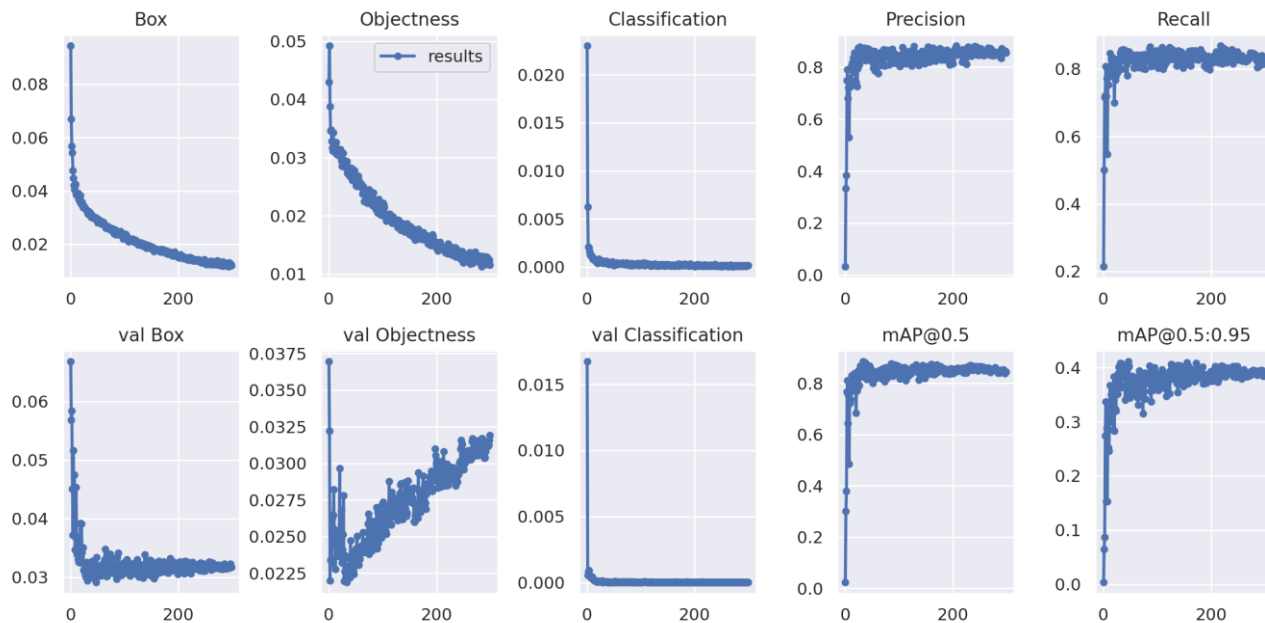




## Détecteur

### ➤ Métriques d'évaluation pour YOLO

- *Box/Objectness/Classification loss*



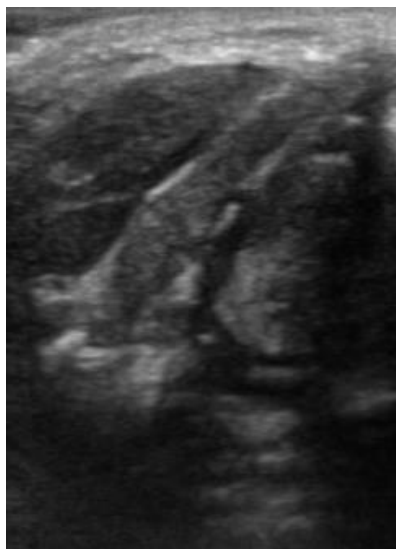


## Travaux

### ➤ Reprise de l'ancien travail

- Donnée = Image de hémilarynx + Annotation

0 0.6431535269709544 0.5533769063180828 0.2697095435684647 0.10893246187363835



Côté gauche



Côté droit inversé

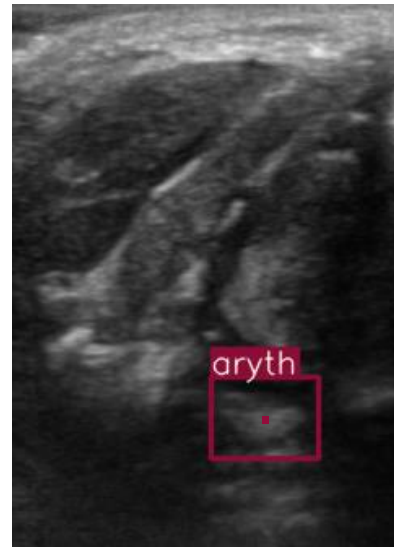


Image avec annotation



### Travaux

#### ➤ Reprise de l'ancien travail

- Training du YOLOv7 pour détection des aryténoïdes
  - Au total : 2638 images annotées = 1319 de chaque hémilarynx
  - *Train set* : 2156 (~80%)
  - *Val set* : 482 (~20%)
  - Hyperparamètres à défaut
  - 300 époques

