



UNIVERSITÉ DE LILLE
FACULTÉ DE MÉDECINE HENRI WAREMBOURG
Année : 2024

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 pharyngo-laryngés**

Présentée et soutenue publiquement le 19 avril 2024 à 18h
au Pôle Formation
par **Marie GOULLIoud**

JURY

Président :

Monsieur le Professeur Dominique CHEVALIER

Assesseurs :

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. »

LISTE DES ABRÉVIATIONS

CE : Carcinome épidermoïde

CHU : Centre Hospitalier Universitaire

CT : Computed Tomography

HTE : Hyo-thyro-épiglottique

IC : Intervalle de confiance

INCa : Institut National du Cancer

IRM : Imagerie par résonance magnétique

KeV : Kiloélectronvolt

KV : Kilovolt

LT : Laryngectomie totale

PLT : Pharyngo-laryngectomie totale

PLTC : Pharyngo-laryngectomie totale circulaire

RCP : Réunion de Concertation Pluridisciplinaire

Se : Sensibilité

Sp : Spécificité

TDM : Tomodensitométrie

TNM : Tumor Node Metastasis

VADS : Voies aéro-digestives supérieures

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1. CANCERS DU LARYNX ET DE L'HYPOPHARYNX	1
2. EXPLORATION RADIOLOGIQUE	5
2.1. SCANNER CONVENTIONNEL.....	6
2.2. SCANNER SPECTRAL A DOUBLE DETECTION	7
3. TRAITEMENT DES CARCINOMES ÉPIDERMOÏDES DU PHARYNGO-LARYNX.....	10
4. RATIONNEL DE L'ÉTUDE	12
MATERIEL ET METHODES	13
1. DESCRIPTION DE L'ÉTUDE ET DE LA POPULATION	13
2. PROTOCOLE D'ACQUISITION D'IMAGERIE TDM	14
2.1. SCANNER CONVENTIONNEL.....	14
2.2. SCANNER SPECTRAL A DOUBLE DETECTION	14
3. ANALYSE DES DONNÉES RADIOLOGIQUES	15
4. ANALYSE HISTOLOGIQUE.....	16
5. ANALYSE STATISTIQUE	16
RÉSULTATS	18
1. CARACTÉRISTIQUES DE LA POPULATION	18
2. PERFORMANCES DIAGNOSTIQUES	20
2.1. SENSIBILITE ET SPECIFICITE DE CHAQUE SCANNER.....	20
2.2. CORRELATION ENTRE DOUTE DIAGNOSTIQUE ET HISTOLOGIE	22
DISCUSSION.....	24
CONCLUSION	33
BIBLIOGRAPHIE	34
TABLE DES FIGURES.....	38
TABLE DES TABLEAUX.....	39
ANNEXE.....	40

INTRODUCTION

1. Cancers du larynx et de l'hypopharynx

Les cancers des voies aéro-digestives supérieures (VADS) sont classés au 5^e rang des cancers les plus fréquents chez l'homme et au 10^e rang chez la femme (1). Le type histologique largement dominant est le carcinome épidermoïde (CE) qui dans 20% des cas se développe au dépend du larynx et dans 15% de l'hypopharynx selon les données de l'INCa (2). À ce jour, la survie à 5 ans du cancer du larynx est de 59% chez l'homme et 61% chez la femme ; pour le cancer de l'hypopharynx elle est respectivement de 26% chez l'homme et 28% chez la femme (3,4). Il s'agit d'un réel problème de santé publique et d'un enjeu quant à leur prise en charge en pratique clinique.

Le pharyngo-larynx constitue le carrefour entre les voies respiratoires et digestives, il participe activement aux fonctions de phonation, déglutition et respiration. Il est important d'en connaître l'anatomie pour pouvoir décrire et classer l'extension locale des cancers (Figures 1 et 2).

Les CE endo-laryngés se propagent localement depuis leur point de départ pouvant être glottique, supra ou sous-glottique, vers les autres espaces laryngés. Des zones de faiblesses anatomiques favorisent cette propagation, il s'agit de l'épiglotte vers la loge HTE, du ligament thyro-épiglottique, de la commissure antérieure vers le cartilage thyroïde, des ventricules laryngés, de la membrane crico-thyroïdienne et de l'espace para-glottique donnant accès aux cartilages thyroïde et cricoïde (5).

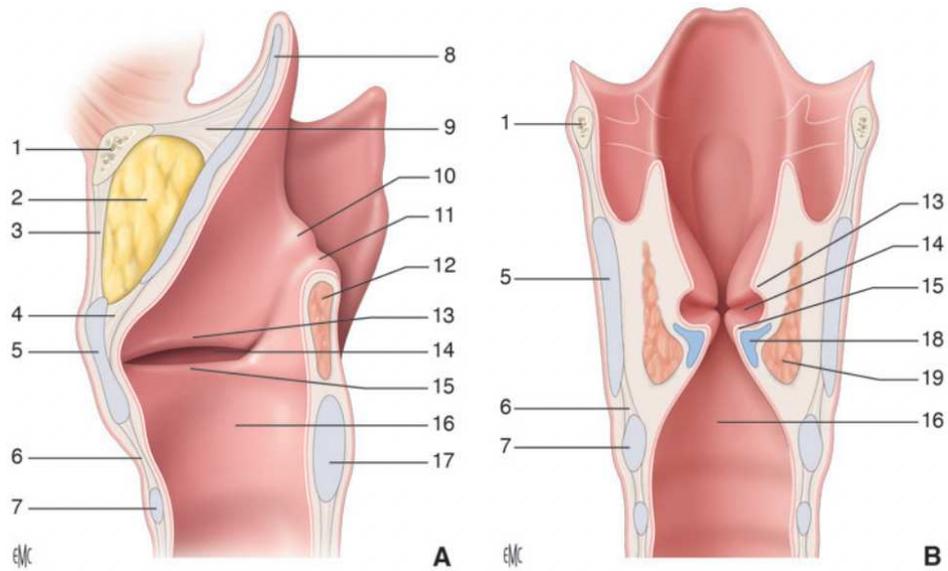


Figure 1 - Larynx en coupes sagittale (A) et frontale (B) : 1. Os hyoïde ; 2. loge hyo-thyro-épiglottique ; 3. membrane thyro-hyoïdienne ; 4. ligament thyro-épiglottique ; 5. cartilage thyroïde ; 6. membrane cricothyroïdienne ; 7. arc du cartilage cricoïde ; 8. cartilage épiglottique ; 9. ligament hyo-épiglottique ; 10. repli ary-épiglottique ; 11. relief du cartilage aryténoïde ; 12. m. aryténoïdien ; 13. pli vestibulaire ; 14. ventricule ; 15. pli vocal ; 16. espace sous-glottique ; 17. lame du cartilage cricoïde ; 18. ligament vocal ; 19. m. thyro-aryténoïdien.
 Issu de l'article Anatomie descriptive, endoscopique et radiologique du larynx - EMC

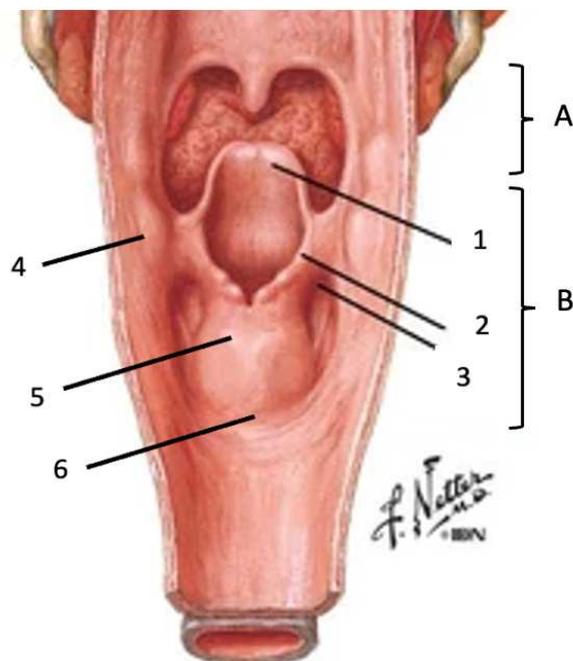


Figure 2 – Pharynx en vue postérieure : A. Oropharynx ; B. Hypopharynx 1. Épiglote ; 2. Margelle laryngée ; 3. Sinus piriforme droit ; 4. relief de la grande corne du cartilage thyroïde ; 5. Relief du bord postérieur du cricoïde ; 6. Bouche œsophagienne.
 Issu de l'Atlas d'anatomie humaine de Netter

Les cartilages du larynx sont au nombre de 5, les cartilages thyroïde et cricoïde assurent le soutien de l'organe, tandis que les deux cartilages aryténoïdiens et l'épiglotte sont des cartilages fonctionnels (Figure 3). Le thyroïde et cricoïde font barrière à l'extension tumorale mais peuvent être atteints dans les cancers localement avancés (5).

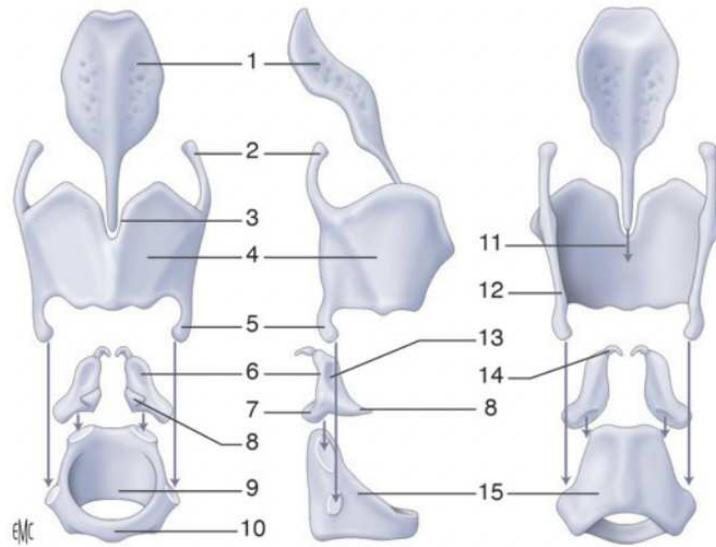


Figure 3 - Principaux cartilages laryngés dissociés en vues antérieure, latérale et postérieure : 1. Cartilage épiglottique ; 2. corne supérieure du cartilage thyroïde ; 3. incisure thyroïdienne supérieure ; 4. cartilage thyroïde ; 5. corne inférieure du cartilage thyroïde ; 6. cartilage aryténoïde ; 7. processus musculaire ; 8. processus vocal ; 9. lame du cartilage cricoïde ; 10. arc du cartilage cricoïde ; 11. angle rentrant du cartilage thyroïde ; 12. bord postérieur du cartilage thyroïde ; 13. fossette oblongue du cartilage aryténoïde ; 14. cartilage corniculé ; 15. Cartilage cricoïde. Issu de l'article Anatomie descriptive, endoscopique et radiologique du larynx - EMC

Étant donné le rapport étroit de l'hypopharynx avec le larynx, les carcinomes hypopharyngés de formes avancées peuvent s'étendre vers l'endo-larynx par la margelle laryngée, la membrane crico-thyroïdienne ou directement par les cartilages thyro et cricoïdiens s'ils sont au contact et les envahissent (6).

