



UNIVERSITÉ DE LILLE  
**FACULTÉ DE MÉDECINE HENRI WAREMBOURG**  
Année : 2024

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT  
DE DOCTEUR EN MÉDECINE

**Étude de l'apport des séquences spectrales dans l'interprétation  
scanographique des carcinomes épidermoïdes pharyngolaryngés.**

Présentée et soutenue publiquement le 04 Octobre 2024 à 18 heures  
au Pôle Recherche  
par **Clara MALDONATO**

---

**JURY**

**Président :**

**Monsieur le Professeur Dominique CHEVALIER**

**Assesseurs :**

**Monsieur le Professeur Geoffrey MORTUAIRE**

**Madame le Docteur Frédérique DUBRULLE**

**Monsieur le Docteur François MOUAWAD**

**Directeur de thèse :**

**Monsieur le Docteur Martin MORISSE**

---

## *AVERTISSEMENT*

*La Faculté n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses. Celles-ci sont propres à leurs auteurs.*



# Abréviations

HPV : Human PapillomaVirus

EBV : Epstein-Barr Virus

VADS : Voie Aéro-Digestives Supérieures

ORL : Oto-Rhino-Laryngologie

TNM : Tumor Node Metastasis

TDM : Tomodensitométrie

DECT : Scanner à double énergie ou scanner spectral

ROI : Region Of Interest

VNC : Cartographie virtuel sans contraste

HTE : Hyo-Thyro-Epiglottique

TPF : Docetaxel + cisplatine + 5-fluorouracile

RCP : Réunion de Concertation Pluridisciplinaire

CHU : Centre Hospitalier Universitaire

PACS : Change Healthcare Radiology Solutions

# Table des matières

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
1.1. GENERALITES SUR LES CANCERS DU LARYNX .....	1
1.1.1. <i>Épidémiologie des cancers du larynx</i> .....	1
1.1.2. <i>Facteurs de risque spécifiques</i> .....	2
1.1.3. <i>Bilan initial</i> .....	3
1.2. LA TOMODENSITOMETRIE CONVENTIONNELLE .....	3
1.2.1. <i>Principes du bilan tomodensitométrie</i> .....	3
1.2.2. <i>Modalités pratiques du bilan tomodensitométrie en cancérologie du larynx</i> .....	4
1.2.3. <i>Intérêt des manœuvres dynamiques</i> .....	5
1.3. MODES D'EXTENSION DES CANCERS LARYNGES.....	6
1.3.1. <i>Généralités anatomiques sur le larynx</i> .....	6
1.3.1.1. <i>Les zones de résistance à l'extension des cancers laryngés</i> .....	7
1.3.1.2. <i>Les zones de faiblesse à l'extension des cancers laryngés</i> .....	7
1.3.2. <i>Cancers de l'étage sus-glottique</i> .....	8
1.3.3. <i>Cancers de l'étage glottique</i> .....	9
1.3.4. <i>Cancers de l'étage sous-glottique</i> .....	11
1.4. MODALITES THERAPEUTIQUES DES CANCERS LARYNGES.....	12
1.4.1. <i>La radiothérapie en boîte laryngée</i> .....	12
1.4.2. <i>La chirurgie par voie endoscopique</i> .....	12
1.4.3. <i>La chirurgie partielle par voie externe</i> .....	12
1.4.4. <i>Le protocole de préservation laryngée avec chimiothérapie d'induction</i> .....	13
1.4.5. <i>La chirurgie non conservatrice : la laryngectomie totale</i> .....	13
1.4.6. <i>Traitement des tumeurs non résecables</i> .....	14
1.5. LA TOMODENSITOMETRIE SPECTRALE .....	14
1.5.1. <i>Principes de la tomodensitométrie spectrale</i> .....	14
1.5.2. <i>Méthodes d'acquisition des séquences spectrales</i> .....	15
1.5.3. <i>Les différentes reconstructions possibles</i> .....	17
1.5.3.1. <i>Les images monochromatiques virtuelles</i> .....	17
1.5.3.2. <i>Les cartographies</i> .....	20
1.6. BUT DE L'ETUDE.....	21
<b>2. MATÉRIELS ET MÉTHODES .....</b>	<b>23</b>
2.1. DESCRIPTION DE L'ÉTUDE.....	23
2.2. SÉLECTION DES CAS INCLUS DANS L'ÉTUDE.....	23

2.3.	ANONYMISATION DES DONNEES .....	25
2.4.	OBSERVATEURS .....	25
2.5.	ANALYSE STATISTIQUE .....	26
<b>3.</b>	<b>RESULTATS .....</b>	<b>28</b>
3.1.	DESCRIPTION DES OBSERVATEURS.....	28
3.2.	ÉTUDE DESCRIPTIVE DES RESULTATS PAR CAS.....	29
3.3.	ÉTUDE DESCRIPTIVE DES RESULTATS PAR OBSERVATEUR .....	29
3.4.	OBJECTIF PRINCIPAL.....	30
3.5.	OBJECTIFS SECONDAIRES.....	32
3.5.1.	<i>Études des variations intra-individuelles des résultats.....</i>	<i>32</i>
3.5.2.	<i>Études des variations inter-individuelles des résultats.....</i>	<i>33</i>
3.5.3.	<i>Étude de la durée d'interprétation .....</i>	<i>34</i>
3.5.4.	<i>Étude en fonction du statut professionnel.....</i>	<i>35</i>
3.5.5.	<i>Étude en fonction de la spécialité.....</i>	<i>35</i>
3.5.6.	<i>Étude en fonction de la pratique de la cancérologie .....</i>	<i>37</i>
3.5.7.	<i>Étude de la classification cTN avant et après RCP.....</i>	<i>38</i>
<b>4.</b>	<b>DISCUSSION .....</b>	<b>40</b>
4.1.	FORCES ET LIMITES .....	45
4.2.	IMPLICATIONS CLINIQUES ET PERSPECTIVES.....	46
<b>5.</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>48</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>49</b>
<b>7.</b>	<b>ANNEXES.....</b>	<b>53</b>
<b>8.</b>	<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS.....</b>	<b>60</b>
8.1.	FIGURES.....	60
8.2.	TABLEAUX .....	62

# Introduction

## 1.1. Généralités sur les cancers du larynx

### 1.1.1. *Épidémiologie des cancers du larynx*

Selon un rapport publié en 2019 par Santé publique France, le nombre de nouveaux cas de cancers laryngés en France métropolitaine était estimé à 2753 chez les hommes (soit 87% des sujets atteints) et 407 chez les femmes (soit 13% des sujets atteints) pour l'année 2018. De fait, les cancers laryngés sont classés respectivement à la 14<sup>ème</sup> place chez les hommes et 26<sup>ème</sup> place chez les femmes en termes d'incidence de cancers (1). Parmi ces cas de cancers, 98% des tumeurs malignes du larynx sont des carcinomes épidermoïdes bien différenciés (2).

**Chez les hommes**, l'âge médian au diagnostic est de 64 ans. Le taux d'incidence selon l'âge met en évidence une nette progression à partir de l'âge de 40 ans. Au cours de la période allant de 1990 à 2018, le nombre de nouveaux cas a diminué d'un tiers passant de 4123 à 2753 cas. Cela s'explique par une augmentation démographique (+40%) associée à une réduction du risque de cancer (-73%) (1).

**Chez les femmes**, l'âge médian au diagnostic est de 62 ans. Au cours de la période allant de 1990 à 2018, le nombre de nouveaux cas a augmenté de 42% passant de 286 à 407 cas. Cela s'explique par une augmentation démographique (+19%) et un vieillissement de la population (+23%), sans variation du risque de cancer (1).

Les modifications d'incidence s'expliquent en partie par une modification des pratiques dans ces populations depuis les années 1960 en France. En effet, **chez les hommes** la diminution d'incidence traduit une baisse de la consommation de tabac et d'alcool, notamment grâce aux campagnes de publicité anti-tabac et alcool. **Chez les femmes**, la situation est différente : la consommation d'alcool la tendance à diminuer alors que

la consommation de tabac augmente avec une proportion de fumeuses régulières qui double, passant de 10 à 20% (1).

### 1.1.2. *Facteurs de risque spécifiques*

Parmi les facteurs de risque de développer un cancer laryngé, les plus importants sont la consommation de tabac et d'alcool.

**Le tabac** est composé de plus de 5000 produits chimiques différents dont plusieurs dizaines connus pour jouer un rôle dans la carcinogénèse. Ces substances, libérées lors de la combustion, favorisent les mutations au niveau de l'ADN et l'inflammation locale. **L'alcool** endommage également l'ADN après qu'il soit métabolisé en acétaldéhyde (3). Le risque de cancer du larynx augmente avec la quantité et la fréquence de la consommation d'alcool (risque relatif multiplié par 1,3 pour tous les consommateurs d'alcool et multiplié par 2,5 pour les consommations supérieures à 50 grammes par jour) (4). Lorsque ces intoxications sont combinées le risque individuel de développer un cancer du larynx est multiplié par 177 (5).

L'exposition à certains virus et bactéries est également associée à un risque de développer un cancer du larynx.

**Les infections à HPV** (*Human Papillomavirus*) sont retrouvées dans 20 à 30% des cas de cancers du larynx selon une étude récente. Il existe plus de 130 sérotypes d'HPV classés en sérotypes à haut risque s'ils jouent un rôle dans la carcinogénèse et sérotypes à bas risque dans le cas contraire. Parmi les sérotypes à haut risque, HPV-16 puis HPV-18, HPV-31 et HPV-33 sont ceux les plus fréquemment détectés au niveau laryngé (6). **Les infections à EBV** (*Epstein-Barr Virus*) et **Helicobacter pylori** pourraient jouer un rôle dans la carcinogénèse laryngée, notamment en favorisant l'inflammation locale. Cependant, les résultats sont contradictoires selon les études et de nouvelles recherches sont nécessaires pour établir une relation de cause à effet (5). Enfin, certaines expositions professionnelles (amiante, vapeurs d'acide sulfurique, poussière de ciment) ou opiacés (opium) augmentent le risque de cancer du larynx (1,5).

### 1.1.3. *Bilan initial*

Le bilan initial des tumeurs malignes des voies aéro-digestives supérieures (VADS) est essentiel. Il permet d'affirmer le diagnostic en apportant une preuve histologique, d'apprécier le stade de la maladie et de rechercher une tumeur synchrone. Ce bilan est à la fois **clinique**, **endoscopique** et **radiologique**. L'examen ORL met en évidence une lésion muqueuse, à type de masse ou d'ulcération, ou sous-muqueuse pouvant entraîner un défaut de mobilité des différentes structures anatomiques atteintes. Cependant, l'examen clinique sous-estime l'extension en profondeur et l'atteinte sous-muqueuse de ces tumeurs malignes. Ainsi, le bilan radiologique apporte des informations supplémentaires quant à l'extension de ces dernières et précise le stade de la maladie. L'ensemble de ce bilan permet d'établir la classification TNM 8<sup>ème</sup> édition (Tumor, Node, Metastasis) et proposer au patient le meilleur plan thérapeutique lors de la réunion de concertation pluridisciplinaire (RCP) (7,8).

## 1.2. **La tomодensitométrie conventionnelle**

### 1.2.1. *Principes du bilan tomодensitométrique*

La tomодensitométrie (TDM) est l'examen de référence pour l'étude du larynx. L'acquisition volumique, étendue du cavum à l'orifice cervico-médiastinal, permet une analyse précise des différentes structures anatomiques afin de préciser l'extension locale et régionale (9). Classiquement, un tomодensitomètre multi-barrettes à acquisition spiralée est utilisé. Ces machines permettent d'obtenir simultanément 4 à 16 coupes très fines (environ 1 mm) en quelques secondes, ce qui améliore de fait la résolution spatiale et temporelle. Cette acquisition à plusieurs avantages (8,10,11) :

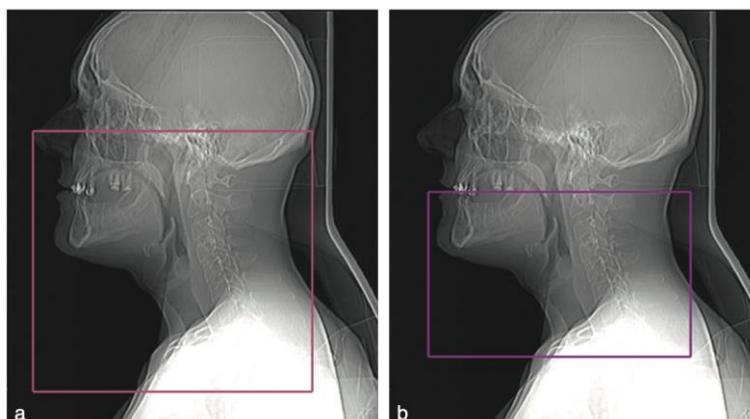
- La rapidité d'acquisition inférieure à 10 secondes,
- La réduction des artéfacts liés à la déglutition,
- La possibilité de réaliser des manœuvres dynamiques,
- La possibilité de réaliser des reconstructions multi-planaires,
- L'optimisation d'injection du produit de contraste.

### 1.2.2. Modalités pratiques du bilan tomodensitométrique en cancérologie du larynx

Concernant l'étude laryngée en cancérologie, l'examen peut se diviser en trois temps. Tout d'abord, **une première spirale est réalisée, étendue du cavum à l'orifice cervico-médiastinal, en respiration indifférente** (figure 1.a). Durant cette acquisition, le patient est allongé, les bras le long du corps. La respiration doit être calme, sans apnée (responsable d'une fermeture de la glotte) et sans déglutition (responsable d'artéfacts de mouvements). Lors de cette première acquisition, le produit de contraste est injecté de manière biphasique. Cette technique permet d'avoir à la fois une bonne imprégnation tumorale et une bonne opacification vasculaire.

Ensuite, **une deuxième spirale est réalisée en manœuvre dynamique de phonation ou de Valsalva**, centrée sur le larynx et l'hypopharynx (figure 1.b). Durant cette acquisition, le patient reste dans la même position et une nouvelle injection biphasique de produit de contraste est réalisée.

Pour finir, **une troisième spirale est réalisée, au niveau thoracique, sans injection de produit de contraste**. Durant cette acquisition, le patient relève les bras au-dessus de la tête et prend une grande inspiration (11). Il est recommandé de rechercher une localisation thoracique secondaire ou primitive synchrone lors du bilan initial des cancers des VADS, selon les recommandations de la Société Française d'Oto-Rhino-Laryngologie (7).



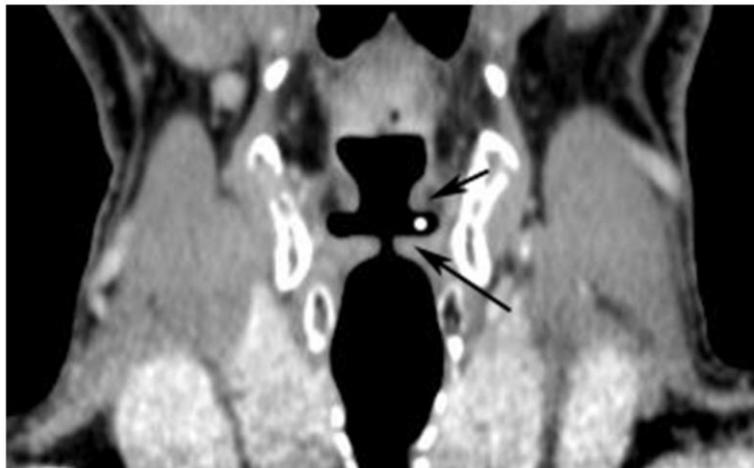
**Figure 1: Champs d'étude en cancérologie du larynx. (a)** Lors de la première spirale, étendu du cavum à l'orifice médiastinal. **(b)** Lors de la deuxième spirale, centrée le larynx et l'hypopharynx pour réaliser les manœuvres dynamiques. Photographies issues de Frédérique Dubrulle et al. (11)

### 1.2.3. Intérêt des manœuvres dynamiques

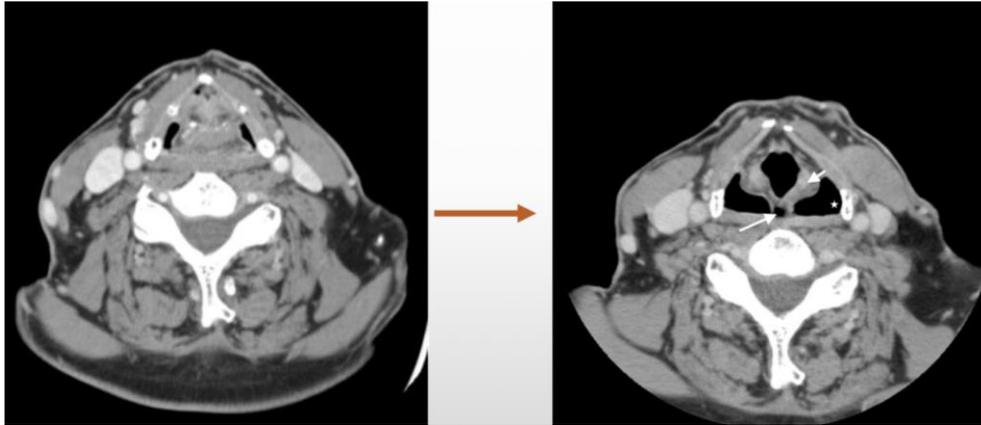
Les manœuvres dynamiques sont réalisées au cours de la deuxième spirale. Elles permettent une meilleure étude des lésions difficilement évaluables du fait d'une apposition des muqueuses au niveau des VADS. Nous pouvons distinguer :

- **La manœuvre en phonation** : Elle permet une meilleure évaluation des tumeurs au niveau laryngé (figure 2).
- **La manœuvre de Valsalva modifiée** : Décrite pour la première fois par Jönsson en 1934 (12), elle permet une meilleure évaluation des tumeurs au niveau hypopharyngé (figure 3).

La réalisation systématique de manœuvres dynamiques au cours du bilan des tumeurs malignes des VADS entraîne une reclassification du stade T dans 11% des cas (13).