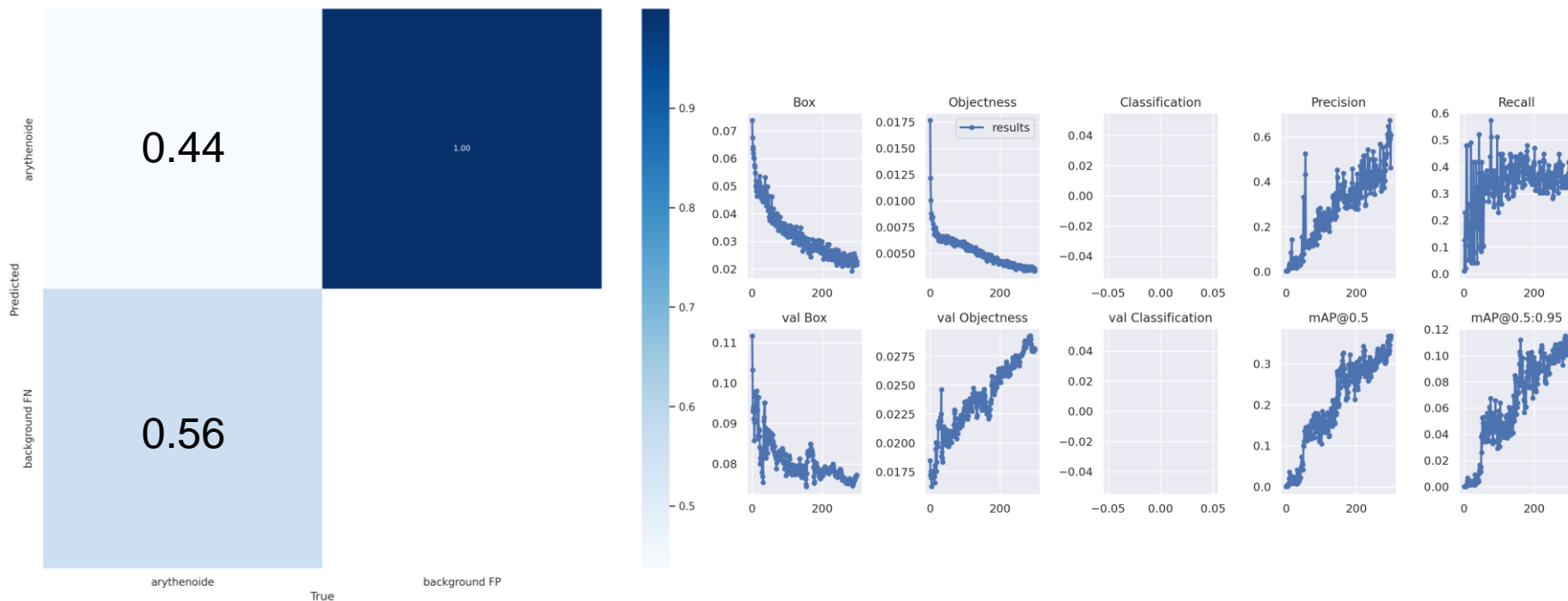




## Travaux

### ➤ Reprise de l'ancien travail

- Résultat du training du modèle YOLO pour détection des aryténoïdes





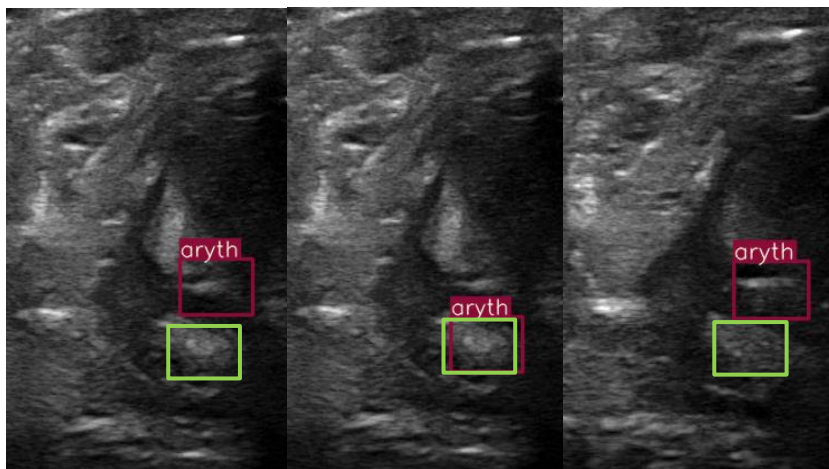


## Travaux

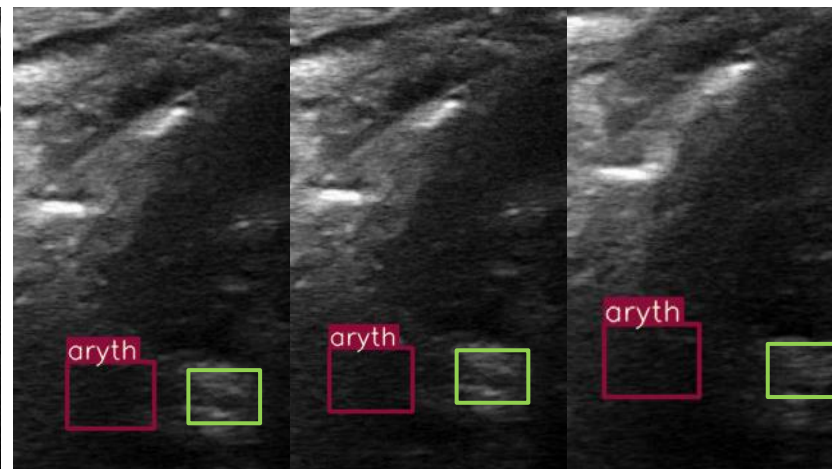
### ➤ Reprise de l'ancien travail

- Problèmes des annotations