Le diagnostic de CE est confirmé par l'analyse histologique sur une biopsie réalisée au cours d'une endoscopie sous anesthésie générale ou en naso-fibroscopie vigile via un canal opérateur. Le bilan d'extension loco-régional doit comporter une imagerie par scanner cervical injecté et une pan-endoscopie des VADS sous anesthésie générale (Figure 4). Ces deux examens sont complémentaires pour décrire le plus précisément les limites de la tumeur (7,8).

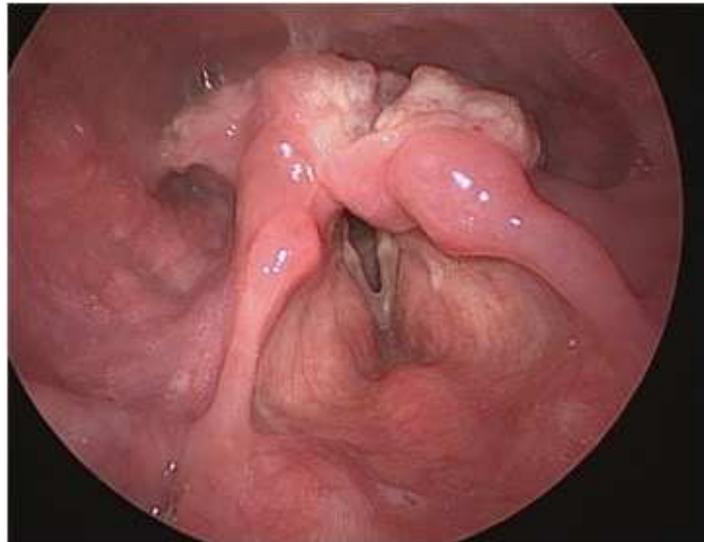


Figure 4 – Image d'endoscopique d'un carcinome T4 de la région rétro-crico-aryténoïdienne (hypopharynx), avec l'aimable accord du Dr. F.Mouawad et le consentement du patient.

Ce bilan permettra de classer la tumeur selon la TNM (Tumor, Node, Metastasis), indispensable pour la décision thérapeutique (Annexe). Parmi les critères permettant cette classification, l'existence d'une invasion des cartilages thyroïde et/ou cricoïde est décisive. Effectivement une atteinte dépassant la corticale interne pour un CE du larynx ou toute atteinte d'un de ces cartilages pour un CE de l'hypopharynx, classe la lésion au stade T4 de la TNM et va donc modifier la prise en charge (9).

Il paraît alors primordial de disposer des meilleurs outils diagnostiques pour adapter au mieux, selon l'extension, la thérapeutique de ces cancers.

2. Exploration radiologique

À ce jour, le scanner (TDM) est l'examen de référence pour l'étude anatomique du pharyngo-larynx (7). Bien qu'irradiant, il s'agit d'un examen accessible, rapide et peu coûteux, permettant l'obtention d'images de qualité grâce à l'injection de produit de contraste et la réalisation d'acquisitions en manœuvres dynamiques (10). Les acquisitions en phonation explorent les plis vocaux par leur mise en tension. La manœuvre d'hyperpression à glotte fermée (manœuvre de Valsalva) permet l'ouverture et donc l'étude des différentes cavités virtuelles du pharyngo-larynx, notamment les sinus piriformes et les ventricules laryngés, comme illustré par la Figure 5 (11).

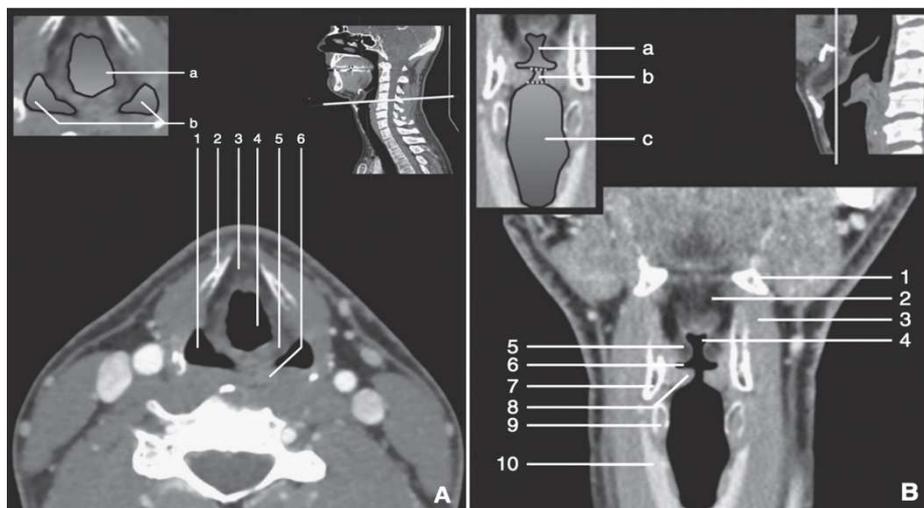


Figure 5 – Anatomie radiologique du pharyngo-larynx en TDM

A. Coupe axiale à l'étage supraglottique : a. lumière glottique, b. hypopharynx ; 1. récessus piriforme, 2. cartilage thyroïde (partiellement calcifié), 3. espace préépiglottique, 4. vestibule laryngé, 5. pli vestibulaire, 6. région rétro-pharyngée

B. Coupe frontale en phonation : a. étage supraglottique, b. étage glottique, c. étage infraglottique ; 1. os hyoïde, 2. espace préépiglottique, 3. muscle infrahyoïdien, 4. vestibule laryngé, 5. pli vocal, 6. cartilage thyroïde, 7. pli vocal, 8. pli vocal, 9. cartilage cricoïde, 10. thyroïde.

Issus de l'article Imagerie du larynx et de l'hypopharynx normale : technique et résultats - EMC

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) peut être réalisée en deuxième intention. Elle apporte une meilleure caractérisation tissulaire mais est très sensible aux artéfacts de mouvement rendant donc plus délicate la réalisation et l'interprétation d'image du pharyngo-larynx, organe spontanément mobile lors de la respiration et de la déglutition réflexe (10). Elle présente finalement un intérêt pour l'étude des cartilages laryngés, notamment non ossifiés, en complément du scanner conventionnel avec un potentiel risque de faux positif du fait de l'inflammation péri-tumorale (12).

2.1. Scanner conventionnel

En pratique courante l'imagerie TDM conventionnelle est employée dans le bilan diagnostique des cancers du pharyngo-larynx. Cette technique mesure l'atténuation moyenne des rayons X par les tissus traversés, indépendamment du niveau d'énergie du rayonnement. Il reste toutefois quelques limites à cet examen dont l'analyse des cartilages laryngés particulièrement en zone non ossifiée. Physiologiquement les cartilages thyroïdes et cricoïdes ont tendance à se calcifier, à partir de l'âge adulte, de manière très hétérogène et peu reproductible d'un patient à l'autre (11). Sur l'imagerie, les corticales calcifiées apparaissent alors hyperdenses et se différencient facilement des tissus adjacents sains ou tumoraux. À l'inverse en zone non ossifiée, la densité du cartilage en scanner conventionnel est très semblable à celle des tumeurs, même avec injection de produit de contraste. De ce fait, la présence d'un cartilage partiellement ou non calcifié au contact de la tumeur complique l'analyse d'une potentielle invasion (13,14).

2.2. Scanner spectral à double détection

Depuis 2005 se développe l'imagerie TDM spectrale à double énergie qui apporte des informations supplémentaires sur la nature des tissus en prenant en compte la variation d'atténuation des rayons X émis en fonction de leur énergie. L'atténuation par la matière est expliquée par l'action de deux principaux mécanismes physiques que sont l'effet photo-électrique et la diffusion de Compton. Ces derniers ont une intensité variable selon le niveau d'énergie du rayonnement : à basse énergie, l'effet photo-électrique est prédominant puis devient très faible à haute énergie rendant l'intervention de la diffusion de Compton majoritaire (Figure 6). L'effet photo-électrique varie aussi selon le numéro atomique des matériaux traversés, les atomes d'iode et de calcium, à haut numéro atomique, se différencient davantage par rapport aux autres éléments en basse énergie. En résulte par conséquent un panel d'images d'atténuations en unité Hounsfield plus large (15).

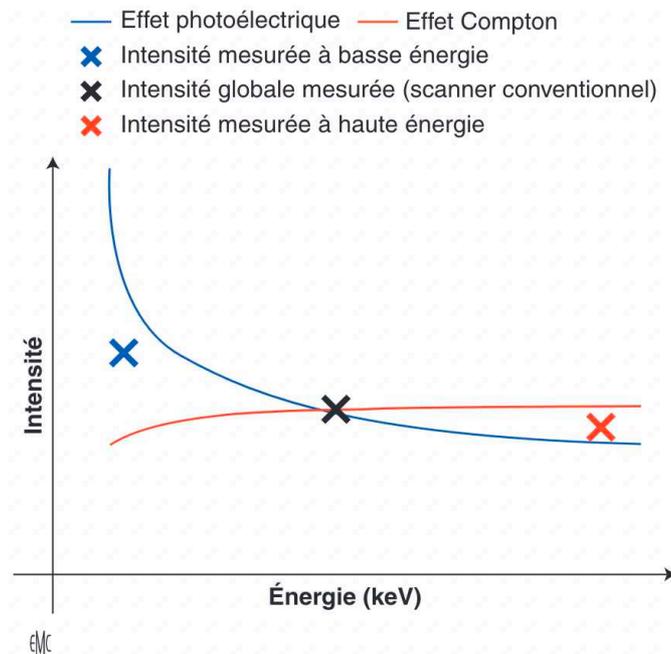


Figure 6 - Rationnel de l'imagerie spectrale à double énergie, Variation de l'intensité d'atténuation des deux mécanismes d'interaction avec la matière selon l'énergie des rayons X. Issus de l'article : Technique de tomодensitométrie spectrale double énergie et multiénergie à comptage photonique – EMC.