**Figure 2 : Manoeuvre de phonation sur larynx normal en coupe coronale.** Cette manœuvre permet une ouverture des ventricules laryngés (rond blanc), facilitant l'analyse des trois étages laryngés : sus-glottique (flèche courte), glottique (flèche longue) et sous-glottique. Photographie issue de Frédérique Dubrulle et al. (11)

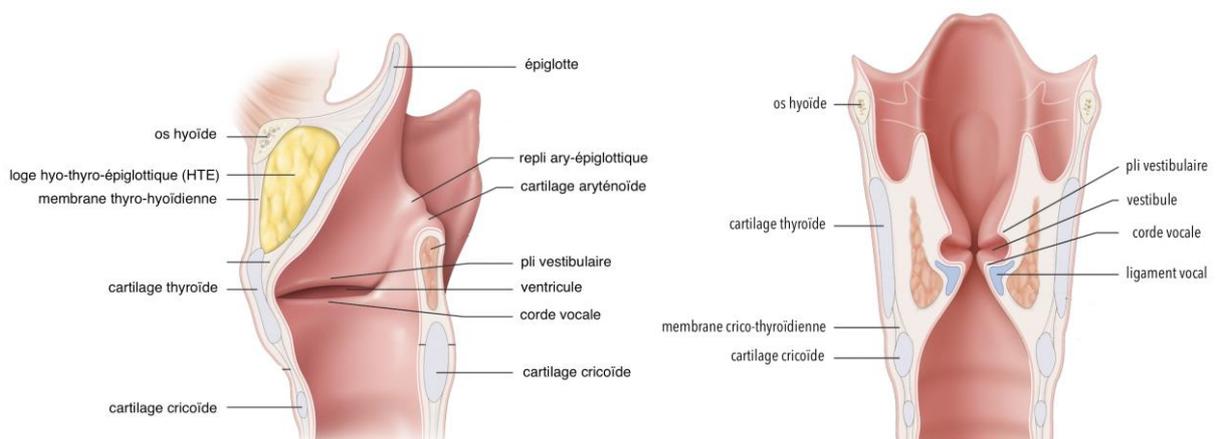


**Figure 3 : Manoeuvre de Valsalva sur larynx normal en coupe axiale.** Cette manoeuvre permet une fermeture de la glotte, une distension de l'hypopharynx, une bonne visualisation des replis ary-épiglottiques (flèche courte) et l'ouverture des sinus piriformes (étoile). La distension aérienne peut s'étendre jusqu'en région rétro-cricoaryténoïdienne (flèche longue). Photographie adaptée, issue de [lamediatheque.radiologie.fr](http://lamediatheque.radiologie.fr), web-poster présenté aux Journées Francophones de Radiologie en 2018 par le docteur Ahmed Mlouka.

### 1.3. Modes d'extension des cancers laryngés

#### 1.3.1. Généralités anatomiques sur le larynx

Le larynx est un organe cartilagineux médian de la région cervicale antérieure. Il est situé entre l'os hyoïde en haut et la trachée en bas. Le larynx peut être divisé en trois régions : la sus-glotte, la glotte et la sous-glotte (figure 4) (9).



**Figure 4. Schéma anatomique du larynx.** (a) Coupe sagittale du larynx montrant ses reliefs internes. (b) Coupe coronale du larynx montrant ses reliefs internes. Ces coupes permettent de visualiser les trois étages laryngés : la sus-glotte, la glotte et la sous-glotte. Images adaptées de l'EMC, Anatomie descriptive, endoscopique et radiologique du larynx (9).

### 1.3.1.1. *Les zones de résistance à l'extension des cancers laryngés*

Au sein du larynx, plusieurs régions anatomiques sont des zones de résistance limitant l'extension endo- et extra-laryngée des cancers (9,19) :

- **Le cône élastique**, ensemble ligamentaire tendu de la partie supéro-postérieure du cricoïde à la partie interne du cartilage thyroïde, limite l'extension intra-laryngée notamment via le ligament thyro-aryténoïdien supérieur (charpente de la bande ventriculaire) et le ligament thyro-aryténoïdien inférieur (charpente de la corde vocale).
- **Les cartilages thyroïde et cricoïde** limitent l'extension extra-laryngée, cependant une métaplasie associée à une hypervascularisation apparaissent avec l'âge à l'origine d'une perte de solidité.
- **La membrane hyo-épiglottique** limite l'extension au sein de la loge hyo-thyro-épiglottique (HTE)

### 1.3.1.2. *Les zones de faiblesse à l'extension des cancers laryngés*

Au sein du larynx, plusieurs régions anatomiques sont des zones de faiblesse favorisant l'extension endo- et extra-laryngée des cancers (9,14) :

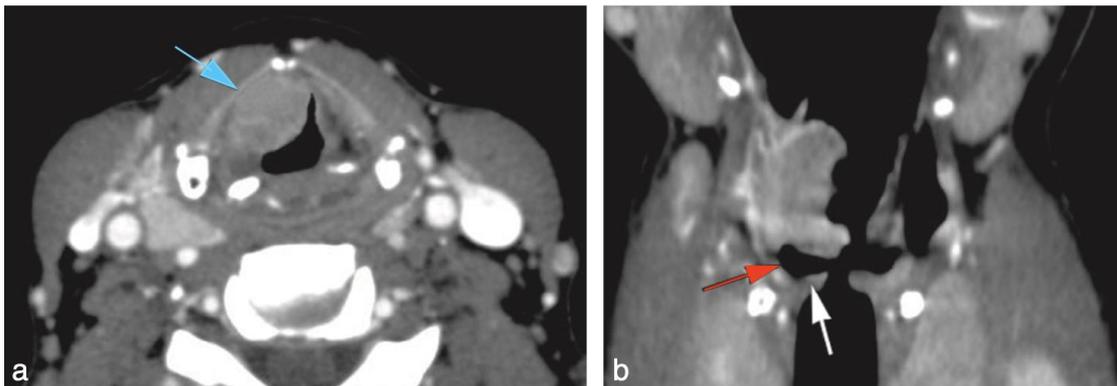
- **L'épiglotte**, dont les orifices cribriformes favorisent l'extension vers la loge HTE car plus richement vascularisés.
- **La commissure antérieure** est une zone de fragilité pour plusieurs raisons : le cône élastique présente une déhiscence à ce niveau, le cartilage thyroïde ne présente pas de périchondre interne en regard et la pénétration du ligament thyro-épiglottique peut créer un point de propagation du cancer.
- **Le ventricule laryngé** dont le saccule laryngé favorise l'extension vers le vestibule laryngé.
- **La membrane crico-thyroïdienne** qui en étant perforée par des éléments vasculaires et nerveux favorise l'extension extra-laryngée.

### 1.3.2. *Cancers de l'étage sus-glottique*

L'étage sus-glottique, ou vestibule laryngé, se compose de l'épiglotte, des bandes ventriculaires, des ventricules laryngés, des replis ary-épiglottiques et des aryténoïdes (9). Il est important de préciser l'extension des tumeurs de ces régions (9,11) :

- **Vers le bas, au niveau de l'étage glottique.** Pour différencier ces deux espaces, l'acquisition en phonation est primordiale car elle permet d'ouvrir les ventricules laryngés (figure 5). En cas de projet chirurgical, l'évaluation de l'extension vers la sous-glote est fondamentale pour distinguer les indications de chirurgie conservatrice des indications de chirurgie totale (14).
- **Vers le haut, au niveau des vallécules et de la base de langue.** En cas d'extension en base de langue, il est nécessaire de mesurer la profondeur de cette dernière afin d'évaluer la possibilité d'une résection chirurgicale.
- **Vers la profondeur, au niveau de la loge HTE.** L'extension à la loge HTE se fait à partir des orifices cribiformes de l'épiglotte et classe d'emblée la tumeur cT3. A noter que cette évaluation n'est possible qu'en imagerie puisque cette zone n'est pas visible en endoscopie.
- **L'extension cartilagineuse.** Elle s'étudie volontiers à l'aide des images monochromatiques virtuelles à haute énergie en tomographie spectrale ou en IRM. L'érosion du cartilage traduit le début de l'envahissement tumoral et classe la tumeur cT3. La lyse du cartilage traduit l'envahissement massif et classe d'emblée la tumeur cT4a.

L'ensemble de cette analyse permet d'apprécier le stade TNM de la tumeur, base de la discussion thérapeutique. Cette classification, mise à jour en 2017 par l'UICC (Union for International Cancer Control), prend en compte l'extension locale de la tumeur (T), l'extension régionale au niveau ganglionnaire cervical (N) et l'extension à distance (M) (Annexe 1) (15).



**Figure 5. Exemple de tumeur sus-glottique droite située au niveau de la bande ventriculaire. (a)** Scanner injecté en coupe axiale montrant l'extension en profondeur à l'espace para-laryngé (flèche bleue). **(b)** Scanner injecté en coupe coronale avec manœuvre de phonation montrant l'absence d'extension de la tumeur à la glotte (flèche blanche). La manœuvre de phonation permet une ouverture du ventricule laryngé (flèche rouge). Images adaptées de Frédérique Dubrulle et al. (11)

### 1.3.3. *Cancers de l'étage glottique*

L'étage glottique se compose des cordes vocales et des commissures antérieure et postérieure. Concernant ces tumeurs, il est important de préciser l'extension (9,11) :

- **Vers la commissure antérieure** (figure 6). L'extension à ce niveau se traduit par un épaissement tissulaire au contact du cartilage thyroïde. L'atteinte de la commissure antérieure favorise l'extension des tumeurs au niveau de l'autre corde vocale, du pied de l'épiglotte et de la loge HTE.
- **Vers la profondeur, au sein du muscle vocal et de la graisse para-glottique** (figure 6). L'extension se traduit par une perte de l'espace graisseux para-glottique volontiers associée à une condensation du cartilage thyroïde en regard. L'atteinte para-glottique classe d'emblée la tumeur cT3.
- **Vers la profondeur, au niveau de la loge HTE.** L'atteinte de la loge HTE classe d'emblée la tumeur cT3.
- **Vers le haut, au niveau de la sus-glotte** (figure 7). L'extension sus-glottique s'étudie volontiers sur des reconstructions coronales en phonation.
- **Vers le bas, au niveau de la sous-glotte.** L'extension se traduit par un épaissement tissulaire en regard du cartilage cricoïde qui est volontiers

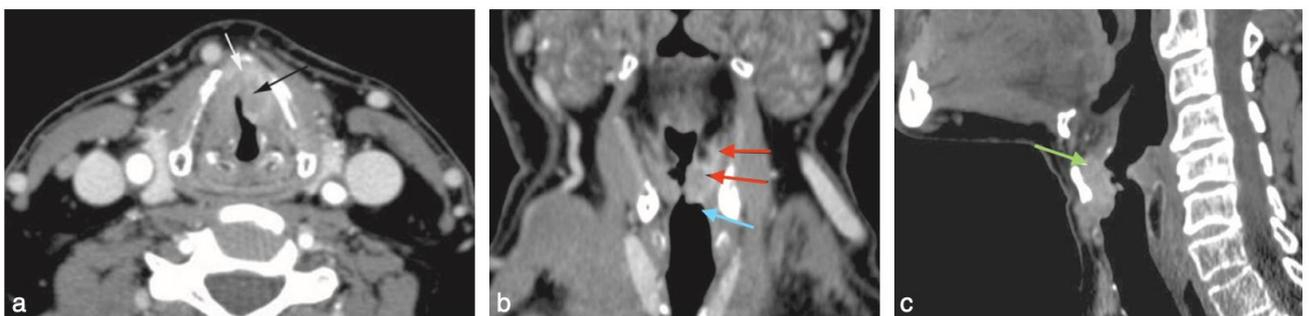
condensé. Il est important de chiffrer précisément cette extension car si elle dépasse 5 mm, cela contre-indique la réalisation d'une chirurgie partielle.

- **Vers l'avant, au niveau pré-laryngé antérieur** (figure 8). L'atteinte pré-laryngée antérieure classe d'emblée la tumeur cT4.
- **L'extension cartilagineuse.** L'érosion du cartilage traduit le début de l'envahissement tumoral et classe la tumeur cT3 (figure 9). La lyse du cartilage traduit l'envahissement massif et classe d'emblée la tumeur cT4a (figure 8).

L'ensemble de cette analyse permet d'apprécier le stade TNM de la tumeur, base de la discussion thérapeutique (Annexe 2) (15).



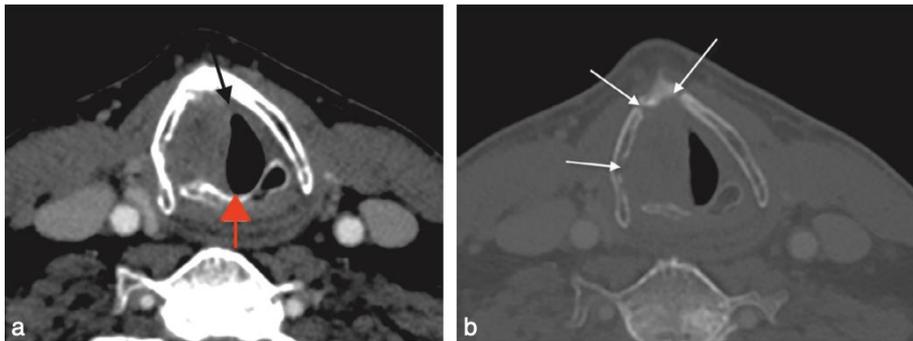
**Figure 6. Exemple de tumeur de la corde vocale droite.** Scanner injecté en coupe axiale montrant une tumeur de toute la corde vocale (flèche blanche) avec envahissement de la commissure antérieure (flèche rouge) et de l'espace para-glottique (flèches noires), traduit par une disparition de la graisse à ce niveau. Cette extension classe d'emblée la tumeur cT3. Image adaptée de Frédérique Dubrulle et al. (11)



**Figure 7. Exemple de tumeur glotto-susglottique gauche.** (a) Scanner injecté en coupe axiale montrant une tumeur de la corde vocale gauche (flèche noire) avec extension à la commissure antérieure (flèche blanche). (b) Scanner injecté en phonation en coupe coronale montrant l'extension sus-glottique au sein du ventricule laryngé (flèches rouges) sans extension sous-glottique (flèche bleue). (c) Scanner injecté en coupe sagittale montrant une extension débutante à la loge HTE (flèche verte). Cette extension classe la tumeur cT3. Image adaptée de Frédérique Dubrulle et al. (11)



**Figure 8. Exemple de tumeur glottique avec extension pré-laryngée antérieure.** Scanner injecté en coupe axiale montrant une lyse du cartilage thyroïde (étoiles) avec extension pré-laryngée antérieure (flèche). Cette extension classe la tumeur cT4. Image adaptée de Frédérique Dubrulle et al. (11)



**Figure 9. Exemple de tumeur glottique droite avec érosion du cartilage thyroïde.** Scanner injecté en coupe axiale avec étude en fenêtre cartilagineuse montrant une extension à la commissure antérieure (flèche noire), à la commissure postérieure (flèche rouge) et des érosions du cartilages thyroïde (flèches blanches). L'étude cartilagineuse se fait volontiers en fenêtre cartilagineuse. Cette extension classe la tumeur cT3. Image adaptée de Frédérique Dubrulle et al. (11)

#### 1.3.4. *Cancers de l'étage sous-glottique*

L'étage sous-glottique est étendu de la face inférieure des cordes vocales au bord inférieur du cartilage cricoïde (9). Les tumeurs primitives de la sous-glotte sont rares. Le plus souvent, il s'agit de tumeurs sus-jacentes qui s'étendent au niveau sous-glottique. Il est important de préciser **l'extension significative au niveau trachéal** car son atteinte contre-indique la réalisation d'une laryngectomie totale (14). L'ensemble de cette analyse permet d'apprécier le stade TNM de la tumeur, base de la discussion thérapeutique (Annexe 3) (15)

## **1.4. Modalités thérapeutiques des cancers laryngés**

Les évaluations clinique, endoscopique et radiologique sont primordiales afin de proposer le traitement le plus adapté au patient. En effet, elles permettent de préciser le siège de la tumeur, ses extensions et de s'assurer de la bonne mobilité du larynx. Ce dernier point est capitale puisqu'une diminution de mobilité de la corde vocale et de l'aryténoïde traduit une atteinte en profondeur contre-indiquant, de fait, la réalisation d'un traitement conservateur (14,16).

### *1.4.1. La radiothérapie en boîte laryngée*

La radiothérapie est indiquée dans le cadre du traitement des tumeurs glottiques classées cT1. La radiothérapie conformationnelle 3D en champ étroit permet une irradiation sélective du larynx de 60 à 66 Grays en 30 fractions sur 6 semaines (17).

### *1.4.2. La chirurgie par voie endoscopique*

La chirurgie par voie endoscopique est le deuxième traitement de référence des tumeurs glottiques classées cT1. L'exposition du larynx reste le facteur limitant principal (14). Cette technique consiste en l'exérèse de tout ou d'une partie d'une ou des deux cordes vocales selon l'extension tumorale. Les études montrent que ces deux modalités thérapeutiques sont superposables en termes de survie et contrôle local (18,19). Néanmoins, en cas d'atteinte tumorale superficielle de la commissure antérieure, la radiothérapie est souvent préférée car la chirurgie expose à un risque de synéchie pouvant dégrader la fonction vocale (20).

### *1.4.3. La chirurgie partielle par voie externe*

La chirurgie partielle permet à une résection tumorale complète tout en conservant les fonctions respiratoire, phonatoire et alimentaire du larynx. Cela nécessite une conservation du cartilage cricoïde et d'une corne inférieure thyroïdienne (afin de

préserver le nerf laryngé inférieur) ainsi qu'une unité aryénoïdienne fonctionnelle (16). Il existe plusieurs techniques selon les structures anatomiques atteintes. Cependant, elles sont de moins en moins réalisées au profit des techniques précédemment décrites (14,16).

#### *1.4.4. Le protocole de préservation laryngée avec chimiothérapie d'induction*

Il est indiqué dans les tumeurs laryngées classées cT3 par immobilité ou hypomobilité laryngée. Le patient reçoit deux cures de TPF (Docetaxel + cisplatine + 5-fluorouracile) (14) puis un nouveau bilan d'extension loco-régional par endoscopie et imagerie est réalisé :

- **En cas de régression tumorale  $\geq 50\%$  avec remobilisation laryngée**, le patient reçoit une troisième cure de TPF suivie d'une radiothérapie.
- **En cas de régression tumorale  $< 50\%$  ou progression**, le patient est éligible à une laryngectomie totale.

#### *1.4.5. La chirurgie non conservatrice : la laryngectomie totale*

Elle est indiquée en cas de contre-indication à une chirurgie partielle ou au protocole de préservation ou en cas d'échec de ce dernier. Cette technique permet l'exérèse des trois étages laryngés tout en conservant une filière pharyngée correcte. Selon l'extension tumorale, la laryngectomie totale peut être étendue à l'hypopharynx (pharyngo-laryngectomie totale), à la bouche œsophagienne (pharyngo-laryngectomie totale circulaire), à la base de langue (sub-glosso-laryngectomie totale) ou à la peau (laryngectomie totale dite « au carré »). Le geste est complété par un évidement ganglionnaire bilatéral des aires II, III, IV et VI. Cette technique nécessite une réhabilitation phonatoire dans les suites (14,16).