ground-truth ; annotation



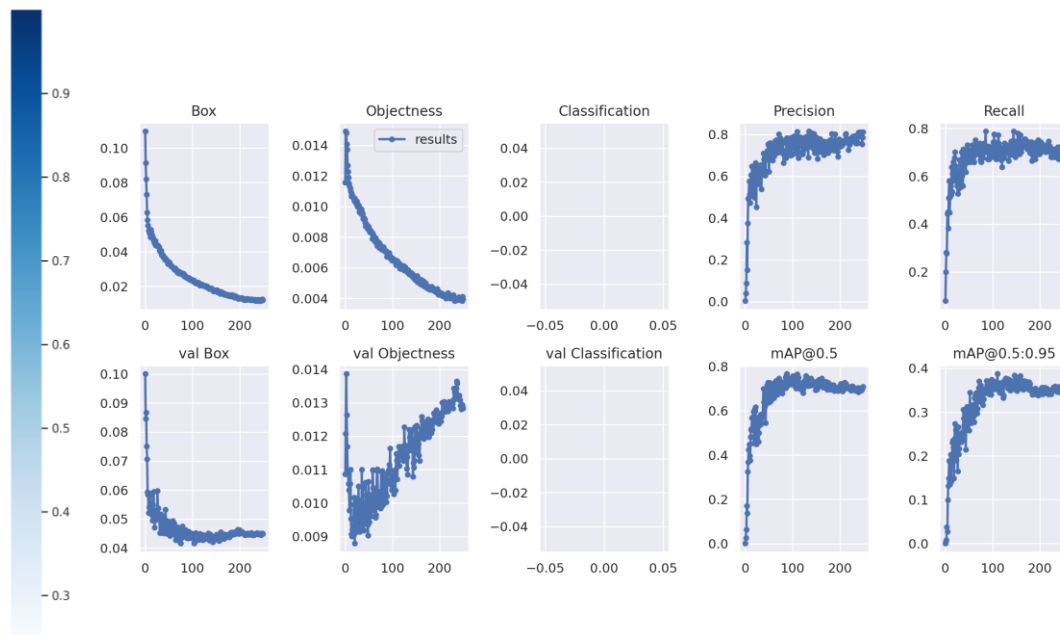
Côté gauche



Côté droit inversé

## ➤ Reprise de l'ancien travail

- Résultat du training pour les bonnes images de côté gauche

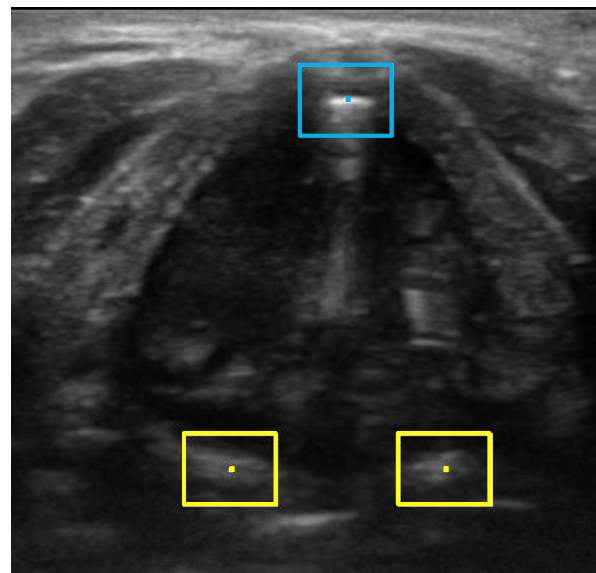
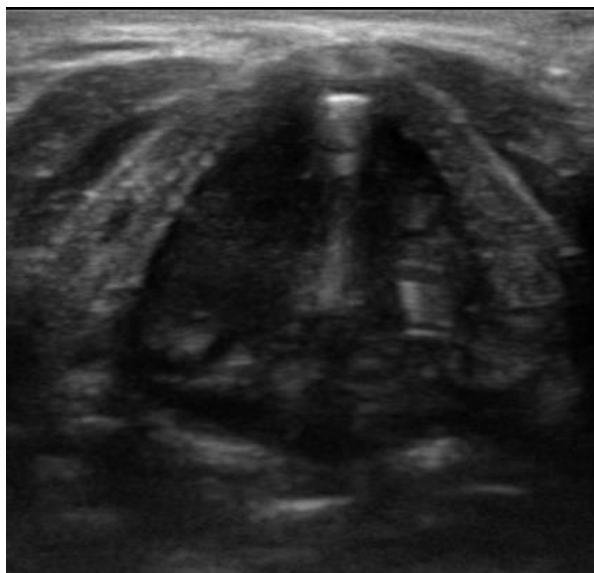