Le principe de la technique est alors de réaliser des acquisitions à deux énergies de rayons X (basse à 80 kV et haute à 140 kV) avec un résultat initial polychromatique, mêlant basse et haute énergies, équivalent au scanner standard simple énergie (16). Des techniques de reconstruction par extrapolation de ces données permettent ensuite de recréer l'atténuation des rayons à un large spectre de niveau d'énergie mais aussi d'établir des décompositions de la matière, par soustraction ou superposition, en isolant des matériaux au choix, comme les atomes d'iode injectés (15,17). Selon les machines, la distinction de ces deux énergies peut s'effectuer au niveau du tube émetteur, il s'agit alors du scanner à double émission d'énergie, ou au niveau de la détection s'agissant alors d'un scanner à double détection d'énergie (Figure 7).

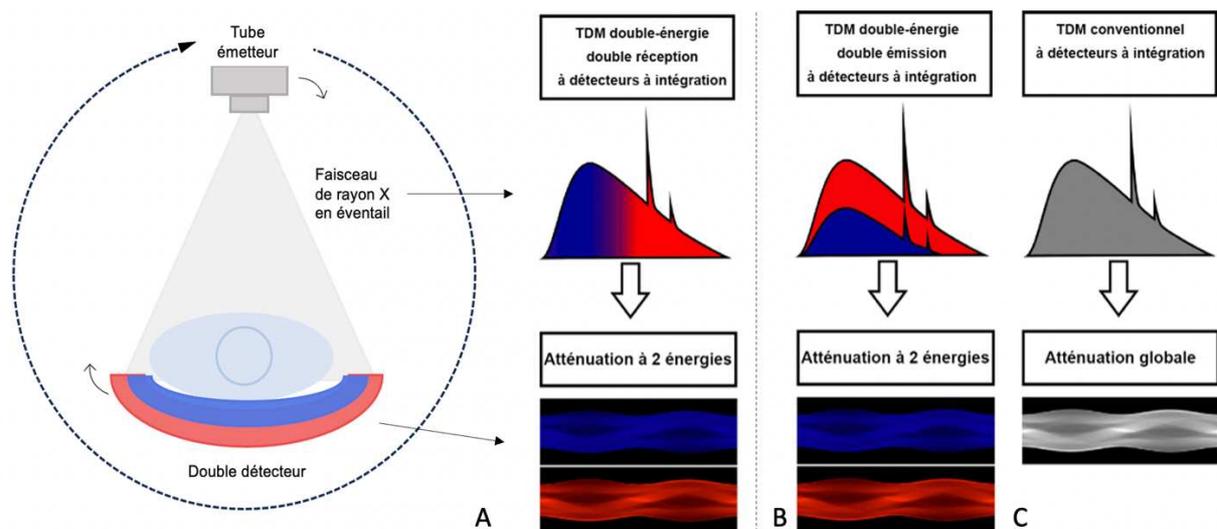


Figure 7 – Principe du scanner spectral double énergie et différence avec le scanner conventionnel, à partir des données de la Société Française de Radiologie & d'imagerie médicale.

En conséquence, un seul examen donne accès à plus de précision sur la composition de éléments étudiés tout en préservant l'analyse anatomique compétente du scanner conventionnel.

Appliqué à l'imagerie des VADS, il apparaît plusieurs axes d'améliorations potentiels. En reconstruction monochromatique à basse énergie, grâce à la meilleure détection des atomes d'iode, les tumeurs se réhaussent significativement plus que les tissus adjacents, notamment musculaires, par rapport à l'image polychromatique, avec un maximum à 40 keV (18,19). La mesure de la densité en iode (carte iode/densité iode) permet une mesure quantitative du rehaussement des tissus (20). En termes d'évaluation des cartilages cricoïdes et thyroïdes, d'après Forghani et al, en reconstruction à haute énergie, il existe une différence d'atténuation significative en unité Hounsfield entre l'infiltration tumorale cartilagineuse et le cartilage non ossifié, avec un maximum à partir de 95 KeV. L'atténuation à une énergie de 140 KeV est alors moins marquée en regard de la tumeur par rapport au cartilage sain non ossifié (Figure 8) (21).

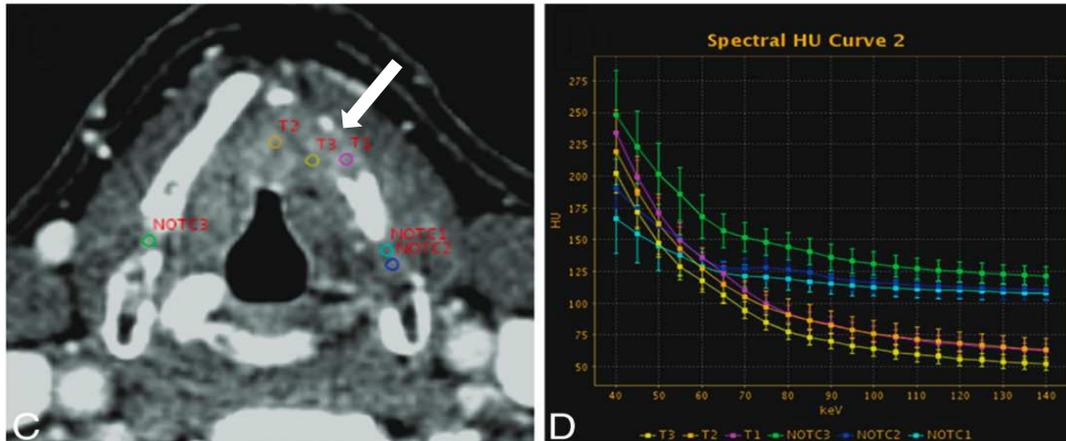


Figure 8 - Caractérisation quantitative de l'atténuation spectrale en unité Hounsfield de la tumeur et du cartilage non ossifié chez un patient présentant une invasion tumorale prouvée histologiquement, à 140 keV (C) l'atténuation par le tissu tumoral envahissant le cartilage (pointé par la flèche blanche) est plus faible qu'en regard du cartilage sain non ossifié (NOTC). Selon Forghani et al (21).

En 2021 un scanner spectral à double détection énergétique a été mis en place dans le service de radiologie ORL du CHU de Lille. Il est depuis employé en routine pour le bilan pré-thérapeutique des cancers des VADS.

3. Traitement des carcinomes épidermoïdes du pharyngo-larynx

Selon les résultats de ce bilan diagnostique, un projet de soin personnalisé est ensuite proposé à l'issue d'une RCP, tout en intégrant l'évaluation générale, nutritionnelle et psychologique du patient.

Les carcinomes de stade T1, sont accessibles à un traitement conservateur par radiothérapie seule ou par chirurgie, de type exérèse endoscopique ou partielle par voie externe. Les carcinomes T2 peuvent être accessibles à une chirurgie partielle endoscopique ou par voie externe, ou à une radiothérapie plus ou moins potentialisée (8).

Pour les carcinomes pharyngo-laryngés localement avancés, deux thérapeutiques à visée curative sont envisageables (Figure 9). En cas de stade T3 et si le patient est éligible, un protocole de préservation laryngée, consistant en une chimiothérapie d'induction puis radiothérapie, est proposé. Il ne sera poursuivi que si la tumeur régresse (>50%) après 2 ou 3 cures de chimiothérapie d'induction (22). En cas de stade T4 ou de contre-indication ou d'absence de réponse à ce protocole de préservation, la prise en charge repose sur la laryngectomie totale ou pharyngo-laryngectomie totale (circulaire en cas d'atteinte de la bouche œsophagienne) suivie d'une radio +/- chimiothérapie (8,22). Les pièces opératoires de LT et PLT sont ensuite envoyées en analyse histologique. L'extension tumorale aux différents espaces anatomiques dont les cartilages est décrite en macro puis microscopie, confirmant ou infirmant leur atteinte (Figure 10) (23).

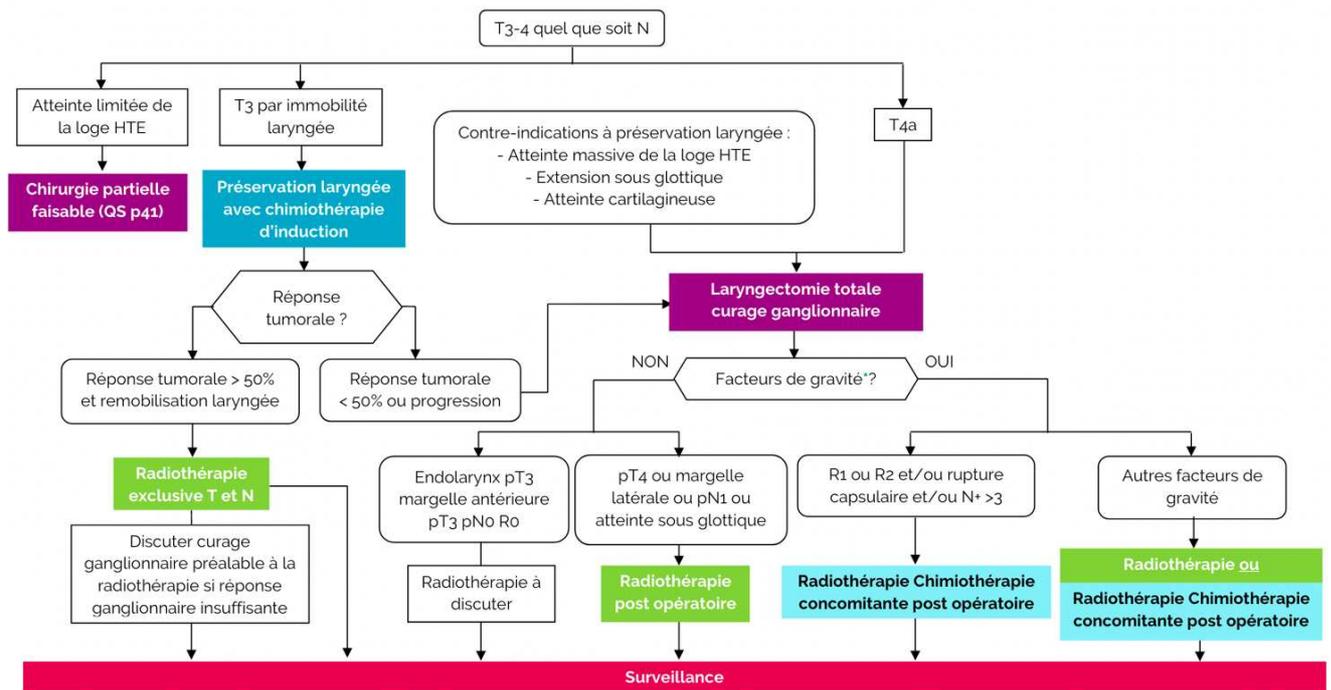


Figure 9 – Arbre décisionnel pour le traitement des CE du pharyngo-larynx, Issus du Référentiel régional de prise en charge des cancers VADS - 2019 – OncoHDF.