#### 1.4.6. *Traitement des tumeurs non résécables*

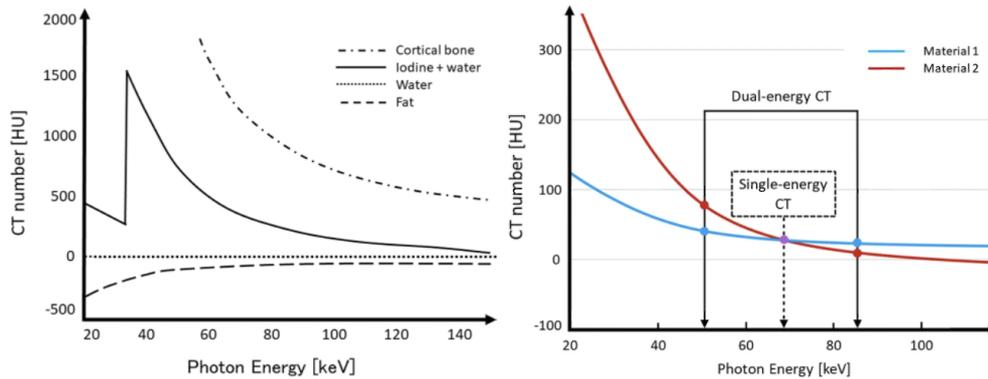
Pour les tumeurs inopérables ou non résécables, des traitements médicaux par radiothérapie et/ou chimiothérapie ou chimiothérapie palliative peuvent être proposés au patient après discussion en RCP.

### 1.5. **La tomодensitométrie spectrale**

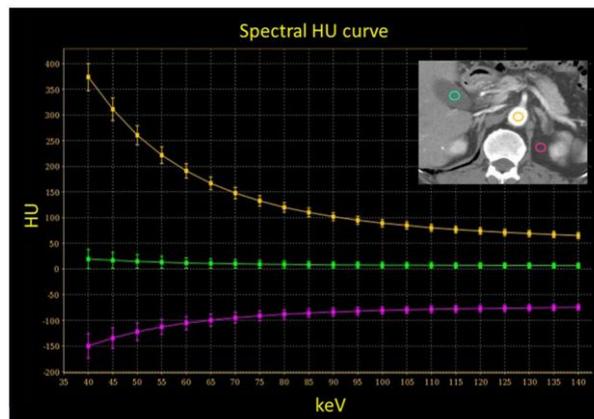
Depuis plusieurs années, une nouvelle technologie se développe en radiologie, et notamment en imagerie tête et cou : la tomодensitométrie spectrale ou à double énergie.

#### 1.5.1. *Principes de la tomодensitométrie spectrale*

La tomодensitométrie est une technique d'imagerie qui consiste à mesurer l'absorption des rayons X par les tissus du patient. Les rayons X sont générés par un tube à rayons X et composés de photons d'énergies différentes. Il est habituel qu'un matériau possède un coefficient d'atténuation différent en fonction du niveau d'énergie. Au cours d'un scanner conventionnel, il est difficile de faire la distinction entre deux matériaux, comme le calcium et l'iode, car **leurs coefficients d'atténuation se chevauchent** (figure 10.a). Ainsi, l'analyse de la composition des tissus est limitée. La tomодensitométrie spectrale, ou à double énergie (DECT), repose sur l'analyse du faisceau de rayons X en plusieurs niveaux d'énergies (basse et haute énergie). Les matériaux composés de différents éléments peuvent être différenciés et quantifiés **en comparant leur coefficient d'atténuation aux deux niveaux d'énergies** (figure 10.b) (21–25). Par exemple, à basse énergie, le coefficient d'atténuation des matériaux comme les tissus mous, l'iode ou l'os a tendance à augmenter alors que celui de la graisse a tendance à baisser (figure 11) (21).



**Figure 10 : Principes du scanner à double énergie.** (a) Variations des coefficients d'atténuation de différents matériaux (os, iode, eau et graisse) en fonction du niveau d'énergie en Kiloélectronvolt (KeV). (b) Avec la TDM conventionnelle à 65 KeV, la distinction entre deux matériaux est compliquée car les coefficients d'atténuation se chevauchent. Avec le DECT, les matériaux peuvent être différenciés et quantifiés en comparant leur coefficient d'atténuation aux deux niveaux d'énergies. Figures issues de Fuminari Tatsugami et al. (21)



**Figure 11. Variation du coefficient d'atténuation de matériaux (iode, eau, graisse) en fonction du niveau d'énergie en Kiloélectronvolt.** L'atténuation des matériaux avec un numéro atomique élevé comme l'iode (en jaune) augmente à basse énergie, celle de l'eau (en vert) est nulle quel que soit le niveau d'énergie et celle de la graisse (en rose) diminue à basse énergie. Figure issue de Fuminari Tatsugami et al. (21)

### 1.5.2. Méthodes d'acquisition des séquences spectrales

Actuellement en France, il existe plusieurs méthodes d'acquisition des séquences spectrales, variables selon le type de machine (24,25) :

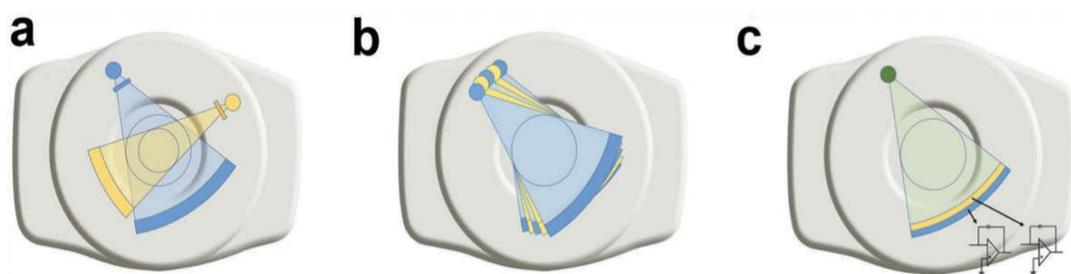
- **Le scanner double énergie avec double source et double système de détecteurs** commercialisé par Siemens AG® (figure 12.a). L'étude se fait dans

un plan orthogonal ce qui permet un balayage simultané d'une même zone anatomique à basse et haute énergie.

- **Le scanner double énergie à source unique avec commutation rapide de KiloVolt** commercialisé par GE Healthcare® (figure 12.b). Le tube de rayons X bascule en 0,25 ms d'une énergie à l'autre au cours d'acquisitions successives.
- **Le scanner double énergie avec une source et une double couche de détecteurs** commercialisé par Philips Healthcare® (figure 12.c). Le faisceau de rayons X est généré à une seule énergie, puis la séparation spectrale se fait au niveau des détecteurs. Une des deux couches à une sensibilité maximale pour les basses énergies et l'autre pour les hautes énergies.

Pour que l'analyse soit de qualité, la tomodensitométrie spectrale doit respecter deux principes fondamentaux (21,25) :

- Les séquences à basses et hautes énergies doivent être acquises simultanément ou avec un intervalle de temps réduit pour ne pas entraîner d'inadéquation spatiale, en lien avec les mouvements du patient.
- La différence d'énergie entre les acquisitions doit être importante pour mettre en évidence des différences de coefficient d'atténuation.



**Figure 12. Différentes méthodes d'acquisition des séquences spectrales en France.** (a) Scanner avec double source et double système de détecteurs correspondants. (b) Scanner à source unique avec commutation rapide de KeV. (c) Scanner avec une source et une double couche de détecteurs. Illustration adaptée de Reza Forghani et al. (25)

### 1.5.3. *Les différentes reconstructions possibles*

Les différentes reconstructions réalisées permettent une analyse qualitative et quantitative des différents matériaux.

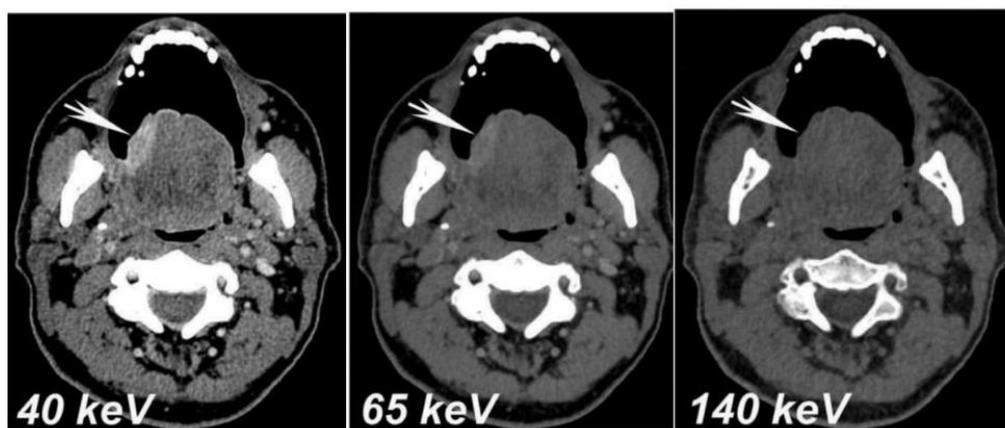
#### 1.5.3.1. *Les images monochromatiques virtuelles*

**Les images monochromatiques virtuelles à faible énergie** sont réalisées à 40 KeV (figure 13). Elles permettent une meilleure visualisation des atomes d'iode et donc une amélioration du contraste. Sur le plan analytique, cela permet d'améliorer la visibilité des tumeurs et de ses contours ainsi qu'une meilleure évaluation ganglionnaire en majorant le contraste des tissus mous. Cependant, cela se fait au détriment d'une augmentation du bruit à l'origine d'un aspect granuleux des images, notamment au niveau des zones sensibles aux artéfacts de mouvements (bas du cou, orifice cervico-médiastinal) (21–25). Sur le plan pratique, cela permet de diminuer la quantité de produit de contraste iodé injectée de 40 à 60% (21).

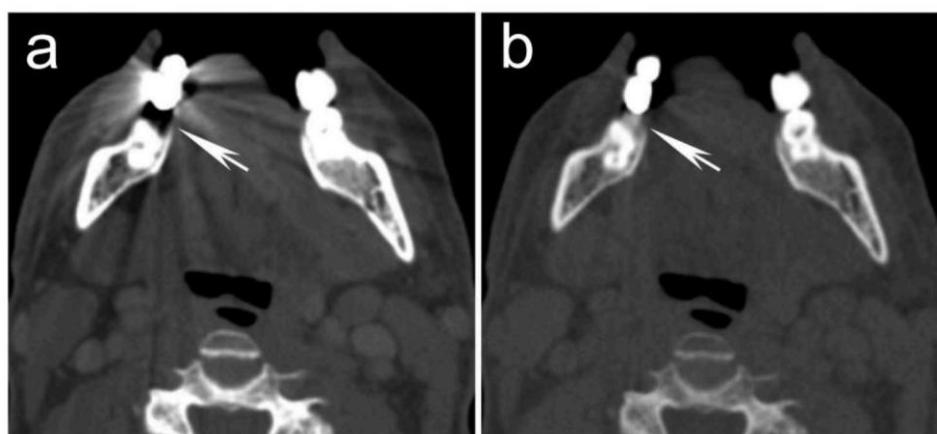
**Les images monochromatiques virtuelles à énergie intermédiaire** sont réalisées à 65 ou 70 KeV (figure 13). Elles correspondent aux images générées lors des tomodensitométries conventionnelles (24,25).

**Les images monochromatiques virtuelles à haute énergie** sont réalisées à 140 KeV (figure 13). Sur ces images, le rehaussement disparaît comme si l'étude était obtenue sans contraste. Sur le plan analytique, cela permet une analyse fine des cartilages non ossifiés ainsi qu'une diminution des artéfacts métalliques (en lien avec des amalgames dentaires ou des clips chirurgicaux) (figure 14). En effet, le cartilage thyroïde s'ossifie de manière variable et imprévisible. Les parties ossifiées ont une densité plus élevée que la tumeur alors que les parties non ossifiées ont une densité très proche sur les scanners conventionnels. L'étude à haute énergie permet de préciser l'atteinte cartilagineuse (figure 15), essentielle pour établir la classification cTNM de la tumeur (21–25).

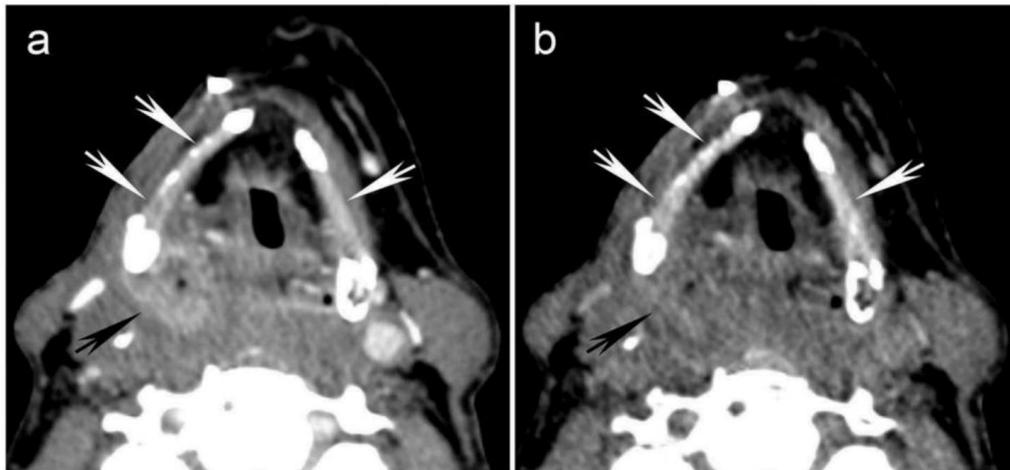
Sur ces différentes images, les variations des coefficients d'atténuation en fonction de l'énergie peuvent être évaluées quantitativement, en mesurant l'atténuation en unité Hounsfield au niveau de zones d'intérêt (ROI). Ces caractéristiques peuvent varier entre les tissus, notamment les tissus sains et tumoraux (figure 16). Ainsi, ces informations peuvent être exploitées pour améliorer l'évaluation diagnostique (21,25).



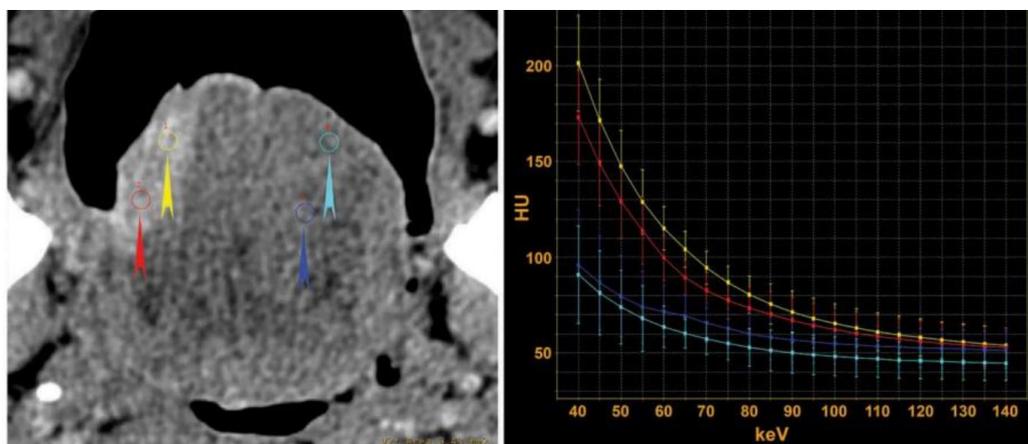
**Figure 13. Exemple d'images monochromatiques virtuelles reconstruites à partir d'une tomographie spectrale dans le cadre d'un carcinome épidermoïde de la langue mobile droite. (a) Image à basse énergie (40 KeV) permettant une meilleure visibilité de la tumeur et de ses contours au prix d'une augmentation du bruit (aspect granuleux). (b) Image à énergie intermédiaire (65 KeV), superposable à une image générée lors d'une tomographie conventionnelle. (c) Image à haute énergie (140 KeV) sur laquelle le rehaussement disparaît comme si l'étude était obtenue sans contraste. Images adaptées de Reza Forghani et al. (25)**



**Figure 14. Exemple d'images monochromatiques virtuelles reconstruites à partir d'une tomographie spectrale mettant en évidence une réduction des artefacts dentaires. (a) Image à énergie intermédiaire (65 KeV) sur laquelle l'étude mandibulaire est compliquée du fait de l'artefact dentaire (flèche blanche). (b) Image à haute énergie (140 KeV) sur laquelle l'étude mandibulaire est améliorée par réduction de l'artefact dentaire (flèche blanche). Images issues de Reza Forghani et al. (25)**



**Figure 15. Exemple d'images monochromatiques virtuelles reconstruites à partir d'une tomодensitométrie spectrale dans le cadre d'un carcinome épidermoïde hypopharyngé droit. (a) Image à énergie intermédiaire (65 KeV) met en évidence la tumeur (flèche noire) au contact de la partie postérieure du cartilage thyroïde droit. La tumeur a une densité similaire aux zones non ossifiées du cartilage (flèches blanches). (b) Image à haute énergie (140 KeV) sur laquelle la tumeur est peu visible car le rehaussement disparaît (flèche noire). Les parties ossifiées du cartilage thyroïde ont une densité plus élevée que la tumeur (flèches blanches), ce qui permet de conclure à la non-invasion du cartilage par la tumeur. Images issues de Reza Forghani et al. (25)**



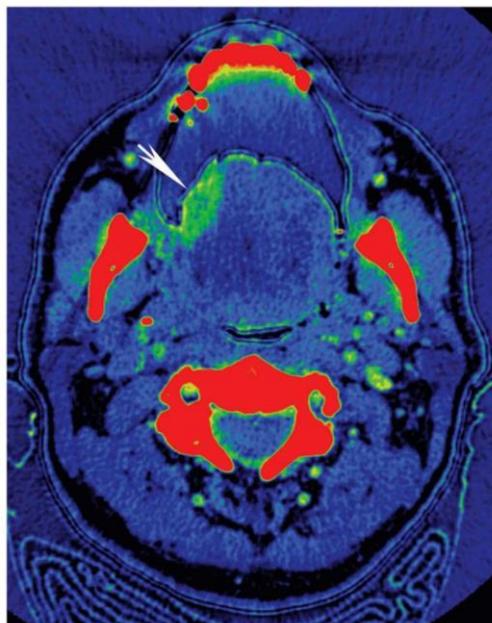
**Figure 16. Exemple d'étude des coefficients d'atténuation en unité Hounsfield au niveau de zones d'intérêt (ROI) dans le cadre d'un carcinome épidermoïde de la langue mobile droite sur une image monochromatique virtuelle à basse énergie (40 KeV). Les flèches rouge et jaune mesurent l'atténuation au sein de la tumeur tandis que les flèches bleues mesurent l'atténuation au sein du tissu sain controlatéral. Cette étude met en évidence des différences de densité entre tumeur et tissu sain à basse énergie, visibles sur les courbes d'atténuation en unité Hounsfield. Images issues de Reza Forghani et al. (25)**

### 1.5.3.2. Les cartographies

En fonction d'un matériau d'intérêt, il est possible de produire une carte qui reflète la distribution spatiale et la concentration de ce matériau. Cependant, il peut y avoir des chevauchements de coefficients d'atténuation des différents matériaux d'où la nécessité de rester critique (25).