## Travaux

### ➤ Préparation des nouvelles bases de données

- Image entière du larynx
- 2 classes à détecter: cartilage **thyroïdien** et **aryténoïdes**





### Travaux

#### ➤ Préparation des nouvelles bases de données



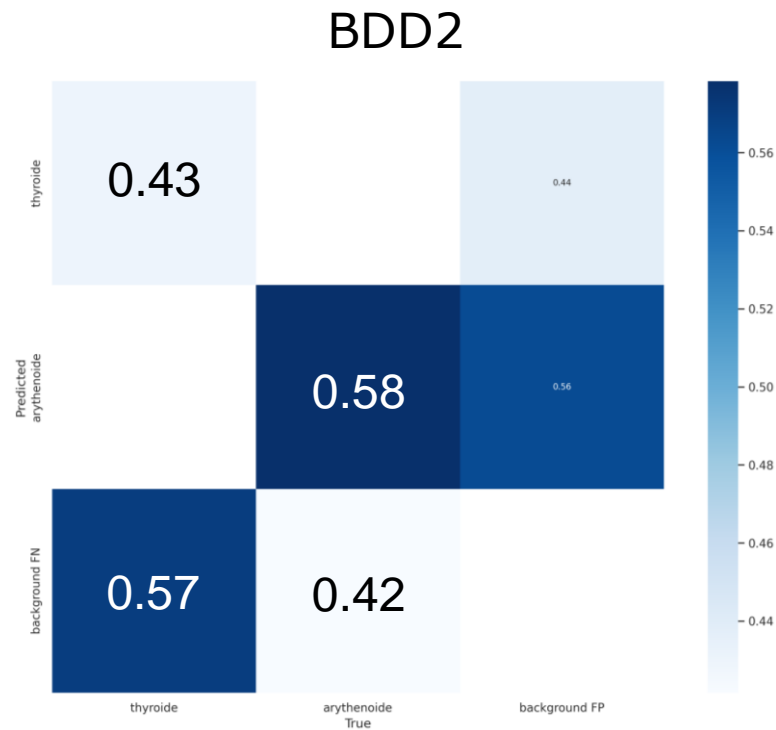
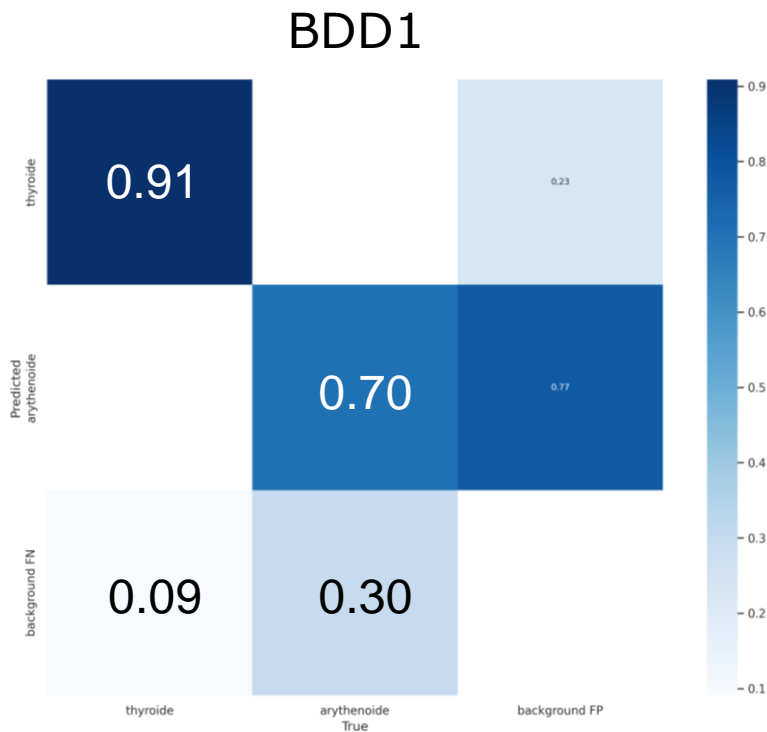
- Au total : 2395 images annotées
- 3 bases de données différentes
  - **BDD1** : 151 patients – 1637 images acquises par un expert avec un échographe; annotées par deux experts.
  - **BDD2** : 46 patients – 621 images acquises par des différents experts avec 4 échographes différents; annotées par un expert.
  - **BDD3** : 64 patients – 137 images acquises par un expert avec un échographe; annotées par un expert.