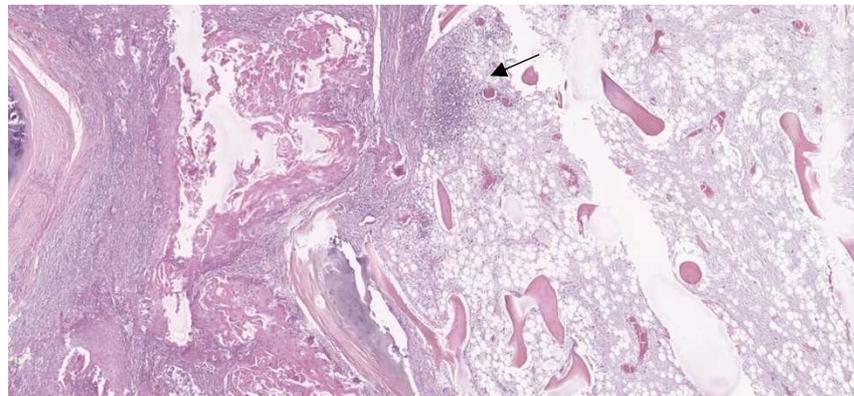


Figure 10 – Infiltration histologique du cartilage cricoïde par un carcinome épidermoïde, coloration Hématoxyline-Eosine-Safran sur lame d'une coupe obtenue après décalcification grossissement x2, avec l'aimable accord du Dr. A.Wacrenier et le consentement du patient.

L'exérèse totale du pharyngo-larynx est une chirurgie mutilante par les conséquences psychologiques et fonctionnelles, essentiellement phonatoire par sacrifice de l'organe principal de la voix mais aussi respiratoire, qu'elle engendre (24). La radiothérapie présente également de potentiels effets indésirables à moyen et long termes avec des risques d'altération de la déglutition parfois sévère, de radionécrose des cartilages laryngés ou de sténoses carotidiennes (25,26).

4. Rationnel de l'étude

Pour ces carcinomes localement avancés, la décision thérapeutique, entre radiochimiothérapie et chirurgie (LT/PLT) plus radiothérapie, repose sur une évaluation clinique, endoscopique et radiologique. Un des critères est l'existence d'une invasion cartilagineuse visualisée sur le bilan d'imagerie, contre indiquant alors la préservation laryngée. Il s'agit donc d'une information importante qui n'est cependant pas toujours aisée à déterminer en imagerie. La performance du scanner conventionnel rapportée dans la littérature pour cette évaluation varie selon les études de 57 à 85% pour la sensibilité et de 75 à 86% pour la spécificité (27–29).

Avec ses améliorations technologiques depuis son avènement, l'application en radiologie tête et cou du scanner spectral a été étudiée mais son efficacité pour le bilan pré-thérapeutique des tumeurs des VADS n'a pas été démontrée.

L'objectif de cette étude est d'analyser en pratique quotidienne la performance diagnostique du scanner à double détection spectrale pour l'étude de l'invasion cartilagineuse des carcinomes pharyngo-laryngés et de la comparer à celle du scanner conventionnel.

MATERIEL ET METHODES

1. Description de l'étude et de la population

Il s'agit d'une étude observationnelle rétrospective et monocentrique portant sur des données de soins courants. Le consentement des patients a été recueilli au préalable par un document signé avant la Réunion de Concertation Pluridisciplinaire, pour l'utilisation de leurs données à visée de recherche.

La population cible était l'ensemble des patients présentant un carcinome épidermoïde du larynx ou du pharynx traité par laryngectomie totale ou pharyngo-laryngectomie totale dont l'indication a été retenue en RCP au CHU de Lille.

Les indications opératoires, selon le référentiel régional étaient les suivantes (8) :

- Tumeur classée T4a
- Tumeur classée T3 avec contre-indication à la préservation laryngée (extension massive à la loge HTE, extension sous glottique >1cm, lyse cartilagineuse)
- Échec de réponse à la chimiothérapie d'induction
- Récidive locale et/ou régionale chez un patient déjà traité par radiothérapie.

Les patients ont tous été opérés par l'équipe d'ORL du CHU de Lille (30). Cette population a été sélectionnée à partir du logiciel de programmation des interventions chirurgicales (HM Bloc®) en entrant le mot clé « laryngectomie » sur la période d'octobre 2017 à décembre 2023. Les critères d'inclusion étaient d'avoir été traité par une LT ou PLT pour un CE pharyngo-laryngé et d'avoir bénéficié d'un scanner préopératoire dans le service d'imagerie ORL du CHU de Lille. Ont donc été exclus, les patients ayant réalisé leur bilan d'imagerie dans d'autres centres ainsi que toutes indications de laryngectomie ou pharyngo-laryngectomie autres que pour un CE. Les

données démographiques concernant l'âge, le sexe, le tabagisme, le TNM et la chirurgie réalisée ont été recueillies.

2. Protocole d'acquisition d'imagerie TDM

2.1. Scanner conventionnel

Avant l'année 2021, tous les bilans d'imageries pré-thérapeutiques réalisés dans le service de radiologie ORL du CHU de Lille, ont été effectués sur la même machine iCT 256-slice (Philips®). Le champ d'acquisition s'étendait du cavum à l'orifice médiastinale, une première acquisition était faite en respiration indifférenciée avec une injection de 90ml de produit de contraste iodé (IOMERON 350, Bracco Imaging). Une réinjection était faite avec 70ml de produit de contraste pour une acquisition en coupe fine puis en manœuvre de phonation et en Valsalva.

2.2. Scanner spectral à double détection

À partir de l'année 2021, tous les patients ayant réalisé leur bilan dans ce même service, ont bénéficié d'une imagerie spectrale avec injection sur la même machine iQon Spectral CT (Philips®), équipée d'un détecteur double couche. Le champ d'acquisition s'étendait du cavum à l'orifice médiastinal. Les paramètres d'acquisition étaient les suivants : pitch=0.45, coupes de 1mm, incrément à 0.5mm, temps de rotation à 0.75s. La source était soumise à une tension de 120kV et à une intensité de 250mAs. L'acquisition suivait une injection biphasique de produit de contraste iodé (IOMERON 350, Bracco Imaging) à l'aide d'un injecteur automatique, selon le protocole suivant : 60mL sur 50 secondes, puis une pause de 30 secondes avant un bolus de 30mL, précédant l'acquisition 15 secondes plus tard. Il existait donc une imprégnation initiale des tissus pendant 1min35s environ, puis une réinjection réalisant

un temps artériel. Enfin selon ce même protocole, étaient réalisées des acquisitions en manœuvres de phonation et en Vasalva (avec un pitch=0.8) puis en coupes fines de 9mm (avec un incrément à 4.5mm).

3. Analyse des données radiologiques

Toutes les imageries ont été interprétées par des radiologues du CHU de Lille spécialisés dans l'imagerie tête et cou. Après analyse de la tumeur et de sa délimitation précise, la description des cartilages était faite en fenêtre parties molles injectée puis en fenêtre osseuse pour le scanner conventionnel. En imagerie spectrale, cette première analyse était complétée par l'étude des reconstructions mono-énergétiques à 40 KeV et 200 KeV puis en densité iode notamment en cas de cartilage non ossifié. Le résultat de la description radiologique des cartilages thyroïdiens et cricoïdiens a été recueilli sur le compte rendu final selon le niveau de certitude du radiologue avec : « 0= cartilage sain, 1= condensation ou doute, 2= lyse certaine ». Ceci reflète la réalité de la pratique clinique puisque la description des cartilages n'est pas toujours évidente. Dans un deuxième temps, pour permettre la corrélation avec l'histologie définitive, la description des cartilages a été recueillie de manière binaire avec : « 0= pas d'envahissement ou 1= envahissement cartilagineux retenu ». Les situations de doute étaient alors reclassées comme « 1= envahissement cartilagineux » en cas d'érosion ou forte probabilité d'invasion décrite par le radiologue, et comme « 0= pas d'envahissement » en cas de cartilage plus probablement sain ou de condensation. La description des cartilages aryénoïdiens n'a pas été incluse dans l'étude puisque leur éventuelle atteinte carcinologique ne modifie pas la prise en charge et que leur description en histologie n'était pas systématique.

4. Analyse histologique

L'analyse histologique de la pièce opératoire servait de *gold standard* pour le diagnostic de l'invasion cartilagineuse. Toutes les analyses ont été réalisées dans le service d'anatomopathologie du CHU de Lille avec une description macroscopique de la pièce entière fixée au formol puis sur des coupes microscopiques sélectionnées après décalcification et inclusion en paraffine des tranches de section d'intérêt. La description cartilagineuse était recueillie sur la base du compte rendu final de manière binaire avec « 0= pas d'infiltration » ou « 1= infiltration cartilagineuse ».