**La cartographie de l'iode** est générée en soustrayant l'eau des images à double énergie (figure 17). Sur le plan analytique, cela permet une meilleure évaluation de la perfusion des lésions, de l'invasion du cartilage thyroïde et améliore la distinction entre récurrence tumorale et remaniements post-thérapeutiques (21–25). Sur ces images, les tissus, les os et cartilages calcifiés auront un signal élevé et ne doivent pas être interprétés à tort comme des matériaux riches en iode (25).

**La cartographie virtuelle sans contraste** permet d'obtenir une image non injectée à partir d'une séquence injectée par suppression de la cartographie de l'iode (21,25).



**Figure 17. Exemple de cartographie de l'iode dans le cadre d'un carcinome épidermoïde de la langue mobile droite.** La flèche blanche indique la tumeur. Cette reconstruction permet une meilleure visibilité de la tumeur car cette dernière est hypervascularisée, ce qui se traduit par une augmentation de la quantité d'iode en son sein. Les tissus, os et cartilages calcifiés auront un signal élevé et ne doivent pas être interprétés à tort comme des matériaux riches en iode. Image issue de Reza Forghani et al. (25)

## 1.6. But de l'étude

Les possibilités thérapeutiques sont donc nombreuses dans la prise en charge des cancers pharyngolaryngés. Les protocoles de soins proposés aux patients lors de la RCP sont décidés en se basant sur l'état général, les comorbidités du patient mais aussi et surtout sur le bilan d'extension loco-régional de la pathologie. Ce bilan repose sur l'évaluation endoscopique et scanographique. Cette dernière est un élément clé pour définir une classification cTNM fiable. Les extensions locales dans les différents sites de cet organe complexe doivent être très précisément évaluées pour proposer le traitement le plus adapté possible. Celui-ci aura pour vocation la guérison des patients mais également la préservation des fonctions fondamentales du pharyngo-larynx.

Comme nous avons pu voir précédemment, la littérature s'accorde pour dire que le scanner à double énergie présente un intérêt majeur dans l'évaluation diagnostique et topographique des cancers ORL (21–25). Dans les cancers laryngés, des études récentes montrent un intérêt du scanner à double énergie pour les cancers débutants (26) et l'évaluation de l'extension tumorale, notamment au niveau cartilagineux (27,28). Le scanner à double énergie apparaît donc comme un atout majeur dans le bilan paraclinique des cancers laryngés. Cependant, il s'agit d'une technique récente d'imagerie qui n'est pas disponible dans tous les centres hospitaliers. Au CHU de Lille, cette technologie est disponible depuis 2021. Les radiologues spécialisés en ORL sont donc familiers avec cette nouvelle technique d'imagerie. Toutefois, pour les radiologues non spécialisés et autres professionnels de santé impliqués dans la prise en charge de ces patients, cette nouveauté peut sembler difficile d'interprétation.

Lors de la prise en charge initiale du patient, il n'est pas rare que l'oto-rhino-laryngologiste (ORL) soit amené à lire les images scanographiques, notamment avant la réalisation d'une laryngoscopie directe. Dans ce contexte, il est licite de se demander si le scanner à double énergie facilite l'évaluation de l'extension loco-régionale des cancers des VADS, et notamment des cancers laryngés.

Ainsi, notre **objectif principal** est de comparer l'interprétation scanographique avec séquences spectrales par rapport à l'interprétation scanographique conventionnelle seule dans l'évaluation de l'extension loco-régionale des carcinomes épidermoïdes

pharyngolaryngés. Pour ce faire, nous avons réalisé ce travail du point de vue des spécialistes ORL impliqués dans la prise en charge de ces cancers.

Les **objectifs secondaires** de cette étude sont :

- D'étudier les variations intra-individuelles et inter-individuelles des résultats obtenus.
- De comparer la durée d'interprétation de l'analyse scanographique conventionnelle par rapport à celle avec séquences spectrales.
- De comparer les résultats des différentes analyses en fonction du statut professionnel, de la sur-spécialité et la pratique ou non de la cancérologie dans la pratique quotidienne.
- De déterminer si le scanner à double énergie, relu au cours de la RCP, permet un ajustement de la classification cTN établie par l'ORL lors de l'endoscopie.

## **2. Matériels et méthodes**

### **2.1. Description de l'étude**

Cette étude a pour but d'étudier l'apport des séquences scanographiques spectrales dans l'analyse de l'extension des carcinomes épidermoïdes du larynx pour les ORL. Chacun des 16 ORL participant a étudié les scanners de dix patients présentant un carcinome épidermoïde laryngé, afin d'évaluer l'extension loco-régionale. Cette étude était divisée en deux temps :

- Dans un premier temps, la lecture des scanners conventionnels pour chacun des dix patients.
- Dans un second temps, la lecture des scanners conventionnels avec séquences spectrales à basse énergie pour chacun des dix mêmes patients.

Chaque lecture s'accompagnait du remplissage d'un questionnaire dédié ayant pour but d'analyser l'extension locale, cartilagineuse et ganglionnaire du cancer laryngé.

### **2.2. Sélection des cas inclus dans l'étude**

Chacun des dix cas sélectionnés présentait un carcinome épidermoïde à point de départ laryngé, quel que soit le stade cTN, authentifié par analyse histologique. Les patients inclus étaient issus de la base de données WebDCR<sup>®</sup>, qui regroupe l'ensemble des patients présentés en Réunion de Concertation Pluridisciplinaire (RCP) des VADS du CHU de Lille, entre 2022 et 2023. A noter que tous les patients inclus dans cette étude ont signé un consentement sur la conservation et l'utilisation des données médicales, d'imageries et des prélèvements biologiques. Chacun des dix patients devait bénéficier d'un bilan d'imagerie scanographique avec séquences spectrales réalisé au CHU de Lille (Scanner IQON Philips, mise en service en 2020) et interprété soit lors de l'examen soit lors de la RCP par le Docteur Frédérique Dubrulle, radiologue spécialisée en ORL au CHU de Lille. Étaient exclus de l'étude, tout patient présentant un antécédent de cancer des VADS, un cancer synchrone au niveau des VADS, un antécédent de chirurgie laryngée ou ayant eu un traitement

néoadjuvant. La description des patients inclus dans cette étude est résumée dans le Tableau 1. Un tableau détaillé des patients inclus est présenté en Annexe 4.

**Tableau 1** : Caractéristiques des cas inclus dans l'étude.

Caractéristiques de la population	Nombre N = 10	Pourcentage
Sexe		
Homme	9	90%
Femme	1	10%
Âge		
≤ 65 ans	3	30%
> 65 ans	7	70%
Score OMS <sup>1</sup>		
0	4	40%
1	5	50%
2	1	10%
Intoxication active		
Tabac	2	20%
Tabac + alcool	1	10%
Aucune	7	70%
Sous-localisation du cancer laryngé		
Glotte	6	60%
Sus-glotte	3	30%
Sous-glotte	1	10%
Extension locale après évaluation en RCP <sup>2</sup> (cT)		
cT1	1 (cT1a)	10%
cT2	1	10%
cT3	3	30%
cT4	5 (cT4a)	50%
Extension ganglionnaire après évaluation en RCP		
Absence d'extension ganglionnaire	4	40%
Présence d'une extension ganglionnaire sans rupture capsulaire	3 (2 cN1, 1 cN2c)	30%
Présence d'une extension ganglionnaire avec rupture capsulaire	3	30%

<sup>1</sup> Score OMS : score de performance établi par l'Organisation Mondiale de la Santé qui informe sur le niveau d'état général d'une personne. Il va de 0 (actif sans restriction) à 4 (ne pouvant pas s'occuper de lui, totalement confiné au lit ou au fauteuil). <sup>2</sup> RCP : Réunion de Concertation Pluridisciplinaire. <sup>3</sup> cT : extension locale de la tumeur.

## 2.3. Anonymisation des données

Après sélection des cas inclus dans cette étude, l'ensemble des données scanographiques ont été anonymisées à l'aide du logiciel PACS (Change Healthcare Radiology Solutions).

**Pour l'analyse scanographique conventionnelle**, chaque patient était référencé dans les exceptions du PACS selon l'appellation « these,conventionnel 1-10 ». Pour chaque cas étudié, était à disposition :

- Des acquisitions en respiration indifférente de la base du crâne à l'orifice cervico-médiastinal après injection de produit de contraste iodé,
- Des acquisitions en phonation,
- Des séquences en fenêtre osseuse,
- Des séquences en fenêtre tissus mous.

**Pour l'analyse scanographique conventionnelle avec séquences spectrales**, chaque patient était référencé dans les exceptions du PACS selon l'appellation « these,spectral 1-10 ». Pour chaque étude, était à disposition :

- Les différentes acquisitions précédemment citées,
- Des acquisitions à basse énergie (40 KeV) en respiration indifférente,
- Des acquisitions à basse énergie (40 KeV) en phonation.

Les reconstructions multi-planaires (MPR) ne figuraient pas sur les séquences sélectionnées mais pouvaient être réalisées par les observateurs s'ils le souhaitaient.

## 2.4. Observateurs

Après sélection et anonymisation des dix cas, les ORL du CHU de Lille et du Centre Oscar Lambert ont été sollicités. A noter qu'une extension de cette étude aux ORL des hôpitaux périphériques n'était pas possible compte tenu de l'accès limité au PACS. Au cours de l'étude, chaque participant a rempli un questionnaire pour chaque analyse tomodensitométrie réalisée. Les questionnaires avaient pour but d'étudier :

- **L'extension locale de la tumeur laryngée.** Le participant devait répondre par oui ou non si la tumeur atteignait la ou les cordes vocales et s'étendait aux

différentes structures anatomiques adjacentes intra et extra-laryngées. La réflexion autour de cette analyse est basée sur la classification TNM.

- **L'extension cartilagineuse de la tumeur laryngée.** Le participant devait répondre par oui ou non sur l'atteinte des trois cartilages laryngés. Par ailleurs, une définition de l'atteinte cartilagineuse (condensation, érosion, lyse) était disponible en annexe des questionnaires, tirée du Chapitre Imagerie en cancérologie du larynx et de l'hypopharynx rédigé par Frédérique Dubrulle et al.
- **L'extension ganglionnaire de la tumeur laryngée.** Le participant devait répondre par oui ou non s'il existait une atteinte ganglionnaire unilatérale ou bilatérale et s'il existait des signes de rupture capsulaire. Par ailleurs, des définitions d'une adénopathie suspecte et d'une adénopathie en rupture capsulaire étaient disponibles en annexe des questionnaires, tirées du Chapitre Imagerie en cancérologie du larynx et de l'hypopharynx rédigé par Frédérique Dubrulle et al.

En plus de cela, les participants devaient notifier la durée moyenne d'étude pour chaque scanner en minutes. Pour les études avec séquences spectrales, les participants devaient répondre de manière subjective si les séquences spectrales facilitaient l'analyse des tumeurs laryngées (oui, non, ne sait pas). Tous les questionnaires ont été remplis à la main et restitués en version papier. Les documents fournis aux participants sont reportés en annexe (Annexe 5, 6, 7).

## 2.5. Analyse statistique

Les variables qualitatives ont été décrites en termes de fréquences et de pourcentages. Les variables quantitatives ont été décrites par la moyenne et l'écart type ou par la médiane et l'intervalle interquartile en cas de distribution non Gaussienne. La normalité des distributions a été vérifiée graphiquement et à l'aide du test de Shapiro-Wilk. Aucune comparaison statistique n'a été réalisée pour les variables qualitatives avec un effectif inférieur à 8. Le niveau de significativité a été fixé à 5%. Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel SAS (SAS Institute version 9.4). L'effet du type de scanner sur la notation de l'évaluation a été

évalué à l'aide d'un modèle de régression linéaire incluant les variables investigateur et patient comme effets fixes. La différence entre les moyennes des deux groupes (scanner conventionnel versus scanner conventionnel avec séquences spectrales) et son intervalle de confiance à 95% a été dérivée du modèle comme taille d'effet.

L'effet du type de scanner sur la durée d'interprétation a été évalué à l'aide de la même méthode que précédemment. L'effet respectivement de la surspécialité des observateurs, la pratique de la cancérologie et le statut professionnel sur la notation de l'évaluation ont été évalués à l'aide de modèles de régression linéaire incluant les variables type de scanner et patient comme effets fixes. Les différences entre les moyennes des groupes et son intervalle de confiance à 95% ont été dérivées du modèle comme taille d'effet. Pour le scanner conventionnel avec séquences spectrales, l'effet de la surspécialité des observateurs et de la pratique de la cancérologie sur la notation de l'évaluation ont été évalués à l'aide de modèles de régression linéaire incluant la variable patient comme effet fixe. La différence entre les moyennes des groupes et son intervalle de confiance à 95% ont été dérivées du modèle comme taille d'effet.

### 3. Résultats

Seize spécialistes ORL ont participé à cette étude. Ils ont analysé 10 scanners conventionnels portant sur des cancers laryngés puis ces 10 mêmes scanners avec séquences spectrales. Au total, nous disposons de 320 interprétations scanographiques, soit 160 scanners conventionnels et 160 scanners conventionnels avec séquences spectrales.

#### 3.1. Description des observateurs

Les observateurs de cette étude étaient des ORL exerçant au CHU de Lille (N=15) et au Centre Oscar Lambret (N=1). Ils avaient des surspécialités et niveaux d'expérience différents. Ces informations sont résumées dans le Tableau 2.

**Tableau 2** : Caractéristiques des observateurs participants à l'étude.

Caractéristiques des observateurs	Nombre N=16	Pourcentage
Statut professionnel <sup>1</sup>		
PU-PH	1	6,25%
PH	10	62,5%
CCA-AHU	5	31,25%
Sur-spécialisation		
Allergologie	1	6,25%
Chirurgie cervico-faciale	7	43,75%
Otologie	4	25%
ORL pédiatrique	1	6,25%
Rhinologie	3	18,75%
L'ORL pratique-t-il la cancérologie dans son activité quotidienne ?		
Non	9	56,25%
Oui depuis moins de 5 ans	3	18,75%
Oui depuis plus de 5 ans	4	25%

<sup>1</sup> PU-PH : Professeur des universités – Praticien hospitalier. PH : Praticien hospitalier. CCA-AHU : Chef de clinique assistant – Assistant hospitalo-universitaire.

### 3.2. Étude descriptive des résultats par cas

Notre étude portait sur 10 patients présentant un carcinome épidermoïde laryngé. La classification cTN de ces tumeurs variait de cT1aN0 à cT4aN3b.

**Pour l'analyse des scanners conventionnels**, la note totale moyenne par cas variait de  $16,6 \pm 2,2$  sur 24 à  $22,2 \pm 1$  sur 24. Sur l'extension locale, la note moyenne par cas variait de  $5,8 \pm 1,6$  sur 9 à  $7,5 \pm 0,8$  sur 9. Sur l'extension cartilagineuse, la note moyenne par cas variait de  $7,4 \pm 1,4$  sur 12 à  $11,9 \pm 0,5$  sur 12. Enfin sur l'extension ganglionnaire, la note moyenne par cas variait de  $1,2 \pm 1,0$  sur 3 à  $2,9 \pm 0,5$  sur 3. A noter qu'il n'y avait pas de donnée manquante pour ces analyses. La durée d'interprétation moyenne par cas variait de  $9,2 \pm 6,2$  minutes à  $6 \pm 3,4$  minutes. Il manquait néanmoins 10 données pour cette analyse.

**Pour l'étude des scanners conventionnels avec séquences spectrales**, la note totale moyenne par cas variait de  $16,3 \pm 2,7$  sur 24 à  $22 \pm 2,3$  sur 24. Sur l'extension locale, la note moyenne par cas variait  $5,8 \pm 1,5$  sur 9 à  $7,6 \pm 1,4$  sur 9. Sur l'extension cartilagineuse, la note moyenne par cas variait de  $7,8 \pm 1,8$  sur 12 à  $11,5 \pm 1,2$  sur 12. Enfin sur l'extension ganglionnaire, la note moyenne par cas variait de  $1,4 \pm 1,1$  sur 3 à  $3,0 \pm 0,0$  sur 3. A noter qu'il n'y avait pas de donnée manquante pour ces analyses. La durée d'interprétation moyenne par cas variait de  $7,5 \pm 3,9$  minutes à  $5,9 \pm 3,5$  minutes. Il manquait également 10 données pour cette analyse.

### 3.3. Étude descriptive des résultats par observateur

Notre étude a été réalisée par 16 observateurs ORL.

**Pour l'analyse des scanners conventionnels**, la note totale moyenne par investigateur variait de  $17,3 \pm 3,1$  sur 24 à  $19,7 \pm 1,2$  sur 24. Sur l'extension locale, la note moyenne par investigateur variait de  $6,0 \pm 0,9$  sur 9 à  $7,3 \pm 1,2$  sur 9. Sur l'extension cartilagineuse, la note moyenne par investigateur variait de  $8,8 \pm 2,1$  sur 12 à  $10,1 \pm 1,2$  sur 12. Enfin sur l'extension ganglionnaire, la note moyenne par investigateur variait de  $1,9 \pm 0,9$  sur 3 à  $2,6 \pm 0,7$  sur 3. A noter qu'il n'y avait pas de

donnée manquante pour ces analyses. La durée d'interprétation moyenne d'un cas par investigateur variait de  $16 \pm 4,6$  minutes à  $3,4 \pm 0,7$  minutes. Il manquait les données d'un investigateur pour chacun des 10 cas. Les meilleures notes ont systématiquement été obtenues pour les cas 3 et 4. Les moins bonnes notes ont systématiquement été obtenues pour les cas 5 et 8.