## Travaux



### ➤ Résultats training pour les nouvelles bases de données





### Travaux

#### ➤ Curation des données

- Créer des ensembles de données conformes à l'accord de l'expert
- Nouvelles bases de données : 1255 images au total
  - **BDD1** : 120 patients – 812 images
  - **BDD2** : 42 patients – 322 images
  - **BDD3** : 55 patients – 121 images



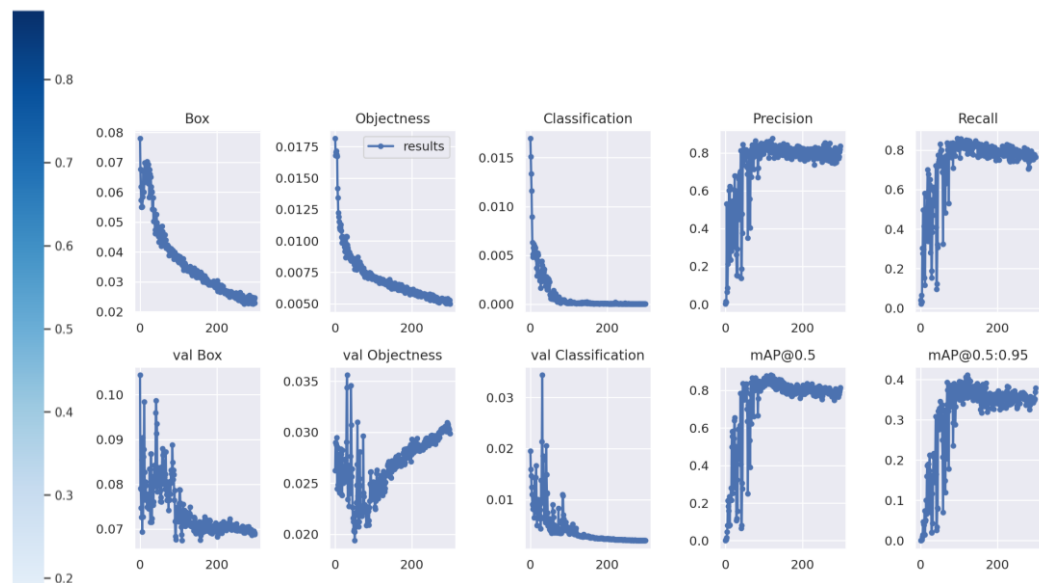
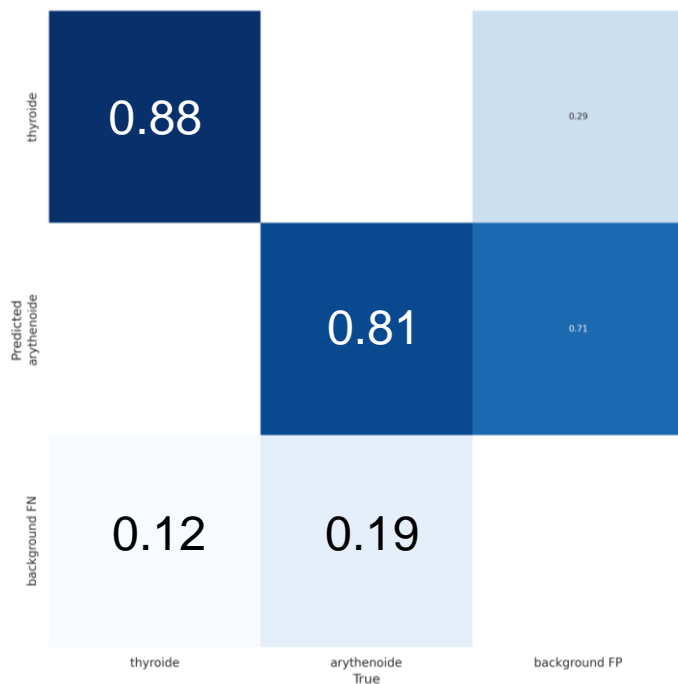