5. Analyse statistique

Les données, issues du dossier informatisé des patients, ont été recueillies par un observateur puis anonymisées sur un tableur informatique type Excel® (Microsoft version 16.82). L'analyse statistique a été réalisée indépendamment par l'UMBD du CHU de Lille (Unité de Méthodologie, Biostatistiques et Data-management).

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. Les sujets ont été divisés en deux groupes selon le type de scanner effectué en bilan préopératoire avec, « groupe 1 = scanner spectral de 2021 à 2023 » et « groupe 2 = scanner conventionnel de 2017 à 2020 ». La comparabilité des groupes a été évaluée à l'aide du test du Chi-deux (ou du test exact de Fisher en cas d'effectif théorique < 5) pour les variables qualitatives et à l'aide du test t de Student (ou U de Mann-Whitney en cas de distribution non Gaussienne) pour les variables quantitatives. La sensibilité et la spécificité de chaque scanner pour le diagnostic

d'atteinte cartilagineuse par rapport à l'examen anatomopathologie (*gold standard*) ont été estimées avec leurs intervalles de confiance à 95%. Ces résultats ont été comparés entre les deux types de scanner à l'aide du test exact de Fisher. Les rapports de vraisemblance positifs et négatifs de chaque scanner ont été calculés. La sensibilité et la spécificité de chaque scanner pour le diagnostic d'atteinte par sous types de cartilage (thyroïde ou cricoïde) par rapport à l'examen anatomopathologique, ont été estimées avec leurs intervalles de confiance à 95%. 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).

RÉSULTATS

1. Caractéristiques de la population

D'octobre 2017 à décembre 2023 au CHU de Lille, 238 patients ont nécessité une LT ou PLT qui s'intégrait pour 224 (94%) d'entre eux dans le traitement d'un CE pharyngo-laryngé. Parmi eux, 97 (43,3%) ont réalisé leur bilan scanographique dans le service de radiologie du CHU de Lille, dont 56 (25%) sur le scanner à double détection spectrale (groupe 1) à partir de l'année 2021 et 41 (18,3%) sur le scanner conventionnel avant cette année (groupe 2).

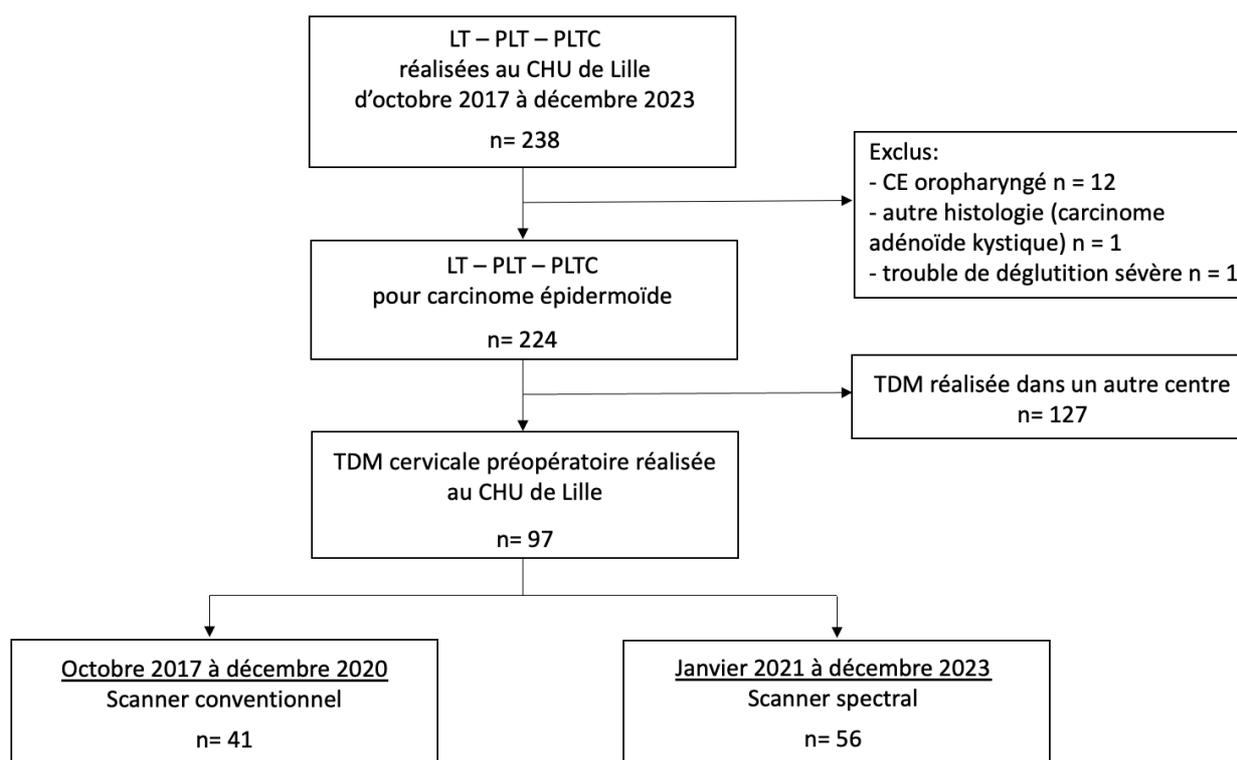


Figure 11 – Diagramme de flux de l'étude

Les caractéristiques démographiques de la population sont exposées dans le Tableau 1. Les résultats montrent une répartition homogène entre les deux groupes puisqu'il n'y avait pas de différence significative sur les variables relevées.

Au total, 62 (63,9%) patients présentaient un carcinome du larynx traité par LT, 35 (36,1%) présentaient un carcinome de l'hypopharynx dont 24 nécessitant une PLT et 11 une PLTC. Il s'agissait d'une chirurgie de rattrapage pour 23 patients (23,7%).

Tableau 1 – Description épidémiologique de la population étudiée

LT : Laryngectomie totale, PLT : Pharyngo-laryngectomie totale, PLTC : Pharyngo-laryngectomie totale circulaire

Variable	Total n= 97	Groupe		P-value
		Groupe 1 Scanner spectral n = 56	Groupe 2 Scanner conventionnel n = 41	
Sexe				
Homme	84 (86.6%)	46 (82.1%)	38 (92.7%)	0.13
Femme	13 (13.4%)	10 (17.9%)	3 (7.3%)	
Age (médiane +Q1,Q3)	65 (58 ; 71)	65.5 (58.5 ; 74)	64 (57 ; 70)	0.23
Tabagisme	92 (94.5%)	51 (91.1%)	41 (100%)	NA : effectif < 8
cT2	5 (5.2%)	2 (3.6%)	3 (7.3%)	NA : effectif < 8
cT3	30 (30.9%)	19 (33.9%)	11 (26.8%)	0.45
cT4	62 (63.9%)	35 (62.5%)	27 (65.9%)	0.73
Rattrapage	23 (23.7%)	16 (28.6%)	7 (17.1%)	0.19
LT	62 (63.9%)	35 (62.5%)	27 (65.9%)	0.73
PLT	24 (24.7%)	15 (26.8%)	9 (22.0%)	0.59
PLTC	11 (11.3%)	6 (10.7%)	5 (12.2%)	1.00

2. Performances diagnostiques

2.1. Sensibilité et spécificité de chaque scanner

Au sein des 56 patients du groupe 1 ayant bénéficié d'une imagerie spectrale, 33 présentaient une invasion cartilagineuse histologique confirmée sur la pièce opératoire, soit 58,9%. Cette atteinte avait été retenue en imagerie spectrale chez 30 d'entre eux, soit 53,6%, avec un nombre de faux négatifs de 3. Dans 5 cas une atteinte a été décrite à tort (faux positifs). La sensibilité du scanner à double détection spectrale pour le diagnostic d'invasion cartilagineuse par les CE, qu'elle soit thyroïdienne ou cricoïdienne, était alors de 91% (IC 0,8-1) et sa spécificité était de 78% (IC 0,61-0,95) (Tableau 2). Le rapport de vraisemblance positif était de 4,13 et le rapport de vraisemblance négatif de 0,24.

Dans le groupe 2, ayant bénéficié d'une imagerie conventionnelle, une invasion cartilagineuse histologique sur pièce a été retrouvée chez 25 patients soit 62,5% des 40 patients puisque des données étaient manquantes pour l'un d'eux. Cette atteinte avait été détectée en préopératoire sur l'imagerie pour 21 patients, soit 52,5% des patients, avec 4 faux négatifs et 5 cas de faux positifs. La sensibilité du scanner conventionnel pour la détection de l'invasion cartilagineuse thyroïdienne ou cricoïdienne était de 84% (IC 0,69-0,98) et sa spécificité de 67% (IC 0,42-0,9) (Tableau 2). Le rapport de vraisemblance positif était de 2,54 et le rapport de vraisemblance négatif de 0,39.

Nous n'avons pas retrouvé de différence significative entre la sensibilité du scanner spectral *versus* celle du scanner conventionnel ($p=0,45$), de même pour la spécificité ($p=0,47$).

Tableau 2 – Tableau de contingence entre la description des cartilages sur chaque scanner et l’histologie de la pièce opératoire

Les variables exprimées par ordre d’apparition en fréquence, pourcentage global, pourcentage par ligne, données histologiques manquantes pour 1 patient du groupe 2.

* sensibilité et ** spécificité avec leur intervalle de confiance IC à 95%.

Cartilage en histologie	Groupe 1 Cartilage en CT spectrale		Total	Groupe 2 Cartilage en CT conventionnel		Total
	envahi	sain		envahi	sain	
Invasion	30 53.6% 90.9%* (IC 0,8-1)	3 5.4% 9.1%	33 58.9%	21 52.5% 84.0%* (IC 0,69-0.98)	4 10.0% 16.0%	25 62.5%
Sain	5 8.9% 21.7%	18 32.14% 78.3%** (IC 0,61-0,95)	23 41.1%	5 12.5 % 33.0%	10 25.0% 66.8%** (IC 0,42-0,9)	15 37.5%
Total	35 62.5%	21 37.5%	56 100%	26 65.0%	14 35.0%	40 100%

En s’intéressant à la détection de l’invasion par sous type de cartilage (Tableau 3), nous retrouvons pour l’évaluation du cartilage thyroïde en spectral une sensibilité à 86% (IC 0,72-0,98) et une spécificité à 78% (IC 0,62-0,93). Concernant le cartilage cricoïde, la sensibilité était de 100% (IC 1-1) et la spécificité de 82% (IC 0,70-0,94).