**Pour l'analyse les scanners conventionnels avec séquences spectrales**, la note totale moyenne par investigateur variait de  $17,5 \pm 3,6$  sur 24 à  $20 \pm 2,7$  sur 24. Sur l'extension locale, la note moyenne par investigateur variait de  $6,1 \pm 1,8$  sur 9 à  $7,4 \pm 1,6$  sur 9. Sur l'extension cartilagineuse, la note moyenne par investigateur variait de  $8,8 \pm 2,1$  sur 12 à  $10,2 \pm 1,5$  sur 12. Enfin sur l'extension ganglionnaire, la note moyenne par investigateur variait de  $2,0 \pm 0,9$  sur 3 à  $2,5 \pm 0,7$  sur 3. A noter qu'il n'y avait pas de donnée manquante pour ces analyses. La durée d'interprétation moyenne d'un cas par investigateur variait de  $5,5 \pm 1,6$  minutes à  $3,1 \pm 0,3$  minutes. Il manquait les données d'un investigateur pour chacun des 10 cas. Les meilleures notes ont systématiquement été obtenues pour les cas 3 et 4. Les moins bonnes notes ont systématiquement été obtenues pour les cas 5 et 8.

### 3.4. Objectif principal

Pour l'étude de l'objectif principal, l'analyse a été réalisée sur deux groupes : l'ensemble des données interprétées en scanner conventionnel (N=160) et l'ensemble des données interprétées en scanner conventionnel avec séquences spectrales (N=160).

Dans notre étude, la note totale moyenne obtenue après remplissage des questionnaires était de  $18,7 \pm 2,5$  sur 24 pour l'analyse scanographique conventionnelle et de  $18,8 \pm 2,6$  sur 24 pour l'analyse scanographique avec séquences spectrales. **Les résultats d'interprétation obtenus entre les deux types de scanners ne différaient pas de manière significative** ( $p$  value = 0,48). Cependant, la taille de l'effet, correspondant à la différence des moyennes des deux groupes était de 0,15 ce qui signifie que les notes recueillies dans l'analyse scanographique avec séquences spectrales **ont tendance à être plus élevées** que celles recueillies dans

l'analyse scanographique conventionnelle seule. Pour ce critère de jugement, il n'existait pas de donnée manquante.

La note totale obtenue correspond à l'évaluation de l'extension locale (sur 9), cartilagineuse (sur 12) et ganglionnaire (sur 3).

**Pour l'extension locale**, la note moyenne obtenue était de  $6,8 \pm 1,3$  sur 9 pour l'analyse scanographique conventionnelle et de  $6,9 \pm 1,3$  sur 9 pour l'analyse scanographique avec séquences spectrales. Il n'y avait pas de différence significative entre ces deux interprétations (p value = 0,41).

**Pour l'extension cartilagineuse**, la note moyenne obtenue était de  $9,6 \pm 1,7$  sur 12 pour l'analyse scanographique conventionnelle et de  $9,6 \pm 1,8$  sur 12 pour l'analyse scanographique avec séquences spectrales. Il n'y avait pas de différence significative entre ces deux interprétations (p value = 0,77).

**Pour l'extension ganglionnaire**, la note moyenne obtenue était de  $2,3 \pm 0,8$  sur 3 pour l'analyse scanographique conventionnelle et de  $2,3 \pm 0,8$  sur 3 pour l'analyse scanographique avec séquences spectrales. Il n'y avait pas de différence significative entre ces deux interprétations (p value = 1). Ces résultats sont résumés dans le Tableau 3.

**Tableau 3** : Comparaison des notes obtenues pour l'interprétation des scanners conventionnels et des scanners avec séquences spectrales.

VARIABLES		GROUPES		MODÈLE D'EFFETS FIXES		
Étude scanographique	Modalités	Scanner conventionnel N = 160	Scanner conventionnel avec séquences spectrales N = 160	P value	Taille de l'effet <sup>1</sup>	[IC95%]
Total (/24)	Moyenne ± Écart-type Médiane (Q1 ; Q3) Minimum   Maximum	18,7 ± 2,5 19,0 (17,0 ; 20,0) 12,0   24,0	18,8 ± 2,6 19,0 (17,0 ; 21,0) 11,0   24,0	0,48	0,15	[-0,27 ; 0,57]
Extension locale (/9)	Moyenne ± Écart-type Médiane (Q1 ; Q3) Minimum   Maximum	6.8 ± 1.3 7.0 (6.0 ; 8.0) 2.0   9.0	6.9 ± 1.3 7.0 (6.0 ; 8.0) 3.0   9.0	0,41	0,11	[-0,14 ; 0,36]
Extension cartilagineuse (/12)	Moyenne ± Écart-type Médiane (Q1 ; Q3) Minimum   Maximum	9.6 ± 1.7 10.0 (8.0 ; 10.0) 6.0   12.0	9.6 ± 1.8 10.0 (8.0 ; 10.0) 6.0   12.0	0,7675	0,04376	[-0,25 ; 0,33]
Extension ganglionnaire (/3)	Moyenne ± Écart-type Médiane (Q1 ; Q3) Minimum   Maximum	2.3 ± 0.8 3.0 (2.0 ; 3.0) 0.0   3.0	2.3 ± 0.8 3.0 (2.0 ; 3.0) 0.0   3.0	1,00	0	[-0,14 ; 0,14]

<sup>1</sup> La taille de l'effet correspond à la différence des moyennes des deux groupes (scanner conventionnel et scanner conventionnel avec séquences spectrales). Elle mesure la force de l'effet observé. En étant positive, elle est en faveur du groupe « scanner conventionnel avec séquences spectrales ».

### 3.5. Objectifs secondaires

#### 3.5.1. Études des variations intra-individuelles des résultats

Dans cette analyse, nous avons évalué le nombre de reclassements corrects et incorrects des réponses avec les séquences spectrales, comparativement à l'interprétation faite avec le scanner conventionnel, pour chacun des 10 cas pour les 16 observateurs (N=160). Ces reclassements étaient superposables en termes de réponses correctes et incorrectes lors de l'interprétation avec séquences spectrales. **Il n'y a pas de variation notable dans l'interprétation scanographique avec séquences spectrales d'un cas à l'autre pour chaque investigateur.**

### 3.5.2. *Études des variations inter-individuelles des résultats*

Dans cette analyse, nous avons évalué le nombre de reclassements corrects et incorrects des réponses avec les séquences spectrales, comparativement à l'interprétation faite avec le scanner conventionnel, pour chaque zone anatomique étudiée pour l'ensemble des données (N=160). Ces reclassements étaient superposables en termes de réponses correctes et incorrectes lors de l'interprétation avec séquences spectrales. **Il n'y a pas de variation notable dans l'interprétation scanographique avec séquences spectrales en termes de zones anatomiques.** Ces résultats laissent toutefois à penser que les séquences spectrales permettent de mieux évaluer l'extension sous-glottique et extra-laryngée. Ces résultats sont résumés dans le Tableau 4.

**Tableau 4** : Variations inter-individuelles des résultats.

Zone anatomique atteinte	Reclassement correct de la réponse avec les séquences spectrales		Reclassement incorrect de la réponse avec les séquences spectrales	
	N (N = 160)	%	N (N = 160)	%
Commissure antérieure	22	13,8 %	16	10 %
Commissure postérieure	9	5,6 %	14	8,8 %
Deux cordes vocales	17	10,6 %	19	11,9 %
Sus-glotte	7	4,4 %	8	5 %
Sous-glotte	18	11,3 %	8	5 %
Espace para-glottique	9	5,6 %	13	8,1 %
Loge HTE	16	10 %	7	4,4 %
Base de langue	0	0 %	0	0 %
Atteinte extra-laryngée	17	10,6 %	9	5,6 %
Cartilage thyroïde	14	8,7 %	15	9,4 %
Cartilages aryénoïde	22	13,7 %	18	11,3 %
Cartilage cricoïde	11	6,9 %	10	6,2 %
Adénopathie cervicale	16	10 %	13	8,1 %
Signes de rupture capsulaire	4	2,5 %	7	4,4 %

### 3.5.3. *Étude de la durée d'interprétation*

Pour l'étude de cet objectif, l'analyse a été réalisée sur deux groupes : l'ensemble des données interprétées en scanner conventionnel (N=160) et l'ensemble des données interprétées en scanner conventionnel avec séquences spectrales (N=160). La durée d'interprétation des cas est en moyenne de  $7,4 \pm 4,1$  minutes pour les scanners

conventionnels et  $6,6 \pm 3,8$  minutes pour les scanners avec séquences spectrales. **La durée d'interprétation est significativement plus courte pour l'analyse scanographique avec séquences spectrales (pvalue = 0,0016).** Pour cette analyse, il manquait 10 données dans chaque groupe.

### 3.5.4. Étude en fonction du statut professionnel

Pour l'étude de cet objectif, l'analyse a été réalisée sur trois groupes en fonction du statut professionnel : un groupe PU-PH (N=20), un groupe PH (N=200) et un groupe CCA-AHU (N=100). Pour le groupe PU-PH, la note totale moyenne était de  $18,8 \pm 2,1$  sur 24. Pour le groupe PH, la note totale moyenne était de  $18,9 \pm 2,5$  sur 24. Pour le groupe CCA-AHU, la note totale moyenne était de  $18,4 \pm 2,8$  sur 24. **Il n'y avait pas de différence significative des résultats en fonction du statut professionnel (pvalue = 0,0849).** Pour cette analyse, il n'existait pas de donnée manquante. Les résultats sont résumés dans le Tableau 5.

**Tableau 5** : Étude des résultats en fonction du statut professionnel des observateurs.

Étude scanographique	Modalités	PU-PH N=20	PH N = 200	CCA-AHU N = 100	P value
Total (/24)	Moyenne $\pm$ Écart-type	18.8 $\pm$ 2.1	18.9 $\pm$ 2.5	18.4 $\pm$ 2.8	0,0849
	Médiane (Q1 ;Q3)	19.0 (18.0 ; 20.5)	19.0 (17.0 ; 21.0)	18.0 (16.0 ; 21.0)	
	Minimum   Maximum	15.0   23.0	11.0   24.0	12.0   24.0	

<sup>1</sup> PU-PH : Professeur des universités - Praticien hospitalier. PH : Praticien hospitalier. CCA-AHU : Chef de clinique assistant - Assistant hospitalo-universitaire

### 3.5.5. Étude en fonction de la spécialité

Pour l'étude de cet objectif, l'analyse a été réalisée sur deux groupes : un groupe avec les ORL surspécialisés en chirurgie cervico-faciale (N=140) et un groupe avec les ORL avec d'autres surspécialisations (otologie, rhinologie, ORL pédiatrique et allergologie) (N=180). **Les notes obtenues par les ORL surspécialisés en chirurgie cervico-faciale étaient significativement plus élevées que celles des autres ORL (pvalue**

= 0,0026). Pour cette analyse, il n'y avait pas de donnée manquante. Ces résultats sont résumés dans le tableau 6.

**Tableau 6** : Étude des résultats en fonction de la sur-spécialité des observateurs. L'analyse statistique porte sur l'ensemble des interprétations scanographiques.

Étude scanographique globale	Modalités	Chirurgie cervico-faciale N = 140	Autres surspécialisations N = 180				P value
			Rhinologie N = 60	Allergologie N = 20	Oto-neurologie N = 80	ORL pédiatrique N = 20	
Total (/24)	Moyenne ± Écart-type Médiane (Q1 ;Q3) Minimum   Maximum	19.1 ± 2.3 19.0 (18.0 ; 20.0) 14.0   24.0	18.4 ± 2.8 18.0 (16.0 ; 21.0) 11.0   23.0	18.4 ± 2.7 18.0 (16.0 ; 20.0) 15.0   23.0	18.6 ± 2.7 19.0 (17.0 ; 21.0) 12.0   24.0	18.4 ± 2.6 18.0 (16.5 ; 19.5) 12.0   23.0	0,0026

Lorsque l'analyse statistique ne portait que sur l'interprétation des scanners conventionnels avec séquences spectrales, **il n'y avait pas de différence significative entre les ORL surspécialisés en chirurgie cervico-faciale et les autres ORL** (pvalue = 0,1096). Cependant, la taille de l'effet, correspondant à la différence des moyennes des deux groupes était de 0,5317 ce qui signifie que les notes recueillies par les ORL surspécialisés en chirurgie cervico-faciale **ont tendance à être plus élevées** que celles recueillies par les autres observateurs. Ces résultats sont résumés dans le Tableau 7.

**Tableau 7** : Étude des résultats en fonction de la sur-spécialité des observateurs. L'analyse statistique porte sur les interprétations scanographiques conventionnelles avec séquences spectrales .

Étude scanographique conventionnelle avec séquences spectrales	Modalités	Chirurgie cervico-faciale N = 70	Autres surspécialisations N = 90	P value
Total (/24)	Moyenne ± Écart-type Médiane (Q1 ;Q3) Minimum   Maximum	19.1 ± 2.4 19.0 (18.0 ; 20.0) 14.0   24.0	18.6 ± 2.8 19.0 (16.0 ; 21.0) 11.0   24.0	0.1096

### 3.5.6. Étude en fonction de la pratique de la cancérologie

Pour l'étude de cet objectif, l'analyse a été réalisée sur deux groupes : un groupe regroupant les ORL pratiquant la cancérologie dans leur pratique quotidienne depuis plus de 5 ans (N=80) et les autres (N=240). **Les notes obtenues par les ORL pratiquant la cancérologie depuis plus de 5 ans étaient significativement plus élevées que celles des ORL qui ne la pratiquent pas ou depuis moins longtemps (pvalue = 0,0065).** Pour cette analyse, il n'existait pas de donnée manquante. Ces résultats sont résumés dans le Tableau 8.

**Tableau 8 :** Étude des résultats en fonction de la pratique de la cancérologie des observateurs. L'analyse statistique porte sur l'ensemble des interprétations scanographiques.

Étude scanographique globale	Modalités	Pratique de la cancérologie > 5 ans N = 80	Pratique de la cancérologie < 5 ans ou nulle N = 240		P value
			Pratique de la cancérologie < 5 ans N = 60	Pratique nulle de la cancérologie N = 180	
Total (/24)	Moyenne ± Écart-type Médiane (Q1 ; Q3) Minimum   Maximum	18.5 ± 2.7 18.0 (16.0 ; 21.0) 11.0   24.0	19.0 ± 2.2 19.0 (18.0 ; 20.0) 14.0   23.0	19.3 ± 2.4 19.0 (18.0 ; 21.0) 14.0   24.0	<b>0,0065</b>

Lorsque l'analyse statistique ne portait que sur l'interprétation des scanners conventionnels avec séquences spectrales, **les notes obtenues par les ORL pratiquant la cancérologie depuis plus de 5 ans étaient significativement plus élevées que celles des ORL qui ne la pratiquent pas ou depuis moins longtemps (pvalue = 0,0401).** Ces résultats sont résumés dans le Tableau 9.

**Tableau 9 :** Étude des résultats en fonction de la pratique de la cancérologie des observateurs. L'analyse statistique porte sur les interprétations scanographiques conventionnelles avec séquences spectrales.

Étude scanographique conventionnelle avec séquences spectrales	Modalités	Pratique de la cancérologie > 5 ans N = 40	Pratique de la cancérologie < 5 ans ou nulle N = 120		P value
			Pratique de la cancérologie < 5 ans N = 30	Pratique nulle de la cancérologie N = 90	
Total (/24)	Moyenne ± Écart-type Médiane (Q1 ;Q3) Minimum   Maximum	19.4 ± 2.5 19.0 (18.0 ; 21.5) 15.0   24.0	18.8 ± 2.2 19.0 (18.0 ; 20.0) 14.0   23.0	18.6 ± 2.8 19.0 (16.0 ; 21.0) 11.0   24.0	<b>0.0401</b>

### 3.5.7. Étude de la classification cTN avant et après RCP

Dans notre étude, nous avons étudié les ajustements de la classification cTN établie par l'ORL lors de l'endoscopie après relecture des scanners avec séquences spectrales en RCP. A noter que le plus souvent, une imagerie scanographique était disponible lors de la réalisation de l'endoscopie. La relecture des imageries pendant la RCP a entraîné une modification de la classification TNM dans 80% des cas pour le cT et 40% des cas dans le cN. Ces modifications s'expliquent par l'atteinte de zones anatomiques nouvellement mises en évidence. Ces résultats sont résumés dans le Tableau 10.

**Pour la classification cT**, les ORL ont tendance à sous-estimer l'extension locale. En effet, parmi les deux tumeurs classées cT1a, l'une a été reclassée cT3. La tumeur classée cT1b a été reclassée cT3. Parmi les trois tumeurs classées cT2, l'une a été reclassée cT3 et une autre cT4a. Les quatre tumeurs classées cT3 ont été reclassées cT4a.

**Pour la classification cN**, les ORL ont tendance à sous-estimer l'extension ganglionnaire. Parmi les huit tumeurs classées cN0, quatre ont été reclassées (une cN1, une cN2c, une cN3b). La tumeur classée cN1 est restée classée cN1. La tumeur classée cN3b est restée classée cN3b

**Tableau 10** : Classification cTN des cas étudiés avant et après RCP.

Descriptif des cas		Variables	Descriptif des résultats N (%)
Classification cTN avant RCP <sup>1</sup>	cT	cT1a cT1b cT2 cT3 cT4a	2 (20%) 1 (10%) 3 (30%) 4 (40%) 0
	cN	cN0 cN1 cN2c cN3b	8 (80%) 1 (10%) 0 1 (10%)
Classification cTN après RCP <sup>2</sup>	cT	cT1a cT1b cT2 cT3 cT4a	1 (10%) 0 1 (10%) 3 (30%) 5 (50%)
	cN	cN0 cN1 cN2c cN3b	4 (40%) 2 (20%) 1 (10%) 3 (30%)
Extensions anatomiques identifiées par le scanner modifiant la classification cTN	Extension laryngée (sous-glotte, glotte, espace paraglottique)	Absence d'extension Zone anatomique atteinte	4 (40%) 6 (60%)
	Extension à la loge HTE	Absence d'extension Zone anatomique atteinte	7 (70%) 3 (30%)
	Extension extra- laryngée	Absence d'extension Zone anatomique atteinte	8 (80%) 2 (20%)
	Extension cartilagineuse	Absence d'extension Zone anatomique atteinte	7 (70%) 3 (30%)
	Extension ganglionnaire	Absence d'extension Zone anatomique atteinte	6 (60%) 4 (40%)

<sup>1</sup> Classification établie par l'ORL lors de son examen clinique, endoscopique plus ou moins scanographique avant RCP.