## Travaux

### ➤ Résultats après curation des données

#### ■ Training sur BDD1

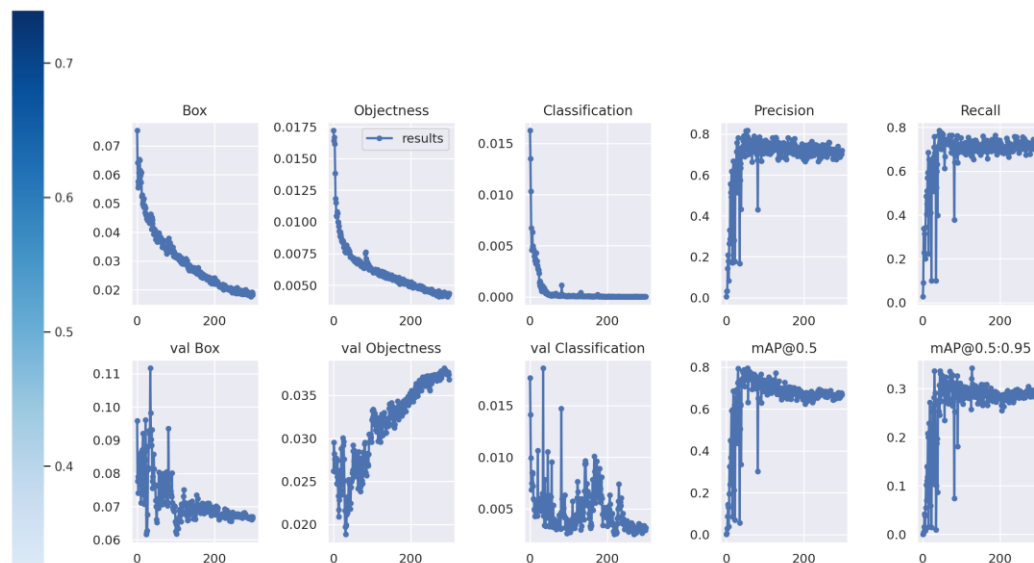
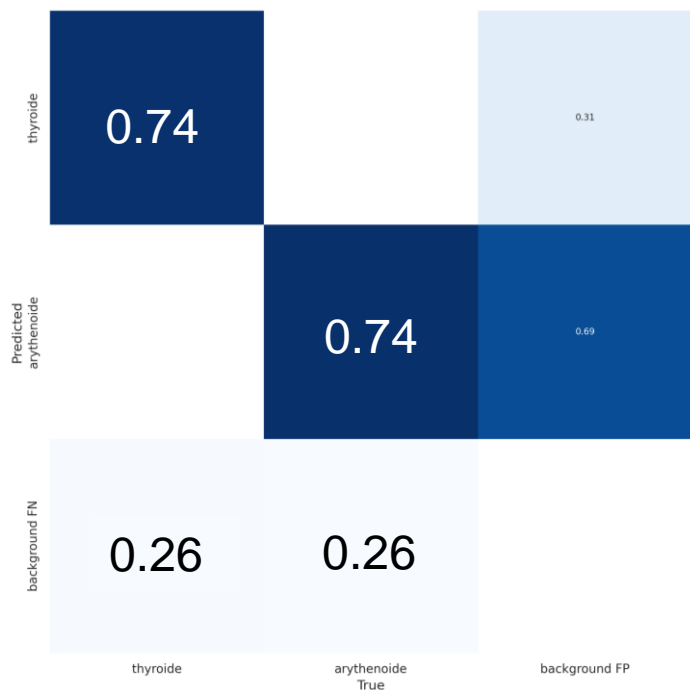