De même les performances diagnostiques du scanner conventionnel par sous type de cartilage étaient, concernant le thyroïde, de 95% pour la sensibilité (IC 0,85-1) et de 75% pour la spécificité (IC 0,56-0,93). Concernant le cartilage cricoïde, la sensibilité était de 81% (IC 0,62-1) et la spécificité de 77% (IC 0,6-0,95).

Tableau 3 – Tableau de contingence entre la description des cartilages thyroïdes et cricoïdes indépendamment par rapport l’histologie définitive

Données histologiques manquantes de 2 cartilages thyroïdes et de 5 cricoïdes.

Imagerie / Histologie	VP	VN	FN	FP	Total	Se (%)	Sp (%)
Thyroïde							
• CT spectral	24	21	4	6	55	85.7 (IC 0.72-0.98)	77.8 (IC 0.62-0.98)
• CT conventionnel	19	15	1	6	40	95 (IC0.85-1)	75 (IC 0.56-0.93)
Cricoïde							
• CT spectral	14	33	0	7	54	100 (IC 1-1)	82.5 (IC 0.7-0.94)
• CT conventionnel	13	17	3	5	38	81.2 (IC 0.62-1)	77.3 (IC 0.59-0.94)

2.2. Corrélation entre doute diagnostique et histologie

En intégrant une variable de certitude dans l’interprétation des images scanographiques, les situations de doute ont été relevées dans 12 cas, soit 21,4%, en imagerie spectrale et dans 15 cas, soit 37,5%, en conventionnelle. Pour 7 patients (12,5%), une invasion existait réellement dans le groupe 1 et pour 8 patients (20%) dans le groupe 2 (Tableau 4).

Tableau 4 – Corrélation entre la description scanographique des cartilages intégrant la variable doute et l’histologie de la pièce

Variables exprimées en fréquence puis en pourcentage global.

Cartilage en histologie	Groupe 1 Invasion cartilage en CT spectrale			Total	Groupe 2 Invasion cartilage en CT conventionnel			Total
	certaine	doute	aucune		certaine	doute	aucune	
Invasion	26 46.4%	7 12.5%	0 0.0%	33 58.9%	17 42.5%	8 20%	0 0.0%	25 62.5%
Sain	2 3.6%	5 8.9%	16 28.6%	23 41.1%	2 5.0 %	7 17.5%	6 15%	15 37.5%
Total	28 50%	12 21.4%	16 28.6%	56 100%	19 47.5%	15 37.5%	6 15%	40 100%

La répartition des classements en « 1 ou 0 » pour ces situations de doute scanographique est exposée en fonction de l’histologie définitive pour chaque groupe dans le Tableau 5.

Tableau 5 – Corrélation entre le diagnostic retenu en cas de doute et l’histologie

Classé en « 1 » = cartilage au contact de la tumeur plus probablement atteint.

Classé en « 0 » = cartilage au contact de la tumeur plus probablement sain ou condensé.

Doute imagerie	Groupe 1			Groupe 2		
	Histologie		Total	Histologie		Total
	Invasion	Sain		Invasion	Sain	
Classé en « 1 »	4	3	7	4	3	7
Classé en « 0 »	3	2	5	4	4	8

DISCUSSION

La prise en charge des CE du pharyngo-larynx de stade localement avancé s'oriente vers deux possibilités que sont la radio-chimiothérapie seule, préservant le larynx, ou l'exérèse chirurgicale par laryngectomie/pharyngo-laryngectomie totale suivie d'une radio +/- chimiothérapie, sacrifiant la fonction de phonation. La décision du protocole de soin est adaptée au cas par cas selon l'état général du patient ainsi que l'extension tumorale dont la précision repose sur le bilan radio-clinique préalablement réalisé. Un des critères décisifs est l'existence d'une lyse du cartilage thyroïde ou cricoïde, contre-indiquant le traitement par radio-chimiothérapie (8). Il est alors important de bénéficier d'outils diagnostiques assez sensibles, pour ne pas risquer un échec du protocole de préservation avec les difficultés d'un traitement de rattrapage ; mais aussi suffisamment spécifiques pour éviter des chirurgies à tort. L'exploration de ces cartilages en radiologie n'est cependant pas toujours évidente notamment en cas de cartilage non ossifié (14). L'examen recommandé pour le bilan pré-thérapeutique de ces carcinomes est la TDM avec injection de produit de contraste (7). La performance de celle-ci, rapportée dans la littérature, pour diagnostiquer l'invasion cartilagineuse varie sensiblement ; elle oscille de 57 à 85% pour la sensibilité et de 75 à 86% pour la spécificité (27–29). La technologie en radiologie progressant, le développement de l'imagerie spectrale a fait suggérer une amélioration de l'exploration des CE des VADS dans les localisations pharyngo-laryngées. L'objectif de ce travail était alors de mesurer la performance diagnostique du scanner à double détection spectral utilisé au CHU de Lille depuis 2021, puis de la comparer à celle de l'imagerie conventionnelle précédemment employée au sein du même service de radiologie.

Aussi, nous avons obtenu une sensibilité pour le scanner à double détection spectral à 91% et une spécificité à 78%, pour tout cartilage confondu (respectivement de 86% et 78% pour le cartilage thyroïde puis de 100% et 82% pour le cricoïde). La sensibilité retrouvée pour le scanner conventionnel était de 84% et sa spécificité de 67% (respectivement de 95% et 75% pour le thyroïde et de 81% et 77% pour le cricoïde) ; ce qui est cohérent avec les données de la littérature (27–29). Le rapport de vraisemblance positif était plus élevé pour le scanner spectral mais le gain diagnostique restait modéré. Les rapports de vraisemblance négatifs des deux scanners étaient relativement proches. Ces performances sont toutes deux acceptables pour le diagnostic d'invasion cartilagineuse. Bien que les résultats pour le scanner spectral soient dans l'absolu supérieurs à ceux du scanner conventionnel, aucune différence statistiquement significative n'a été objectivée pour l'évaluation tout cartilage confondu dans notre étude.

Par ailleurs, la description scanographique des cartilages étant en pratique courante parfois incertaine, compliquant la décision thérapeutique, nous avons relevé les cas de doute rencontrés dans notre cohorte. De telles situations étaient moins fréquentes dans le groupe scanner spectral que dans le groupe scanner conventionnel. Toutefois, sous réserve d'un effectif faible, la corrélation entre l'histologie et le diagnostic radiologique retenu laisse suggérer un manque de performance de chacun des scanners étudiés quand un doute persiste.

Il est important de noter qu'avec l'histologie sur pièce opératoire pour gold standard, une partie de la population cible n'était pas incluse dans l'analyse, à savoir les patients ayant bénéficié d'un protocole de préservation laryngée. De ce fait, certains vrais négatifs, vrais positifs (en cas de T3 laryngé avec invasion minime de la corticale interne) mais aussi de potentiels faux négatifs n'ont pas été intégrés au calcul,

influençant probablement les résultats obtenus. Il était tout de même possible de calculer les performances diagnostiques intrinsèques puisqu'il existait d'autres indications opératoires que la lyse cartilagineuse donc des cas de LT/PLT avec des cartilages sains. Pour ces mêmes raisons, il ne nous semblait statistiquement pas licite d'étudier les performances extrinsèques car la fréquence de l'invasion cartilagineuse était faussement plus élevée dans la population étudiée par rapport à la population cible.

Peu d'études similaires, s'intéressant à l'imagerie spectrale pour l'évaluation des cartilages laryngés, ont été menées à notre connaissance. L'équipe de Kuno et al, a montré que la spécificité du scanner à double émission d'énergie, comprenant une analyse en densité iodine, pour l'évaluation des cartilages en pré-thérapeutique, était significativement supérieure à celle en moyenne d'énergie seule, considérée comme équivalent de l'imagerie conventionnelle. Elle passait de 70% à 96% pour l'invasion du cartilage thyroïde tout en préservant une sensibilité égale de 86%. Il a donc été retrouvé moins de faux positifs, par rapport à l'histologie de la pièce opératoire, avec le scanner à double énergie (Figure 12). D'autre part, la reproductibilité inter-observateur était plus forte en intégrant l'analyse en densité iodine (31).

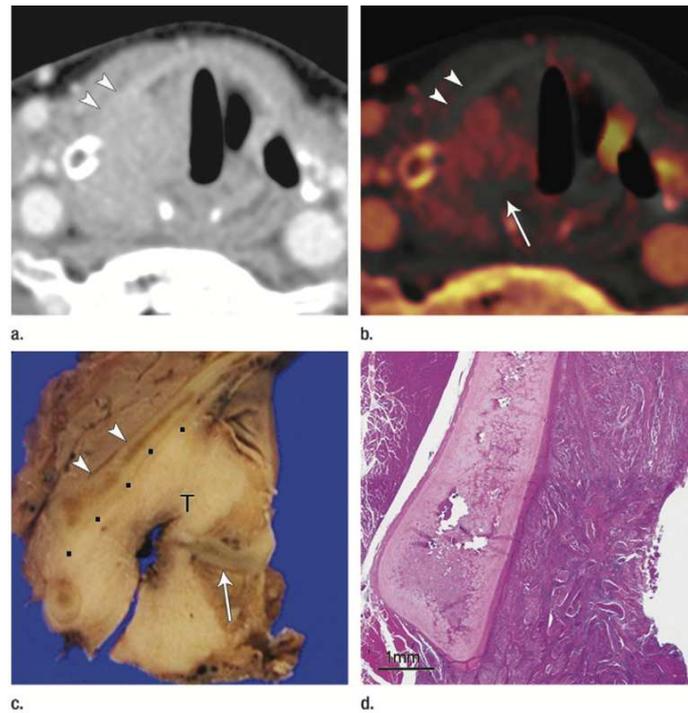


Figure 12 – Cas de faux positif en image d’atténuation moyenne chez un patient de 70 ans présentant un CE supra-glottique, a. Aspect évocateur de lyse du cartilage thyroïde non ossifié (double flèche) et de l’aryténoïde (simple flèche) en imagerie mêlant les basses et hautes énergies ; b. La densité iodine ne montre pas de rehaussement au sein de ces cartilages ; c. Tranche de la pièce opératoire montrant l’intégrité du cartilage thyroïde et aryténoïde ; d. Coupe histologique confirmant l’absence d’invasion cartilagineuse. Selon Kuno et al. (31)

Dans une autre étude de Kuno et al, la performance de ce même scanner, en combinant l’interprétation en moyenne d’énergie avec la densité iodine, a été comparée à celle de l’IRM. Il est de nouveau conclu à une sensibilité similaire avec une meilleure spécificité, à 98% contre 84%, pour la détection d’invasion tout cartilage confondu ainsi que pour le thyroïde et cricoïde seuls. Les cas de faux positifs en IRM semblaient principalement correspondre à des plages d’inflammation péri-tumorale. Les cas de faux négatifs en scanner étaient des invasions tumorales minimales (<3mm) en histologie (32). Dans ces deux études, l’évaluation cartilagineuse en images mono-énergétiques à basse et haute énergies n’a pas été intégrée. Nos résultats de performance diagnostique pour le scanner à double détection sont globalement cohérents avec ces données de la littérature, néanmoins la spécificité était moins

élevée et nous n'avons pas montré de différence significative de celle-ci par rapport au scanner classique.