<sup>2</sup> Classification établie après étude des images scanographiques avec séquences spectrales lors de la RCP.

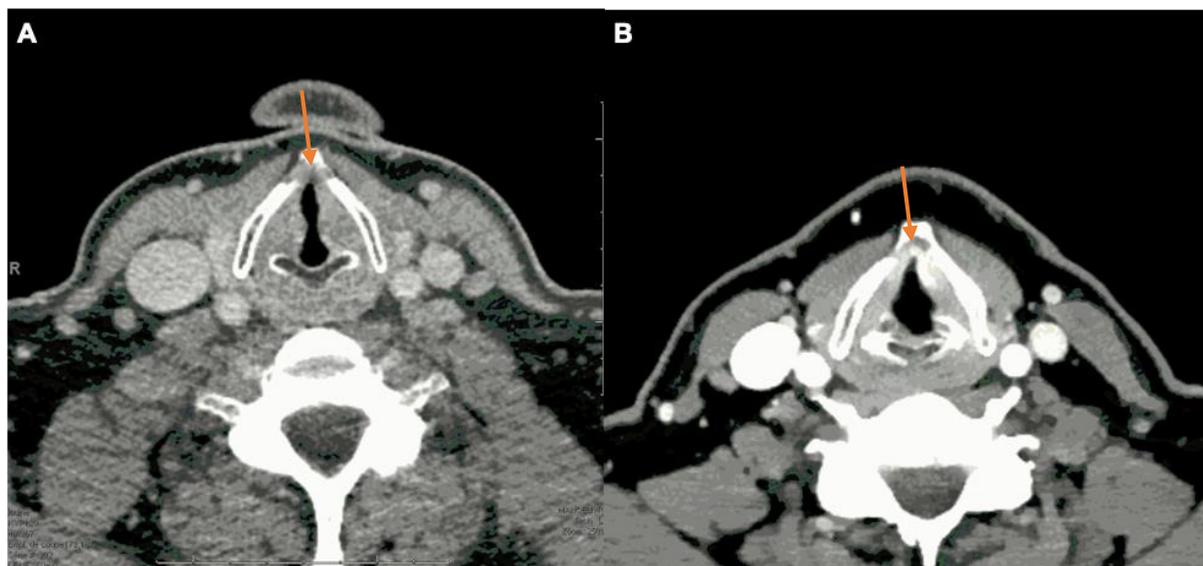
## 4. Discussion

A travers cette étude, nous avons constaté que pour les spécialistes non-experts radiologiques (ORL), l'interprétation scanographique de cas de cancers laryngés était superposable avec ou sans séquences spectrales à disposition. Cependant, même si l'apport des séquences spectrales n'a pas prouvé sa supériorité, nos résultats suggèrent que ces dernières permettent une évaluation plus proche de celle de notre radiologue experte. Dans notre étude, la taille de l'effet correspondant à la différence des moyennes des deux groupes étudiés, était positive (0,15). Elle mesure la force de l'effet observé. Cette positivité signifie que les moyennes obtenues pour l'analyse scanographique avec séquences spectrales étaient supérieures à celles obtenues dans l'analyse scanographique conventionnelle seule. Ainsi, même si les résultats ne sont pas significatifs, les notes obtenues lors de l'interprétation scanographique avec séquences spectrales ont tendance à être meilleures. De plus, concernant l'apport des séquences spectrales dans l'étude de ces cas, les observateurs ont indiqué qu'elles facilitaient l'interprétation scanographique dans 57% des cas. Ainsi, même si notre étude n'a pas permis de prouver la supériorité du scanner à double énergie dans l'analyse de l'extension des cancers laryngés, elle suggère une plus-value de ce dernier en termes de qualité et de facilité d'interprétation.

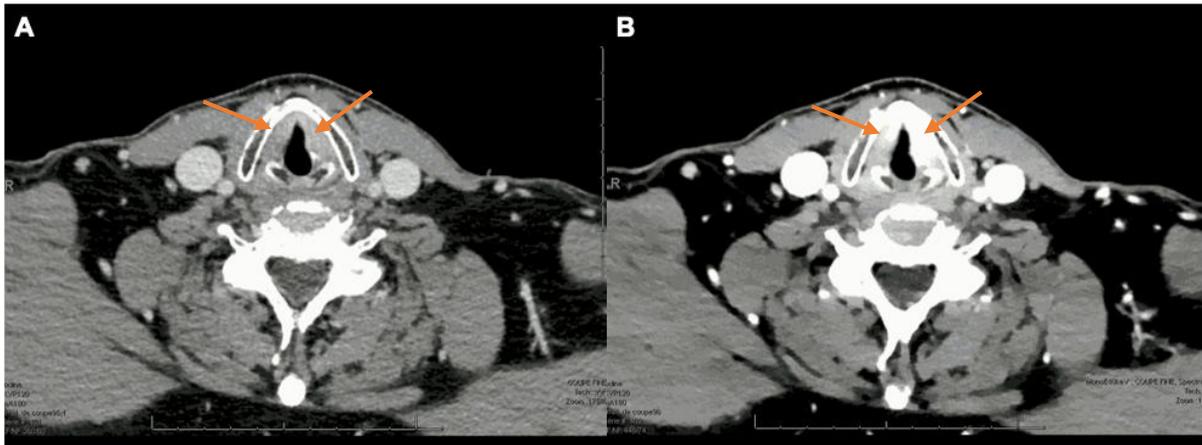
Notre travail a permis de recueillir un ensemble de 320 données provenant de deux centres hospitaliers différents. Le panel d'observateurs impliqués dans cette étude regroupe différentes surspécialités, ce qui reflète l'activité ORL dans son ensemble. De plus, les cas de cancers sélectionnés pour l'étude sont diversifiés et représentatifs de la classification cTN, allant de cancers peu étendus aux cancers plus invasifs avec extension loco-régionale importante. Cette diversité de cas offre une vue d'ensemble complète et nuancée des différentes manifestations scanographiques des cancers du larynx. Les résultats obtenus par les différents observateurs sont globalement satisfaisants, se rapprochant des interprétations réalisées par notre radiologue experte, malgré l'absence de formation ou d'expertise particulière de leur part.

Dans l'analyse des résultats, nous pouvons identifier deux cas pour lesquels les observateurs ont obtenu les meilleurs résultats, les cas 3 et 4, et deux cas pour lesquels ils ont obtenu les moins bons résultats, les cas 5 et 8.

Le cas 3 concerne un patient de 64 ans atteint d'un carcinome épidermoïde glottique classé cT1aN0. Dans ce cas, l'utilisation du scanner spectral a permis une amélioration notable de la visualisation de l'atteinte commissurale antérieure avec un reclassement correct de la réponse pour 9 candidats, soit 56% des observateurs (figure 18). Aucun reclassement incorrect n'a été observé. Le cas 4 concerne un patient de 58 ans atteint d'un carcinome épidermoïde glottique classé cT3N0. Ici, l'utilisation du scanner spectral a également permis une amélioration de la visualisation de l'atteinte des deux cordes vocales avec un reclassement correct de la réponse pour 8 candidats, soit 50% des observateurs (figure 19). Un reclassement incorrect avec les séquences spectrales a été observé. Pour ces deux cas, il n'y avait pas d'atteinte ganglionnaire ou cartilagineuse.



**Figure 18. a) Scanner conventionnel en coupe axiale centré sur l'étage glottique. b) Scanner à basse énergie (40 KeV) en coupe axiale centré sur l'étage glottique.** Ces images concernent le cas 3, patient de 64 ans atteint d'un carcinome épidermoïde glottique classé cT1aN0 (flèche). Dans ce cas, l'utilisation du scanner spectral a permis une amélioration notable de la visualisation de l'atteinte commissurale antérieure avec un reclassement correct de la réponse pour 9 candidats, soit 56% des observateurs.

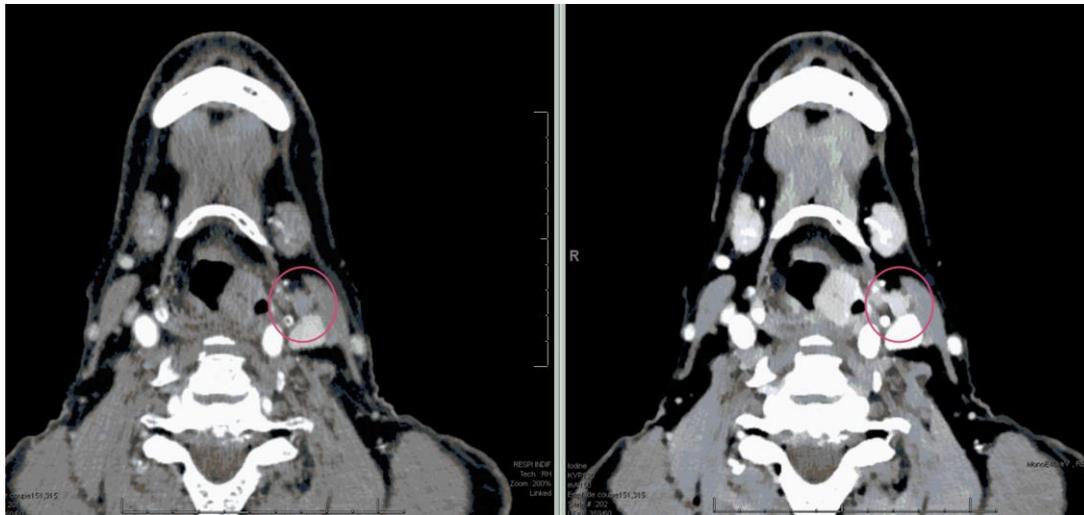


**Figure 19. a) Scanner conventionnel en coupe axiale centré sur l'étage glottique. b) Scanner à basse énergie (40 KeV) en coupe axiale centré sur l'étage glottique.** Ces images concernent le cas 4, patient de 58 ans atteint d'un carcinome épidermoïde glottique classé cT3N0. Ici, l'utilisation du scanner spectral a également permis une amélioration de la visualisation de l'atteinte des deux cordes vocales avec un reclassement correct de la réponse pour 8 candidats, soit 50% des observateurs (flèches).

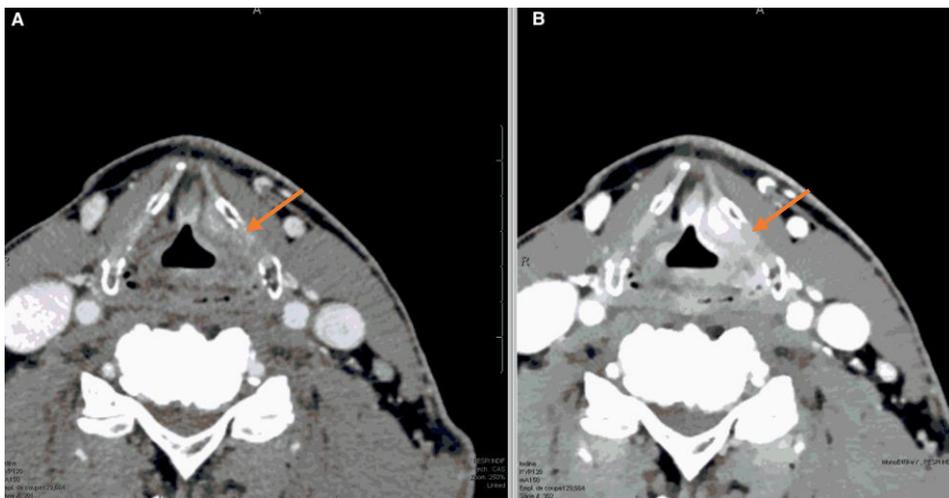
Ces résultats suggèrent que les séquences spectrales sont intéressantes pour l'analyse fine de l'infiltration tumorale au sein des cordes vocales. Cela est cohérent avec l'impression clinique que nous avons en pratique quotidienne. En effet, la réalisation d'une imagerie spectrale est parfois suggérée en réunion de concertation pluridisciplinaire pour tenter de caractériser au mieux le degré d'infiltration glottique dans certains cas difficiles, ou en cas de discordance radio-clinique avec le scanner conventionnel.

Le cas 5 concerne un patient de 86 ans atteint d'un carcinome épidermoïde sus-glottique classé cT4N3b. Bien que 75% des observateurs aient correctement identifié la lyse du cartilage thyroïde, ils étaient le même nombre à conclure à tort à une atteinte des cartilages aryénoïdes. Cela est probablement dû à une mauvaise interprétation de l'invasion tumorale en contact avec ses structures. A noter que l'analyse des séquences spectrales n'a pas permis de rectifier cette erreur dans ce cas. Pour l'atteinte ganglionnaire, 87% des observateurs n'ont pas identifié les signes de rupture capsulaire. L'analyse des séquences spectrales n'a pas non plus permis de corriger ces erreurs (figure 20). Le cas 8 concerne un patient de 57 ans atteint d'un carcinome épidermoïde glottique classé cT4aN2c. Les observateurs concluaient à tort à une atteinte du cartilage thyroïde (figure 21) mais n'ont pas détecté les adénopathies

atteintes. L'analyse des séquences spectrales n'a pas non plus permis de corriger ces erreurs.



**Figure 20 :** a) Scanner conventionnel en coupe axiale centré sur l'étage glottique. b) Scanner à basse énergie (40 KeV) en coupe axiale centré sur l'étage glottique. Ces images concernent le cas 5, patient de 86 ans atteint d'un carcinome épidermoïde sus-glottique classé cT4N3b. Ici, il existe une adénopathie en rupture capsulaire de l'aire III gauche (cercles). Cette adénopathie présente des signes d'extension péri-ganglionnaire avec infiltration graisseuse et musculaire. Ces signes de rupture capsulaire n'ont pas été identifiés par 87% des observateurs.



**Figure 21 :** a) Scanner conventionnel en coupe axiale centré sur le cartilage thyroïde. b) Scanner à basse énergie (40 KeV) en coupe axiale centré sur le cartilage thyroïde. Ces images concernent le cas 8, patient de 57 ans atteint d'un carcinome épidermoïde glottique classé cT4aN2c. Les observateurs concluaient à tort à une atteinte du cartilage thyroïde qui est pourtant libre de tout envahissement tumoral (flèches). L'analyse du cartilage thyroïde est difficile car il s'ossifie de manière variable et imprévisible.

Ces résultats suggèrent que l'interprétation scanographique, avec ou sans séquence spectrale, est plus précise pour les cancers peu extensifs. A l'inverse, les performances d'interprétation diminuent quand les cancers envahissent plusieurs structures anatomiques. L'interprétation de l'atteinte cartilagineuse semble également corrélée à la taille de la tumeur. En effet, pour les tumeurs localisées sans atteinte cartilagineuse, il y a peu de doute sur l'absence d'invasion de ces derniers. En revanche, pour les tumeurs étendues aux différentes structures laryngées, les observateurs ont plus de mal à l'interpréter et ont tendance à conclure à tort à des atteintes cartilagineuses car la tumeur vient au contact. Concernant l'interprétation ganglionnaire, la détection de l'extension ganglionnaire est corrélée à la taille des adénopathies. Les observateurs rencontrent des difficultés à identifier les adénopathies de taille centimétrique ou infracentimétrique, qui ne sont généralement pas mises en évidence. Cette remarque est également valable pour l'identification des signes de rupture capsulaire puisqu'ils sont mis en évidence sur les volumineuses adénopathies mais pas sur celles infracentimétriques.

L'étude des cartilages laryngés est un temps complexe de l'analyse scanographique, y compris pour les radiologues experts. Les reconstructions à haute énergie (à 140 KeV) ne sont réalisées que lorsque des doutes existent quant à une éventuelle invasion cartilagineuse au niveau laryngé. Ces reconstructions ne sont pas visualisables sur les séquences disponibles sur le PACS ainsi elles ne figurent pas dans notre étude. Les séquences spectrales à haute énergie présentent un intérêt limité pour l'étude des extensions muqueuses, mais elles sont particulièrement utiles pour l'interprétation de l'extension cartilagineuse. Des études récentes ont mis en évidence une analyse plus fine des cartilages laryngés avec les séquences spectrales comparativement à l'IRM et au scanner conventionnel, par rapport aux analyses histologiques (27,28). Cette notion a d'ailleurs récemment fait l'objet du sujet de thèse de médecine du Docteur Goullioud (29). Cette distinction est essentielle car elle souligne l'importance d'une utilisation ciblée et appropriée des séquences spectrales pour obtenir une évaluation précise des cancers du larynx. En somme, une formation adéquate des observateurs, combinée à une utilisation adaptée de cette nouvelle technologie, pourrait significativement améliorer l'interprétation scanographique et

renforcer la fiabilité des diagnostics, afin de proposer le traitement le plus adapté au patient.

A travers nos différents objectifs secondaires nous avons pu constater que les ORL pratiquant la chirurgie cervico-faciale et la cancérologie dans leur pratique quotidienne avaient significativement de meilleurs résultats que ceux qui ne la pratique pas dans l'interprétation scanographique. Cela peut s'expliquer par leur expérience, notamment dans la prise en charge des patients, la visualisation des imageries avant bilan endoscopique et la relecture de ces images lors des réunions de concertation pluridisciplinaire. Ainsi, ces résultats suggèrent un potentiel de progression dans l'interprétation scanographique des cancers du larynx. En effet, plus les cliniciens lisent des scanners, plus ils deviennent familiers avec l'interprétation exacte, ce qui est encore plus pertinent pour les séquences spectrales, une technologie relativement nouvelle pour les ORL. Par conséquent, une formation adéquate pourrait permettre à tous de progresser et de démontrer potentiellement l'intérêt réel du scanner à double énergie dans l'interprétation scanographique des cancers du larynx, comme le suggère la littérature (24–26). En effet, dans notre étude, l'analyse scanographique en réunion de concertation pluridisciplinaire, lors de laquelle les images sont réinterprétées par un radiologue expert, permet de reclasser le stade cT dans 80% des cas par rapport à l'analyse réalisée par l'ORL seul (clinique, endoscopie, plus ou moins imagerie si disponible au moment de l'endoscopie), et dans 40% des cas pour le cN montrant l'importance de ce temps d'analyse afin de proposer au patient le traitement le plus adapté.