## Travaux

### ➤ Résultats après curation des données

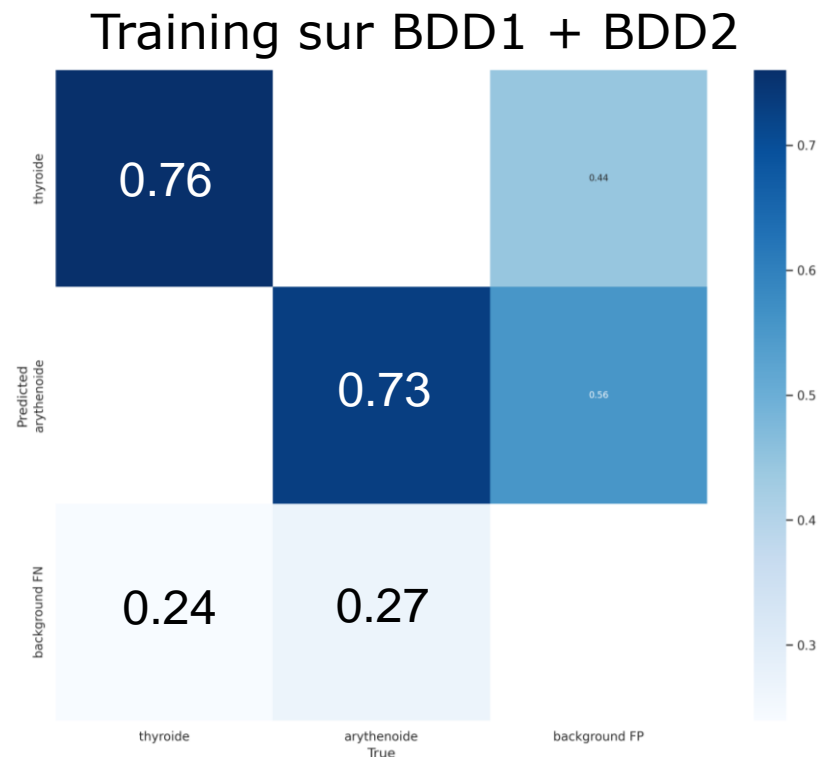
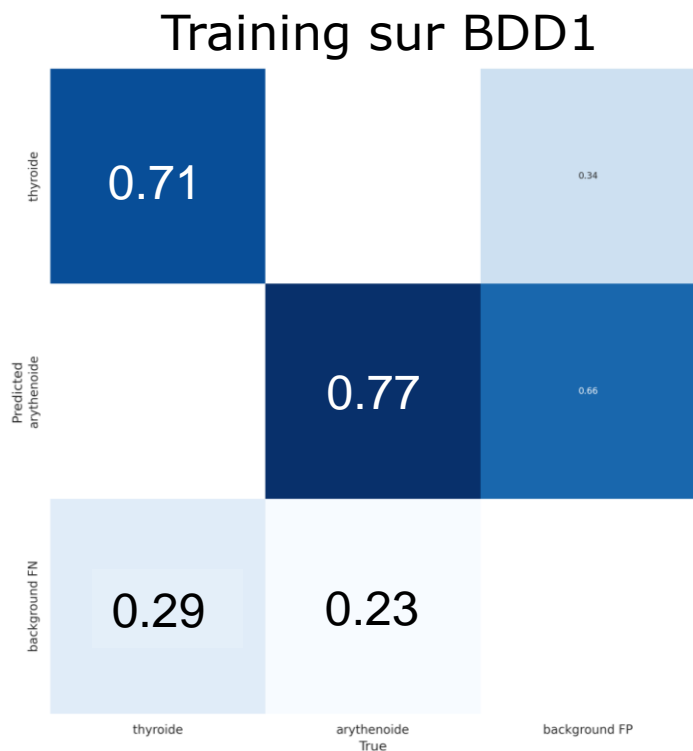
#### ■ Training sur BDD1 + BDD2





## Travaux

### ➤ Résultats de test sur BDD3 après curation des données

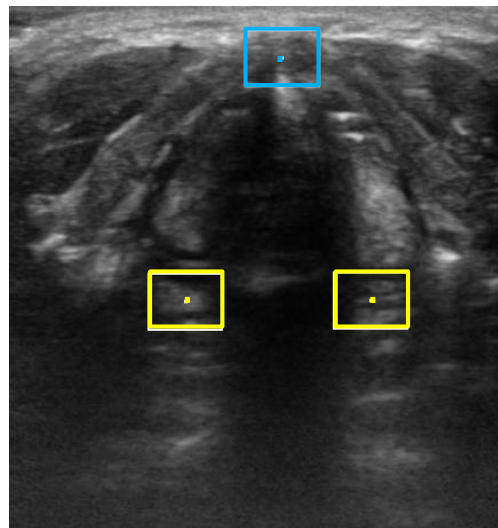
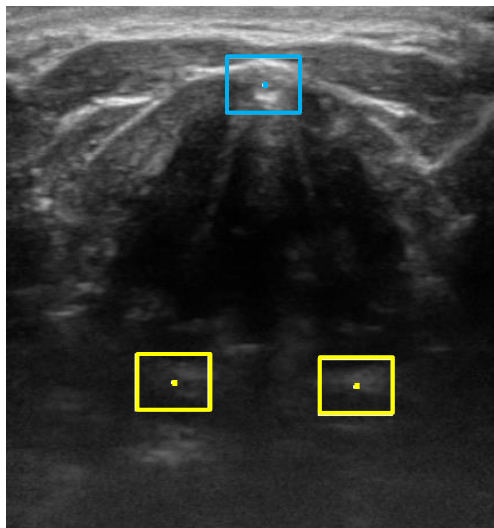




## Conclusion & Perspectives

### ➤ Impact des données mal annotées

- Performance améliorée après la curation des données
- Etude sur les erreurs du centre de la boîte englobante annotée