Cette étude présente certaines limites pouvant mener à une puissance insuffisante pour montrer une différence statistiquement significative. D'abord son caractère rétrospectif, engendrant des biais inhérents à ce mode de recueil, réalisé sur un seul centre, avec des effectifs relativement faibles. Nous avons ensuite inclus les chirurgies de rattrapage, ce qui a permis d'augmenter le nombre de patients, bien que l'analyse scanographique dans ces cas peut être plus délicate, en rapport avec les remaniements des tissus déjà irradiés (33). D'autre part, la valeur ajoutée de l'analyse spectrale semble être maximale en cas de cartilage non ossifié or, avec une médiane d'âge de 65 ans, un certain nombre de patients présentaient une lyse en regard d'une zone de cartilage calcifié rendant alors possiblement moins discriminant l'apport de l'analyse spectrale. Enfin, comme mentionné ci-dessus, le choix de l'histologie pour gold standard exclut d'office les patients pour lesquels un protocole de préservation d'organe a été indiqué.

Les forces de ce travail résident dans un recueil exhaustif sur la période choisie avec quasiment aucune donnée manquante. La population étudiée était représentative de la population cible avec une majorité d'hommes et de patients tabagiques. Nos deux groupes étaient homogènes, ce qui a permis la comparaison des performances respectives des scanners étudiés. Il n'y avait notamment pas de différence significative entre l'âge au diagnostic, les stades T du TNM ni sur le nombre de chirurgies de rattrapage réduisant alors l'effet de ces potentiels facteurs de confusion. Par ailleurs, peu d'études existent sur ce sujet, celles déjà réalisées présentent finalement des effectifs similaires voire inférieurs à la nôtre. À la différence des travaux déjà réalisés, l'interprétation radiologique intégrait l'analyse en densité iodine mais aussi l'étude des

reconstructions monochromatiques à 40 keV puis à 200 keV en cas de cartilage non ossifié, comme illustré par l'exemple d'un patient inclus (Figure 13). L'aspect retrouvé plus hypodense de l'infiltration tumorale au sein du cartilage non ossifié en haute énergie concorde avec les résultats de l'étude de Forghani et al (21).

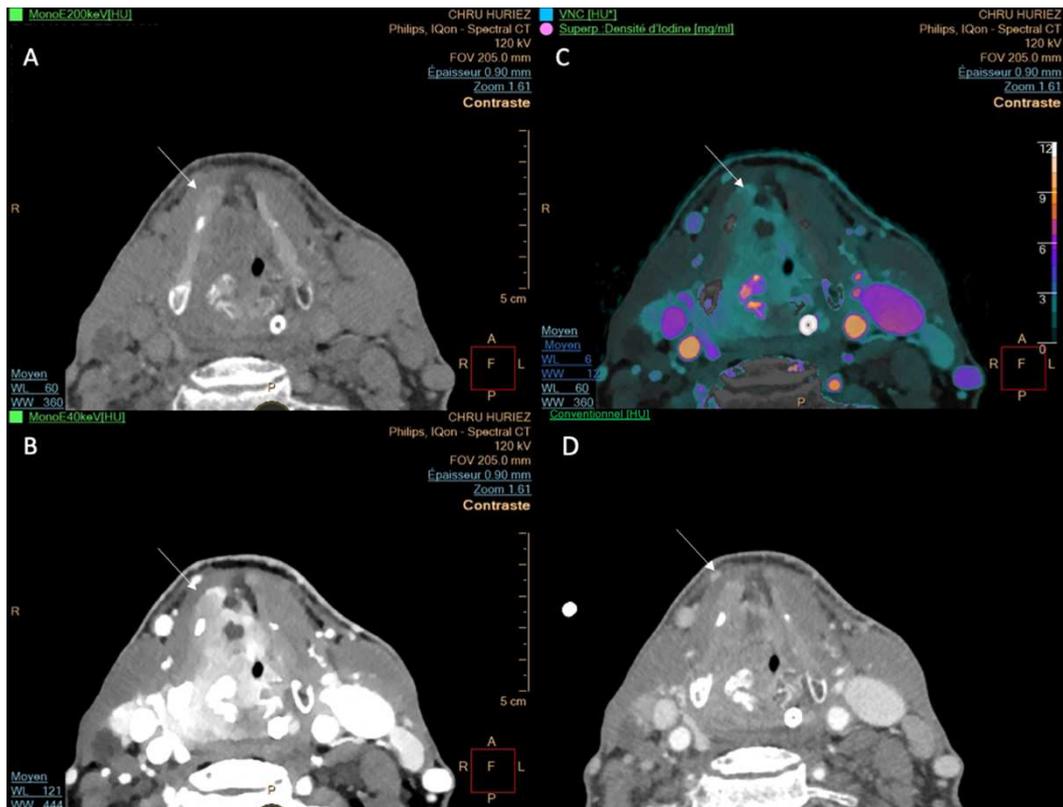


Figure 13 – Imagerie spectrale préopératoire d'un patient présentant un CE du sinus piriforme avec lyse de l'aile thyroïdienne droite (flèche blanche) confirmée par l'histologie. A. Reconstruction à 200 KeV : meilleure visualisation du cartilage non ossifié par rapport à la tumeur et ainsi de l'infiltration du cartilage plus hypodense ; B. À 40 KeV : nette augmentation de la densité de l'iode facilitant la délimitation tumorale ; C. Densité iodine : analyse quantitative montrant nettement l'infiltration cartilagineuse ; D. Moyennage d'énergie équivalent d'imagerie conventionnelle : délimitation tumorale moins nette, difficulté à confirmer la lyse cartilagineuse sur cette zone non ossifiée. Avec l'aimable accord du Dr. F.Dubrulle et le consentement du patient.

Sur cet exemple de scanner spectral, on constate aussi la nette augmentation du rehaussement de la tumeur par rapport aux tissus adjacents sur l'image à 40 keV ; constat précédemment confirmé par le travail d'autres auteurs (18–20,34). L'équipe de Li et al a montré une amélioration significative de la qualité d'image en reconstruction

à basse énergie, tant par analyse qualitative que quantitative, pour l'évaluation des tumeurs des VADS mais aussi des ganglions cervicaux (35). Ces résultats suggèrent, par meilleure visualisation, plus d'aisance pour déterminer la délimitation tumorale et ainsi la classification T voire N du TNM. Particulièrement pour les lésions endo-laryngées, ceci présente un potentiel intérêt pour explorer les espaces laryngés avec plus de précision, notamment l'espace para-glottique, dont l'envahissement est déterminant pour la classification T du TNM (9). Étudiée dans le cadre du suivi post-thérapeutique des CE plus largement des VADS, l'analyse spectrale à 40 keV et en concentration d'iode paraissent supérieures à celle à 70 keV pour différencier les remaniements post-traitement des récurrences malignes (36). De plus, grâce à l'augmentation des contrastes à basse énergie, la dose de produit de contraste iodé injecté peut être réduite, ce qui représente un bénéfice pour les patients dont la fonction rénale est altérée (37).

Le scanner spectral double énergie semble ainsi apporter des informations qualitatives et quantitatives, utiles en pratique clinique pour le bilan pré-thérapeutique des CE du pharyngo-larynx et leur prise en charge. Les reconstructions en hautes énergies et en densité iodine sont complémentaires de l'imagerie conventionnelle pour l'étude des cartilages laryngés, notamment en zone non ossifiée. À cet effet, elle permettrait éventuellement d'allier certains avantages de l'IRM à ceux de la TDM classique en un unique examen. Les reconstructions à basses énergies, quant à elles, améliorent la visualisation et la délimitation tumorales. Cet examen donne ainsi accès à ces éléments supplémentaires avec une réalisation tout aussi rapide sans pour autant être plus irradiant que la TDM classique (16). Toutefois il reste à ce jour moins disponible en routine et plus onéreux puisque son coût d'achat est environ deux fois plus élevé qu'un scanner standard (38).

Ce travail propose les résultats de performance diagnostique du scanner à double détection énergétique pour l'évaluation de l'invasion des cartilages laryngés par les CE, sur la base de son utilisation en routine au sein d'un CHU. Nous avons obtenu une sensibilité et spécificité convenables, néanmoins il n'a pas été retrouvé de différence de performance statistiquement significative par rapport au scanner conventionnel qui était employé précédemment ; soit par réelle équivalence des deux techniques, soit par manque de puissance statistique. Il serait alors intéressant de mener d'autres études, notamment prospectives avec un plus grand nombre de patients par une inclusion possiblement multicentrique.

Enfin, les progrès technologiques ont amené au développement d'une nouvelle génération de scanner spectral qu'est le scanner multi-énergie à comptage photonique. Ses capacités d'analyse sont plus fines qu'en imagerie double énergie puisque chaque photon réceptionné est individuellement converti en un signal électrique. Ceci permet d'une part de recueillir directement l'ensemble du spectre énergétique du rayonnement, sans reconstruction, et d'autre part d'améliorer la résolution et diminuer le bruit de l'image finale. Les premiers résultats cliniques semblent ouvrir d'autres perspectives prometteuses en imagerie médicale et donc possiblement en application au bilan des tumeurs des VADS (Figure 14) (39).