#### **4.1. Forces et limites**

Ce travail présente plusieurs forces. Tout d'abord, il s'agit d'un sujet nouveau qui se penche sur une thématique rarement traitée dans la littérature, mais qui reflète bien les défis d'interprétation scanographique auxquels sont confrontés les spécialistes ORL. Ensuite, en réunissant 16 participants ayant des statuts professionnels différents et issus de deux centres médicaux distincts, ce travail bénéficie d'une diversité en termes de niveaux d'expertise. Cela reflète la réalité de la pratique clinique. Enfin, nous avons choisi de travailler sur un échantillon de cas variés. En effet, ils couvrent un

large spectre de cancers, allant des formes localisées aux cancers étendus, ce qui reflète la diversité rencontrée dans la pratique quotidienne. Ces éléments confèrent à ce travail une pertinence clinique et une applicabilité pratique. Ce travail présente plusieurs limites qui doivent être prises en compte. Tout d'abord, la méthodologie employée n'a pas été validée par une étude préalable, ce qui peut affecter la robustesse des résultats. Ensuite, la participation s'est limitée aux spécialistes ORL, excluant des experts d'autres disciplines clés comme les radiologues, radiothérapeutes et oncologues dont l'implication est essentielle dans la prise en charge globale des patients et l'établissement de la classification TNM. Leur absence peut donc affecter la globalité des conclusions. De plus, le fait que les ORL participant à cette étude exercent au CHU et dans un centre de cancérologie peut être à l'origine d'un biais effet centre puisqu'ils sont plus susceptibles de prendre en charge des patients atteints de cancers ORL dans leur pratique quotidienne, comparativement aux ORL de ville ou des centres hospitaliers de périphérie. Ensuite, ce travail est limité par la taille de l'échantillon, avec seulement 10 cas analysés, pouvant mener à une puissance insuffisante pour monter une différence statistiquement significative. Enfin, l'absence de séquences à haute énergie dans les données disponibles a pu compliquer l'interprétation précise de l'envahissement cartilagineux, introduisant un potentiel biais de classement. Cette limitation pourrait avoir influencé la classification des tumeurs, rendant les résultats moins précis dans certains cas

## **4.2. Implications cliniques et perspectives**

Le scanner à double énergie apparaît comme un outil prometteur dans l'évaluation des cancers des VADS. Comme nous avons vu précédemment, la littérature existante met en avant plusieurs avantages notables du scanner spectral (21–25):

- L'amélioration du contraste avec les séquences à faible énergie (40 KeV),
- L'analyse détaillée des cartilages non ossifiés et la réduction des artéfacts métalliques avec les séquences à haute énergie (140 KeV),
- La réduction de la quantité de produit de contraste de 40 à 60%.

De plus, des études récentes suggèrent que l'analyse en double énergie pourrait permettre de mettre en évidence des facteurs radiologiques prédictifs de récives

post-thérapeutiques chez les patients présentant un cancer du larynx (30–32). En effet, ces études sont basées sur l'évaluation des volumes tumoraux et des cartographies de l'iode sur les imageries pré-thérapeutiques. Enfin, un travail a montré que le scanner spectral était significativement plus performant que le scanner conventionnel pour la distinction entre les modifications post-thérapeutiques bénignes et les récives tumorales (30).

De fait, le scanner à double énergie, par ses multiples avantages, constitue une avancée significative dans l'imagerie des cancers des VADS, offrant une meilleure précision diagnostique et une plus grande sécurité pour les patients. Pour donner suite aux résultats que nous présentons ici, les perspectives de recherche sont multiples concernant la place du scanner à double énergie dans la prise en charge pré et post-thérapeutique des cancers des VADS, et plus particulièrement des cancers pharyngolaryngés. Tout d'abord, pour tenter de mettre en évidence une amélioration significative de l'interprétation avec le scanner à double énergie, comme le suggère la littérature, il serait intéressant de réaliser une étude prospective comparant l'analyse en scanner conventionnel et en scanner spectral par des radiologues experts. Ensuite, il serait également pertinent de comparer les interprétations scanographiques à double énergie aux pièces histologiques, dans le cas des patients opérés de leur cancer des VADS, afin de déterminer si l'interprétation radiologique se rapproche de l'analyse histologique et en cas de divergences, de savoir sur quels points il faut tenter de s'améliorer dans l'évaluation pré-thérapeutique. Pour le larynx, cela a notamment été fait dans l'étude de P Wang et al. (26), dans laquelle il montre que le scanner à double énergie est plus précis que le scanner conventionnel pour différencier les cancers débutants des lésions d'inflammation chronique sur des lésions confirmées par l'histologie.

## 5. Conclusion

Notre travail s'intéressant à l'apport des séquences spectrales dans l'interprétation scanographique des carcinomes épidermoïdes pharyngolaryngés n'a pas mis en évidence de différence significative comparativement à l'analyse scanographique conventionnelle. Pour valider notre hypothèse, comme le suggère la littérature, il serait intéressant d'envisager une étude prospective portant sur des patients présentant un cancer laryngé opéré avec analyse histologique de la pièce opératoire et dans laquelle les interprétations scanographiques conventionnelle et avec séquences spectrales serait réalisées par l'ensemble des acteurs de la RCP (ORL, radiologues, radiothérapeutes, oncologues) et comparées afin de démontrer ou non de manière significative que l'apport des séquences spectrales à un intérêt dans l'évaluation de l'extension des cancers laryngés.

## 6. Bibliographie

1. SPF. Survie des personnes atteintes de cancer en France métropolitaine 1989-2018 - Larynx . Disponible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr/import/survie-des-personnes-atteintes-de-cancer-en-france-metropolitaine-1989-2018-larynx>
2. Ciolofan Ms, Vlaescu An, Mogoanta Ca, Ionita A, Ionita I, Capitanescu An, et al. Histological and Immunohistochemical Evaluation of Larynx Cancer. *Curr Health Sci J.* 2017;43(4):367-75.
3. Johnson DE, Burtness B, Leemans CR, Lui VWY, Bauman JE, Grandis JR. Head and neck squamous cell carcinoma. *Nat Rev Dis Primer.* 26 nov 2020;6(1):92.
4. Barsouk A, Aluru JS, Rawla P, Saginala K, Barsouk A. Epidemiology, Risk Factors, and Prevention of Head and Neck Squamous Cell Carcinoma. *Med Sci Basel Switz.* 13 juin 2023;11(2):42.
5. Liberale C, Soloperto D, Marchioni A, Monzani D, Sacchetto L. Updates on Larynx Cancer: Risk Factors and Oncogenesis. *Int J Mol Sci.* 18 août 2023;24(16):12913.
6. Sánchez Barrueco A, González Galán F, Lora Pablos D, Villacampa Aubá JM, Ballestín Carcavilla C, Cenjor Español C, et al. HPV in Larynx Squamous Cell Carcinoma: New Serotypes and Survival Study within 10-Year Follow-up. *Otolaryngol Neck Surg.* avr 2017;156(4):677-82.
7. Société Française d'Oto-Rhino-Laryngologie. Recommandation pour la pratique clinique : Bilan préthérapeutique des carcinomes épidermoïdes des VADS. Disponible sur : [https://www.sforl.org/wp-content/uploads/2020/02/Referentiel\\_Bilan\\_pretherapeuthique\\_VADS\\_2012.pdf](https://www.sforl.org/wp-content/uploads/2020/02/Referentiel_Bilan_pretherapeuthique_VADS_2012.pdf)
8. Henrot P, Blum A, Toussaint B, Troufleau P, Stines J, Roland J. Dynamic Maneuvers in Local Staging of Head and Neck Malignancies with Current Imaging Techniques: Principles and Clinical Applications. *RadioGraphics.* sept 2003;23(5):1201-13.

9. Anatomie descriptive, endoscopique et radiologique du larynx. Disponible sur: <https://www-clinicalkey-com.ressources-electroniques.univ-lille.fr/student/content/emc/51-s2.0-S024603512083832X#hl0000559>
10. Suojanen JN, Mukherji SK, Wippold FJ. Spiral CT of the larynx. *AJNR Am J Neuroradiol.* sept 1994;15(8):1579-82.
11. Frédérique Dubrulle, François Bidault, Dominique Chevalier. Imagerie en oncologie du larynx et de l'hypopharynx. 2021. Disponible sur : <https://www.em-consulte.com/article/184549/imagerie-en-cancerologie-du-larynx-et-de-lhypophar>
12. Jönsson G. A Method for Röntgen Examination of the Hypopharynx and Upper Air Passages. *Acta Radiol.* 1 mars 1934;os-15(2):125-8.
13. Ait Idir M, Trinh JM, Chanson A, Salleron J, Henrot P. Impact of systematic dynamic maneuvers during computed tomography scan on the T classification of head and neck cancers. *Clin Imaging.* 18 nov 2023;105:110023.
14. Référentiel-régional-VADS-VF. Disponible sur: <https://www.onco-hdf.fr/app/uploads/2019/11/R%C3%A9f%C3%A9rentiel-r%C3%A9gional-VADS-VF.pdf>
15. AK EN, JKC C, JR G, T T, PJ S. WHO Classification of Head and Neck Tumours. Disponible sur: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Who-Classification-Of-Tumours/WHO-Classification-Of-Head-And-Neck-Tumours-2017>
16. referentiel\_cancer\_orl2006.pdf. Disponible sur: [https://www.sforl.org/wp-content/uploads/2020/02/referentiel\\_cancer\\_orl2006.pdf](https://www.sforl.org/wp-content/uploads/2020/02/referentiel_cancer_orl2006.pdf)
17. Pointreau Y, Lafond C, Legouté F, Trémolières P, Servagi-Vernat S, Giraud P, et al. Radiothérapie des cancers du larynx. *Cancer/Radiothérapie.* 1 sept 2016;20:S131-5.
18. Brady JS, Marchiano E, Kam D, Baredes S, Eloy JA, Park RCW. Survival Impact of Initial Therapy in Patients with T1-T2 Glottic Squamous Cell Carcinoma. *Otolaryngol--Head Neck Surg Off J Am Acad Otolaryngol-Head Neck Surg.* août 2016;155(2):257-64.

19. O'Hara J, Markey A, Homer JJ. Transoral laser surgery versus radiotherapy for tumour stage 1a or 1b glottic squamous cell carcinoma: systematic review of local control outcomes. *J Laryngol Otol.* août 2013;127(8):732-8.
20. Jones TM, De M, Foran B, Harrington K, Mortimore S. Laryngeal cancer: United Kingdom National Multidisciplinary guidelines. *J Laryngol Otol.* mai 2016;130(S2):S75-82.
21. Tatsugami F, Higaki T, Nakamura Y, Honda Y, Awai K. Dual-energy CT: minimal essentials for radiologists. *Jpn J Radiol.* juin 2022;40(6):547-59.
22. McCollough CH, Leng S, Yu L, Fletcher JG. Dual- and Multi-Energy CT: Principles, Technical Approaches, and Clinical Applications. *Radiology.* sept 2015;276(3):637-53.
23. Goo HW, Goo JM. Dual-Energy CT: New Horizon in Medical Imaging. *Korean J Radiol.* 2017;18(4):555-69.
24. Dubrulle F. Apport de l'imagerie spectrale en cancérologie des VADS. Disponible sur : [https://sfccf.org/wp-content/uploads/2022/Congres%20SFCCF\\_F.%20Dubrulle\\_Le%20scanner%20spectral%20quel%20rôle%20en%20cancérologie%20des%20VADS.pdf](https://sfccf.org/wp-content/uploads/2022/Congres%20SFCCF_F.%20Dubrulle_Le%20scanner%20spectral%20quel%20rôle%20en%20cancérologie%20des%20VADS.pdf)
25. Forghani R. An update on advanced dual-energy CT for head and neck cancer imaging. *Expert Rev Anticancer Ther.* juill 2019;19(7):633-44.
26. Wang P, Tang Z, Xiao Z, Wu L, Hong R, Wang J. Dual-energy CT for differentiating early glottic squamous cell carcinoma from chronic inflammation and leucoplakia of vocal cord: comparison with simulated conventional 120 kVp CT. *Clin Radiol.* mars 2021;76(3):238.e17-238.e24.
27. Kuno H, Sakamaki K, Fujii S, Sekiya K, Otani K, Hayashi R, et al. Comparison of MR Imaging and Dual-Energy CT for the Evaluation of Cartilage Invasion by Laryngeal and Hypopharyngeal Squamous Cell Carcinoma. *AJNR Am J Neuroradiol.* mars 2018;39(3):524-31.

28. Kuno H, Onaya H, Iwata R, Kobayashi T, Fujii S, Hayashi R, et al. Evaluation of cartilage invasion by laryngeal and hypopharyngeal squamous cell carcinoma with dual-energy CT. *Radiology*. nov 2012;265(2):488-96.
29. Goullioud M. THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE : Performance du scanner spectral à double détection versus scanner conventionnel pour l'évaluation de l'invasion cartilagineuse des carcinomes pharyngolaryngés. 2024.
30. Yamauchi H, Buehler M, Goodsitt MM, Keshavarzi N, Srinivasan A. Dual-Energy CT-Based Differentiation of Benign Posttreatment Changes From Primary or Recurrent Malignancy of the Head and Neck: Comparison of Spectral Hounsfield Units at 40 and 70 keV and Iodine Concentration. *AJR Am J Roentgenol*. mars 2016;206(3):580-7.
31. Zhang H, Zou Y, Tian F, Li W, Ji X, Guo Y, et al. Dual-energy CT may predict post-operative recurrence in early-stage glottic laryngeal cancer: a novel nomogram and risk stratification system. *Eur Radiol*. mars 2022;32(3):1921-30.
32. Bahig H, Lapointe A, Bedwani S, De Guise J, Lambert L, Filion E, et al. Dual-energy computed tomography for prediction of loco-regional recurrence after radiotherapy in larynx and hypopharynx squamous cell carcinoma. *Eur J Radiol*. janv 2019;110:1-6.

## 7. Annexes

T : Tumeur primitive	
T1	Tumeur limitée à la sous-glottite avec mobilité normale des cordes vocales
T2	Tumeur envahissant la muqueuse de plus d'une sous-localisation de l'étage sus-glottique ou glottique ou extra-glottique (muqueuse de la base de la langue, vallécule, paroi interne du sinus piriforme) sans fixation du larynx
T3	Tumeur limitée au larynx avec fixation glottique et/ou envahissement des régions suivantes : régions rétro-cricoïdienne, espace pré-épiglottique, espace para-glottique et/ou corticale interne du cartilage thyroïde
T4a	Tumeur envahissant le cartilage cricoïde ou le cartilage thyroïde et/ou les tissus extra-laryngés, c'est-à-dire la trachée, les tissus mous du cou notamment, la musculature profonde ou extrinsèque de la langue (généoglosse, hyoglosse, palatoglosse et stylo-glosse), les muscles sous-hyoïdiens, la thyroïde ou l'œsophage
T4b	Tumeur envahissant l'espace prévertébral, les structures médiastinales ou englobant l'artère carotide
N : Adénopathies régionales	
N0	Aucun signe d'atteinte des ganglions lymphatiques régionaux
N1	Métastases dans un seul ganglion lymphatique homolatéral $\leq 3$ cm dans son plus grand axe, sans signe de rupture capsulaire
N2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- N2a : métastase dans un seul ganglion lymphatique homolatéral <math>&gt; 3</math> cm mais <math>\leq 6</math> cm de grand axe, sans signe de rupture capsulaire</li> <li>- N2b : métastases homolatérales multiples toutes <math>\leq 6</math> cm de grand axe, sans signe de rupture capsulaire</li> <li>- N2c : métastases bilatérales ou controlatérales <math>\leq 6</math> cm de grand axe, sans signe de rupture capsulaire</li> </ul>
N3a	Métastase dans un ganglion lymphatique $> 6$ cm de grand axe, sans signe de rupture capsulaire
N3b	Métastase dans un ou plusieurs ganglions lymphatiques avec des signes cliniques de rupture capsulaire
M : Métastases à distance	
M0	Pas de métastase à distance
M1	Présence de métastase(s) à distance

**Annexe 1. Classification TNM 8<sup>ème</sup> édition des cancers de l'étage sus-glottique d'après UICC 2017.**

T : Tumeur primitive	
T1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- T1a : tumeur limitée à une corde vocale avec mobilité conservée, pouvant envahissement la commissure antérieure et/ou postérieure</li> <li>- T1b : tumeur envahissant les deux cordes vocales avec mobilité conservée, pouvant envahir la commissure antérieure et/ou postérieure</li> </ul>
T2	Tumeur étendue à la région sus-glottique et/ou sous-glottique et/ou avec diminution de la mobilité de la corde vocale
T3	Tumeur limitée au larynx avec fixation d'une corde vocale et/ou envahissement de l'espace para-glottique et/ou la cartilage interne du cartilage thyroïde (érosion)
T4a	Tumeur franchissant le cartilage thyroïde (lyse) et/ou s'étendant au-delà du larynx, dans l'une des structures suivantes : trachée, parties molles du cou (y compris les muscles profonds/extrinsèque de la langue, génio-glosse, hyo-glosse, palato-glosse et stylo-glosse), muscles sous-hyoïdiens, glande thyroïde, œsophage
T4b	Tumeur envahissant l'espace prévertébral, les structures médiastinales ou englobant l'artère carotide
N : Adénopathies régionales	
N0	Aucun signe d'atteinte des ganglions lymphatiques régionaux
N1	Métastases dans un seul ganglion lymphatique homolatéral $\leq 3$ cm dans son plus grand axe, sans signe de rupture capsulaire
N2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- N2a : métastase dans un seul ganglion lymphatique homolatéral <math>&gt; 3</math> cm mais <math>\leq 6</math> cm de grand axe, sans signe de rupture capsulaire</li> <li>- N2b : métastases homolatérales multiples toutes <math>\leq 6</math> cm de grand axe, sans signe de rupture capsulaire</li> <li>- N2c : métastases bilatérales ou controlatérales <math>\leq 6</math> cm de grand axe, sans signe de rupture capsulaire</li> </ul>
N3a	Métastase dans un ganglion lymphatique $> 6$ cm de grand axe, sans signe de rupture capsulaire
N3b	Métastase dans un ou plusieurs ganglions lymphatiques avec des signes cliniques de rupture capsulaire
M : Métastases à distance	
M0	Pas de métastase à distance
M1	Présence de métastase(s) à distance