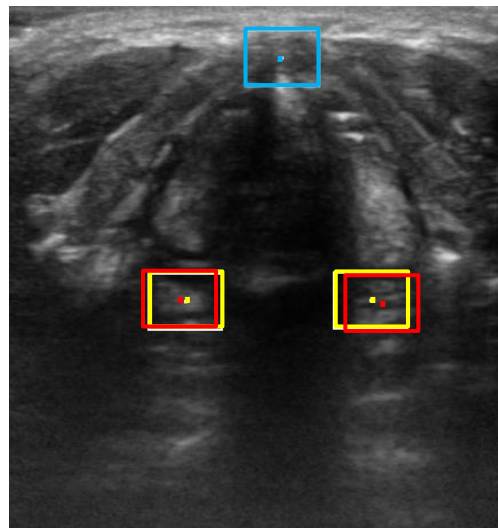
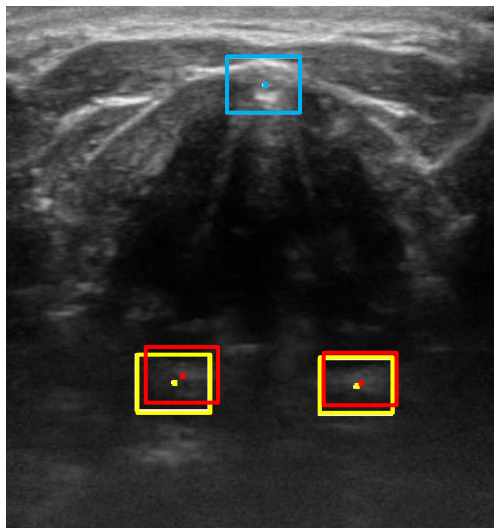




## Conclusion & Perspectives

### ➤ Impact des données mal annotées

- Performance améliorée après la curation des données
- Etude sur les erreurs du centre de la boîte englobante annotée





## Conclusion & Perspectives

### ➤ Suivi du trajectoire des éléments

- Modèle entraîné sur l'ancienne base de données
- Détection des aryténoïdes sur vidéo

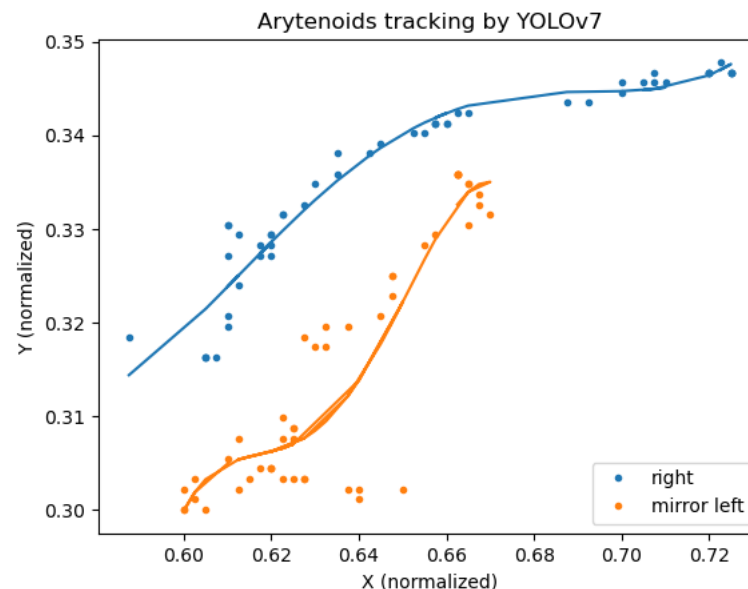




## Conclusion & Perspectives

### ➤ Suivi du trajectoire des éléments

- Modèle entraîné sur l'ancienne base de données
- Détection des aryténoïdes sur vidéo
- Suivi du déplacement des aryténoïdes lors d'un cycle
- Automatisation du suivi



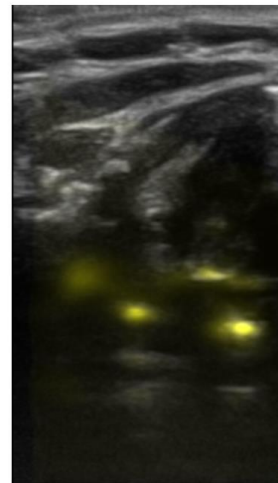
Distance euclidienne de l'aryténoïde DROIT pendant ouverture-fermeture : 30 pixels  
- Les coordonnées en pixel du premier point de l'ouverture : [117.5 146.5]  
- Les coordonnées en pixel du premier point de l'fermeture : [144.5 160.]

Distance euclidienne de l'aryténoïde GAUCHE pendant ouverture-fermeture : 18 pixels  
- Les coordonnées en pixel du premier point de l'ouverture : [122. 140.5]  
- Les coordonnées en pixel du premier point de l'fermeture : [132.5 154.5]



### Conclusion & Perspectives

- **Nouveau logiciel de l'annotation (apteryx)**
  - Permettant d'avoir davantage des images annotées pendant un cycle de fermeture ou d'ouverture des cordes vocales
- **Essai d'un autre algorithme pour comparaison**
- Détection d'objet par régression de carte thermique
  - **Modèle biomécanique**





**FIN.**