**Annexe 2. Classification TNM 8<sup>ème</sup> édition des cancers de l'étage glottique d'après UICC 2017.**

T : Tumeur primitive	
T1	Tumeur limitée à la région sous-glottique
T2	Tumeur étendue à une (aux) corde(s) vocale(s) avec une mobilité normale ou diminuée
T3	Tumeur limitée au larynx avec fixation d'une corde vocale
T4a	Tumeur envahissant les cartilages thyroïde ou cricoïde et/ou s'étendant au-delà du larynx, dans l'une des structures suivantes : trachée, parties molles du cou (y compris les muscles profonds/extrinsèque de la langue, génio-glosse, hyo-glosse, palato-glosse et stylo-glosse), muscles sous-hyoïdiens, glande thyroïde, œsophage
T4b	Tumeur envahissant l'espace prévertébral, les structures médiastinales ou englobant l'artère carotide
N : Adénopathies régionales	
N0	Aucun signe d'atteinte des ganglions lymphatiques régionaux
N1	Métastases dans un seul ganglion lymphatique homolatéral $\leq 3$ cm dans son plus grand axe, sans signe de rupture capsulaire
N2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- N2a : métastase dans un seul ganglion lymphatique homolatéral <math>&gt; 3</math> cm mais <math>\leq 6</math> cm de grand axe, sans signe de rupture capsulaire</li> <li>- N2b : métastases homolatérales multiples toutes <math>\leq 6</math> cm de grand axe, sans signe de rupture capsulaire</li> <li>- N2c : métastases bilatérales ou controlatérales <math>\leq 6</math> cm de grand axe, sans signe de rupture capsulaire</li> </ul>
N3a	Métastase dans un ganglion lymphatique $> 6$ cm de grand axe, sans signe de rupture capsulaire
N3b	Métastase dans un ou plusieurs ganglions lymphatiques avec des signes cliniques de rupture capsulaire
M : Métastases à distance	
M0	Pas de métastase à distance
M1	Présence de métastase(s) à distance

**Annexe 3. Classification TNM 8<sup>ème</sup> édition des cancers de l'étage sous-glottique d'après UICC 2017.**

Patient inclus	Sexe	Âge	Statut OMS	Intoxication active lors de la RCP (tabac, tabac + alcool, aucune)	Sous-localisation du cancer laryngé	Mobilité laryngée lors de la consultation ORL	Classification cTN émise par l'ORL avant RCP	Classification cTN retenu après RCP avec lecture scannographique à double énergie	Extensions tumorales identifiées par le scanner spectral non mise en évidence par le bilan ORL	Traitement proposé à l'issu de la RCP
Patient 1	Homme	78 ans	1	Aucune	Glotte	Mobile	cT3N0	cT4aN1	- extension para-glottique - extension à la loge HTE - extension au cartilage thyroïde (lyse) - adénopathie jugulo-carotidienne droite	Laryngectomie totale, évidement cervical ganglionnaire bilatéral, radiothérapie adjuvante
Patient 2	Homme	68 ans	1	Aucune	Sus-glotte	Mobile	cT2N0	cT2N3b	- adénopathies cervicales bilatérales dont une en rupture capsulaire à gauche	Radiothérapie loco-régionale (contexte de cancer pulmonaire synchrone)
Patient 3	Homme	64 ans	0	Tabac + alcool	Glotte	Mobile	cT1aN0	cT1aN0		Radiothérapie laryngée
Patient 4	Homme	58 ans	1	Tabac	Glotte	Mobile	cT1bN0	cT3N0	- extension para-glottique	Protocole de préservation laryngée
Patient 5	Homme	86 ans	2	Aucune	Sus-glotte	Immobilité laryngée gauche	cT3N0	cT4aN3b	- extension glottique - extension sous-glottique - extension au cartilage thyroïdien (lyse) - adénopathie jugulo-carotidienne gauche en rupture capsulaire	Pharyngo-laryngectomie totale, évidement cervical ganglionnaire gauche, radiothérapie adjuvante
Patient 6	Homme	62 ans	0	Aucune	Glotte	Mobile	cT2N1	cT3N1	- extension para-glottique	Protocole de préservation laryngée
Patient 7	Homme	64 ans	1	Aucune	Sus-glotte	Immobilité laryngée droite	cT3N3b	cT4aN3b	- extension au cartilage thyroïde (lyse) - extension à la bouche de l'oesophage	Pharyngo-laryngectomie totale circulaire, évidement cervical ganglionnaire bilatéral, radiothérapie adjuvante
Patient 8	Homme	57 ans	0	Tabac	Glotte	Mobile	cT2N0	cT4aN2c	- extension sus-glottique - extension pré-laryngée antérieure (membrane crico-thyroïdienne) - extension à la loge HTE - adénopathies cervicales gauches	Laryngectomie totale, évidement cervical ganglionnaire bilatéral, radiothérapie adjuvante
Patient 9	Homme	49 ans	0	Aucune	Glotte	Mobile	cT1aN0	cT3N0	- extension sous-glottique - extension sus-glottique - extension à la loge HTE	Protocole de préservation laryngée
Patient 10	Femme	81 ans	1	Aucune	Sous-glotte	Immobilité laryngée droite	cT3N0	cT4aN0	- extension à la trachée	Laryngectomie totale, évidement cervical ganglionnaire bilatéral, radiothérapie adjuvante

#### Annexe 4. Description détaillée des patients inclus.

## These, conventionnel 1

Nom :  
Prénom :  
Date :

		oui	non
<b>Concernant l'extension locale</b>			
Atteinte corde vocale	commissure antérieure atteinte		
	commissure postérieure atteinte		
	atteinte des deux cordes vocales		
Extension sus-glottique ?			
Extension sous-glottique ?			
Extension para-glottique			
Extension à la loge HTE ?			
Extension à la base de langue ?			
Extension extra-laryngée ? (trachée, tissus mous du cou, musculature profonde ou extrinsèque de la langue (généioglosse, hyoglosse, palatoglosse et styloglosse), muscles sous-hyoïdiens, thyroïde ou l'œsophage)			
<b>Concernant l'atteinte cartilagineuse [1]</b> (en cas de multiples atteintes au niveau d'un même site anatomique, ne cocher que l'atteinte la plus évoluée)			
Cartilages thyroïdes	cartilage non atteint		
	condensation cartilagineuse		
	érosion cartilagineuse		
	lyse cartilagineuse		
Cartilages aryénoïdes	cartilage non atteint		
	condensation cartilagineuse		
	érosion cartilagineuse		
	lyse cartilagineuse		
Cartilage cricoïde	cartilage non atteint		
	condensation cartilagineuse		
	érosion cartilagineuse		
	lyse cartilagineuse		
<b>Concernant l'étude ganglionnaire [2]</b>			
Atteinte unilatérale			
Atteinte bilatérale			
Rupture capsulaire			
<b>Temps approximatif d'étude pour ce cas (en minutes)</b>			

Annexe 5. Questionnaires types pour l'étude des scanners conventionnel.

## These, spectral 1

Nom :  
Prénom :  
Date :

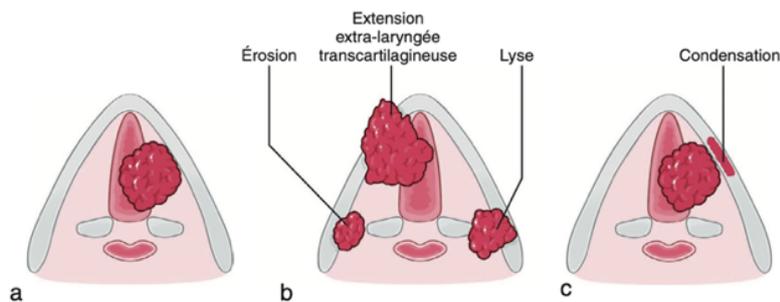
		oui	non
<b>Concernant l'extension locale</b>			
Atteinte corde vocale	commissure antérieure atteinte		
	commissure postérieure atteinte		
	atteinte des deux cordes vocales		
Extension sus-glottique ?			
Extension sous-glottique ?			
Extension para-glottique			
Extension à la loge HTE ?			
Extension à la base de langue ?			
Extension extra-laryngée ? (trachée, tissus mous du cou, musculature profonde ou extrinsèque de la langue (généoglosse, hyoglosse, palatoglosse et styloglosse), muscles sous-hyoïdiens, thyroïde ou l'œsophage)			
<b>Concernant l'atteinte cartilagineuse [1]</b> (en cas de multiples atteintes au niveau d'un même site anatomique, ne cocher que l'atteinte la plus évoluée)			
Cartilages thyroïdes	cartilage non atteint		
	condensation cartilagineuse		
	érosion cartilagineuse		
	lyse cartilagineuse		
Cartilages aryténoïdes	cartilage non atteint		
	condensation cartilagineuse		
	érosion cartilagineuse		
	lyse cartilagineuse		
Cartilage cricoïde	cartilage non atteint		
	condensation cartilagineuse		
	érosion cartilagineuse		
	lyse cartilagineuse		
<b>Concernant l'étude ganglionnaire [2]</b>			
Atteinte unilatérale			
Atteinte bilatérale			
Rupture capsulaire			
<b>Temps approximatif d'étude pour ce cas (en minutes)</b>			
<b>Les séquences spectrales facilitent-elle cette lecture scannographique selon vous ? (oui, non, ne sait pas)</b>			

**Annexe 6. Questionnaires types pour l'étude des scanners conventionnels avec séquences spectrales.**

## ANNEXES

[1] Définitions de l'atteinte cartilagineuse tirées du Chapitre Imagerie en cancérologie du larynx et de l'hypopharynx, rédigé par Frédérique Dubrulle, François Bidault et Dominique Chevalier (2019).

- **Condensation cartilagineuse** : la condensation des cartilages traduit la proximité tumorale avec le cartilage. En revanche, elle ne traduit l'envahissement tumoral dans le cartilage que dans 25 à 50 % des cas.
- **Érosion cartilagineuse** : les érosions cartilagineuses traduisent un début d'extension cartilagineuse.
- **Lyse cartilagineuse** : la lyse franche traduit une extension tumorale massive. Une lyse franche du cartilage est toujours un signe d'extension tumorale, tout comme une lyse avec une prise de contraste tumorale de part et d'autre du cartilage.



[2] Définition d'une adénopathie suspecte tirée du Chapitre Imagerie en cancérologie du larynx et de l'hypopharynx, rédigé par Frédérique Dubrulle, François Bidault et Dominique Chevalier (2019).

La présence d'adénopathies est considérée comme pathologique :

- ganglion de taille > 12mm de plus petit diamètre transverse au niveau jugulaires haut (aire IIA) et > 10mm dans les autres régions,
- ganglion hétérogène avec hypodensité centrale et prise de contraste périphérique évoquant une nécrose,
- perte du caractère ovale du ganglion.

Est considéré comme une adénopathie en rupture capsulaire, une adénopathie avec critères d'extension périganglionnaire :

- une infiltration de la graisse adjacente.
- une infiltration de la peau,
- une infiltration du muscle.

**Annexe 7. Annexes fournies aux participants concernant l'atteinte cartilagineuse et ganglionnaire.**

# 8. Table des illustrations

## 8.1. Figures

Figure 1: Champs d'étude en cancérologie du larynx.....	4
Figure 2 : Manoeuvre de phonation sur larynx normal en coupe coronale.....	5
Figure 3 : Manoeuvre de Valsalva sur larynx normal en coupe axiale.....	6
Figure 4. Schéma anatomique du larynx.....	6
Figure 5. Exemple de tumeur sus-glottique droite située au niveau de la bande ventriculaire.....	9
Figure 6. Exemple de tumeur de la corde vocale droite.....	10
Figure 7. Exemple de tumeur glotto-susglottique gauche.....	10
Figure 8. Exemple de tumeur glottique avec extension pré-laryngée antérieure.....	11
Figure 9. Exemple de tumeur glottique droite avec érosion du cartilage thyroïde.....	11
Figure 10 : Principes du scanner à double énergie.....	15
Figure 11. Variation du coefficient d'atténuation de matériaux (iode, eau, graisse) en fonction du niveau d'énergie en Kiloélectronvolt.....	15
Figure 12. Différentes méthodes d'acquisition des séquences spectrales en France.....	16
Figure 13. Exemple d'images monochromatiques virtuelles reconstruites à partir d'une tomodensitométrie spectrale dans le cadre d'un carcinome épidermoïde de la langue mobile droite.....	18

<b>Figure 14. Exemple d'images monochromatiques virtuelles reconstruites à partir d'une tomодensitométrie spectrale mettant en évidence une réduction des artéfacts dentaires.....</b>	<b>18</b>
<b>Figure 15. Exemple d'images monochromatiques virtuelles reconstruites à partir d'une tomодensitométrie spectrale dans le cadre d'un carcinome épidermoïde hypopharyngé droit.....</b>	<b>19</b>
<b>Figure 16. Exemple d'étude des coefficients d'atténuation en unité Hounsfield au niveau de zones d'intérêt (ROI) dans le cadre d'un carcinome épidermoïde de la langue mobile droite sur une image monochromatique virtuelle à basse énergie (40 KeV). ....</b>	<b>19</b>
<b>Figure 17. Exemple de cartographie de l'iode dans le cadre d'un carcinome épidermoïde de la langue mobile droite. ....</b>	<b>20</b>
<b>Figure 18. a) Scanner conventionnel en coupe axiale centré sur l'étage glottique. b) Scanner à basse énergie (40 KeV) en coupe axiale centré sur l'étage glottique. ....</b>	<b>41</b>
<b>Figure 19. a) Scanner conventionnel en coupe axiale centré sur l'étage glottique. b) Scanner à basse énergie (40 KeV) en coupe axiale centré sur l'étage glottique. ....</b>	<b>42</b>
<b>Figure 20 : a) Scanner conventionnel en coupe axiale centré sur l'étage glottique. b) Scanner à basse énergie (40 KeV) en coupe axiale centré sur l'étage glottique. ....</b>	<b>43</b>
<b>Figure 21 : a) Scanner conventionnel en coupe axiale centré sur le cartilage thyroïde. b) Scanner à basse énergie (40 KeV) en coupe axiale centré sur le cartilage thyroïde.....</b>	<b>43</b>

## 8.2. Tableaux

<b>Tableau 1</b> : Caractéristiques des cas inclus dans l'étude. ....	24
<b>Tableau 2</b> : Caractéristiques des observateurs participants à l'étude. ....	28
<b>Tableau 3</b> : Comparaison des notes obtenues pour l'interprétation des scanners conventionnels et des scanners avec séquences spectrales. ....	32
<b>Tableau 4</b> : Variations inter-individuelles des résultats. ....	34
<b>Tableau 5</b> : Étude des résultats en fonction du statut professionnel des observateurs. ....	35
<b>Tableau 6</b> : Étude des résultats en fonction de la sur-spécialité des observateurs. L'analyse statistique porte sur l'ensemble des interprétations scanographiques.....	36
<b>Tableau 7</b> : Étude des résultats en fonction de la sur-spécialité des observateurs. L'analyse statistique porte sur les interprétations scanographiques conventionnelles avec séquences spectrales . ....	36
<b>Tableau 8</b> : Étude des résultats en fonction de la pratique de la cancérologie des observateurs. L'analyse statistique porte sur l'ensemble des interprétations scanographiques. ....	37
<b>Tableau 9</b> : Étude des résultats en fonction de la pratique de la cancérologie des observateurs. L'analyse statistique porte sur les interprétations scanographiques conventionnelles avec séquences spectrales.....	38
<b>Tableau 10</b> : Classification cTN des cas étudiés avant et après RCP. ....	39

**AUTEURE : Nom : MALDONATO**

**Prénom : Clara**

**Date de soutenance : 04 Octobre 2024**

**Titre de la thèse : Étude de l'apport des séquences spectrales dans l'interprétation scanographique des carcinomes épidermoïdes pharyngolaryngés.**

**Thèse - Médecine - Lille 2024**

**Cadre de classement : Oto-rhino-laryngologie, oncologie**

**DES + FST/option : Oto-Rhino-Laryngologie et Chirurgie Cervico-Faciale**

**Mots-clés : « cancer laryngé », « carcinome épidermoïde », « scanner spectral », « scanner à double énergie », « scanner conventionnel »**

**Contexte :** Chaque année, le nombre de nouveaux cas de cancers laryngés en France est estimé à 2753 chez les hommes et 407 chez les femmes. Le bilan pré-thérapeutique, basé sur l'endoscopie et l'imagerie, est primordial afin de proposer au patient le traitement le plus adapté. La littérature s'accorde pour dire que le scanner à double énergie présente un intérêt majeur dans l'évaluation diagnostique et topographique des cancers ORL. L'objectif principal de cette étude est de comparer l'interprétation scanographique avec séquences spectrales par rapport à l'interprétation scanographique conventionnelle seule dans l'évaluation de l'extension loco-régionale des carcinomes épidermoïdes pharyngolaryngés.

**Matériels et Méthodes :** Au cours de cette étude, chacun des 16 ORL participant a étudié les scanners de dix patients présentant un carcinome épidermoïde laryngé, afin d'évaluer leur extension loco-régionale. Cette étude était divisée en deux temps : dans un premier temps, la lecture des scanners conventionnels pour chacun des dix patients puis dans un second temps, la lecture des scanners conventionnels avec séquences spectrales à basse énergie pour chacun des dix mêmes patients. Chaque lecture s'accompagnait du remplissage d'un questionnaire dédié qui avait pour but d'analyser précisément l'extension locale, cartilagineuse et ganglionnaire du cancer laryngé.

**Résultats :** La note totale moyenne obtenue était de  $18,7 \pm 2,5$  sur 24 pour l'analyse scanographique conventionnelle et de  $18,8 \pm 2,6$  sur 24 pour l'analyse scanographique avec séquences spectrales. Les résultats d'interprétation obtenus entre les deux types de scanners ne différaient pas de manière significative ( $p$  value = 0,48). Cependant, la taille de l'effet était de 0,15 ce qui signifie que les notes recueillies dans l'analyse scanographique avec séquences spectrales ont tendance à être plus élevées que celles recueillies dans l'analyse scanographique conventionnelle seule.

**Conclusion :** Notre étude concernant l'apport des séquences spectrales dans l'interprétation scanographique des carcinomes épidermoïdes pharyngolaryngés n'a pas mis en évidence de différence significative comparativement à l'analyse scanographique conventionnelle seule.

**Composition du Jury :**

**Président :**

**Monsieur le Professeur Dominique CHEVALIER**

**Assesseurs :**

**Monsieur le Professeur Geoffrey MORTUAIRE**

**Madame le Docteur Frédérique DUBRULLE**

**Monsieur le Docteur François MOUAWAD**

**Directeur de thèse :**

**Monsieur le Docteur Martin MORISSE**