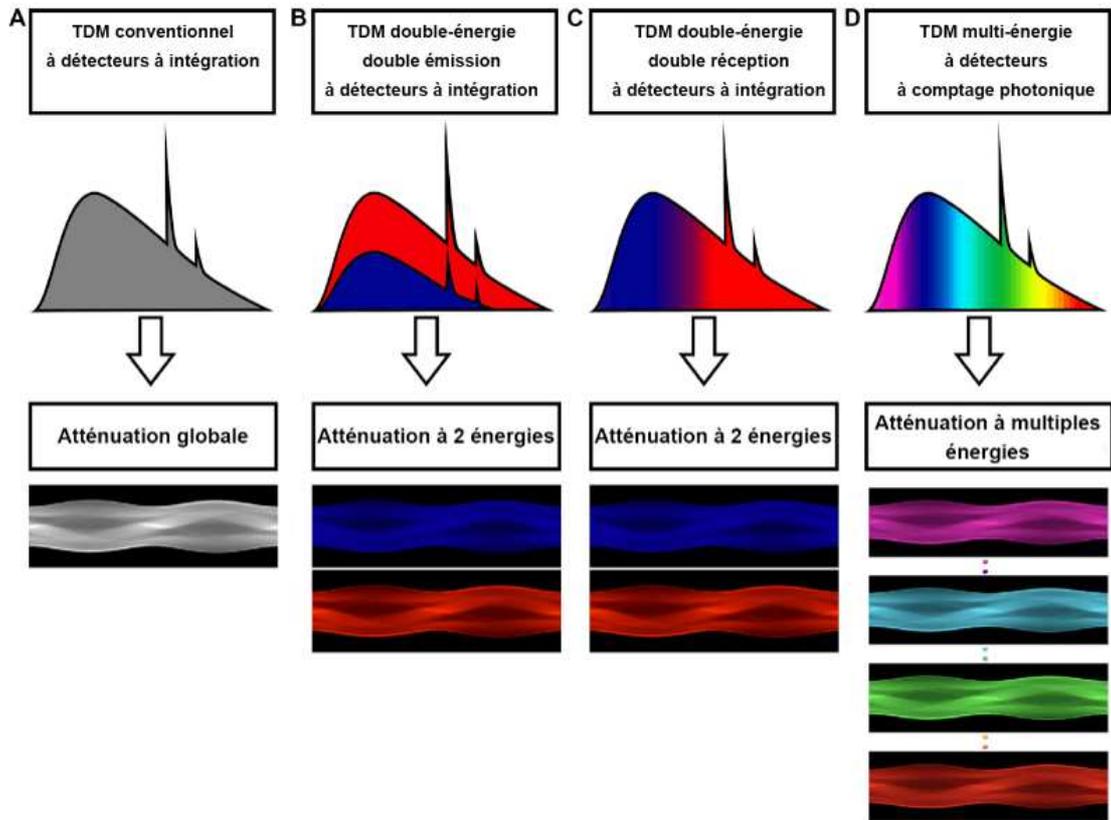


Figure 14 – Illustration des différents principes de recueil de l'atténuation du spectre transmis de rayons X, de la TDM conventionnelle à la TDM multi-énergie
 Selon la Société Française de Radiologie & d'imagerie médicale

CONCLUSION

Nous retenons de cette étude que le scanner spectral à double détection est un examen au moins aussi performant que le scanner conventionnel pour l'évaluation de l'invasion des cartilages laryngés par les carcinomes épidermoïdes du pharyngo-larynx, élément du bilan diagnostique déterminant pour la décision thérapeutique. Les informations supplémentaires, qualitatives et quantitatives, qu'offrent les séquences spectrales semblent permettre une analyse plus précise de ces cartilages particulièrement en zone non ossifiée. De plus, cet examen paraît mieux différencier les tumeurs par rapport aux tissus sains au dépens desquels elles se développent. Ces constats sont concordants avec notre impression clinique en cancérologie des VADS au CHU de Lille, quant à l'intérêt de cette nouvelle technique d'imagerie en termes de délimitation tumorale, confort d'interprétation d'image et détection précoce des récidives au cours du suivi. Cette technologie innovante et prometteuse mériterait des travaux complémentaires pour préciser sa place dans l'imagerie carcinologique de la tête et du cou.

BIBLIOGRAPHIE

1. Binder-Foucard F, Bossard N, Delafosse P, Belot A, Woronoff AS, Remontet L. Cancer incidence and mortality in France over the 1980–2012 period: Solid tumors. *Rev D'Épidémiologie Santé Publique*. 1 avr 2014;62(2):95-108.
2. Defossez G, Le Guyader-Peyrou S, Uhry Z, Grosclaude P, Colonna M, Dantony E. Estimations nationales de l'incidence et de la mortalité par cancer en France métropolitaine entre 1990 et 2018. Volume 1 – Tumeurs solides. Saint-Maurice (Fra) : Santé publique France, 2019. 372 p.
3. Bara S, Lapôtre-Ledoux B, Velten M, Lecoffre C, de Brauer C, Coureau G, et al. Survie des personnes atteintes de cancer en France métropolitaine 1989-2018 - Larynx. juin 2021;Boulogne-Billancourt : Institut national du cancer:12p.
4. Lapôtre-Ledoux B, Bara S, Velten M, Lecoffre C, Lafay L, Coureau G, et al. Survie des personnes atteintes de cancer en France métropolitaine 1989-2018 - Hypopharynx. juin 2021;Boulogne-Billancourt : Institut national du cancer:12p.
5. Chevalier, D., Dubrulle, F., & Vilette, B. Anatomie descriptive, endoscopique et radiologique du larynx. EMC Elsevier Masson SAS Paris ORL 20-630--10. 2001;1-13.
6. Fakhry N, Rossi ME, Reyre A. Anatomie descriptive, radiologique et endoscopique du pharynx. EMC - Oto-Rhino-Laryngol. 2014;([Article 20-491-A-10]):1-14.
7. De Raucourt D, Moriniere S, Couloigner V, Tronche S. Bilan préthérapeutique des carcinomes épidermoïdes des VADS. Recommandations SFORL, 2012.
8. Référentiel régional de prise en charge des cancers VADS - 2019 - Onco hdf [Internet]. Disponible sur: <https://www.onco-hdf.fr/actualite/referentiel-regional-de-prise-en-charge-des-cancers-vads-2019/>
9. Lydiatt WM, Patel SG, O'Sullivan B, Brandwein MS, Ridge JA, Migliacci JC, et al. Head and neck cancers—major changes in the American Joint Committee on cancer eighth edition cancer staging manual. *CA Cancer J Clin*. 2017;67(2):122-37.
10. Becker M, Burkhardt K, Dulguerov P, Allal A. Imaging of the larynx and hypopharynx. *Eur J Radiol*. juin 2008;66(3):460-79.
11. Mesrar J ET, Rousset J. Imagerie du larynx et de l'hypopharynx normal : techniques et résultats. *Radiol Imag Médicale - Cardiovasc - Thorac - Cervicale*. 2018;36([Article 32-605-A-10]):1-14.
12. Becker M, Zbären P, Casselman JW, Kohler R, Dulguerov P, Becker CD. Neoplastic invasion of laryngeal cartilage: reassessment of criteria for diagnosis at MR imaging. *Radiology*. nov 2008;249(2):551-9.

13. Lee MY, Lee J, Stock S, Belfiglio M, Matia B, Koyfman S, et al. Prognostic value of computed tomography scan detection of cartilage invasion in advanced laryngeal cancer treated with primary total laryngectomy. *Head Neck*. 2022;44(10):2220-7.
14. Dadfar N, Seyyedi M, Forghani R, Curtin HD. Computed Tomography Appearance of Normal Nonossified Thyroid Cartilage: Implication for Tumor Invasion Diagnosis. *J Comput Assist Tomogr*. avr 2015;39(2):240.
15. Forghani R, De Man B, Gupta R. Dual-Energy Computed Tomography. *Neuroimaging Clin N Am*. août 2017;27(3):371-84.
16. Tawfik AM, Kerl JM, Razek AA, Bauer RW, Nour-Eldin NE, Vogl TJ, et al. Image Quality and Radiation Dose of Dual-Energy CT of the Head and Neck Compared with a Standard 120-kVp Acquisition. *AJNR Am J Neuroradiol*. déc 2011;32(11):1994-9.
17. Si-Mohamed S.A LH, Rodesch P.A. Techniques de tomodensitométrie spectrale double énergie et multiénergie à comptage photonique. *Radiol Imag Médicale - Principes Tech - Radioprot EMC*. 1 nov 2023;[Article 35-075-A-10](1-13).
18. Lam S, Gupta R, Levental M, Yu E, Curtin HD, Forghani R. Optimal Virtual Monochromatic Images for Evaluation of Normal Tissues and Head and Neck Cancer Using Dual-Energy CT. *AJNR Am J Neuroradiol*. août 2015;36(8):1518-24.
19. Wichmann JL, Nöske EM, Kraft J, Burck I, Wagenblast J, Eckardt A, et al. Virtual monoenergetic dual-energy computed tomography: optimization of kiloelectron volt settings in head and neck cancer. *Invest Radiol*. nov 2014;49(11):735-41.
20. Vogl TJ, Schulz B, Bauer RW, Stöver T, Sader R, Tawfik AM. Dual-Energy CT Applications in Head and Neck Imaging. *Am J Roentgenol*. nov 2012;199(5_supplement):S34-9.
21. Forghani R, Levental M, Gupta R, Lam S, Dadfar N, Curtin HD. Different Spectral Hounsfield Unit Curve and High-Energy Virtual Monochromatic Image Characteristics of Squamous Cell Carcinoma Compared with Nonossified Thyroid Cartilage. *AJNR Am J Neuroradiol*. juin 2015;36(6):1194-200.
22. Forastiere AA, Ismaila N, Lewin JS, Nathan CA, Adelstein DJ, Eisbruch A, et al. Use of Larynx-Preservation Strategies in the Treatment of Laryngeal Cancer: American Society of Clinical Oncology Clinical Practice Guideline Update. *J Clin Oncol*. 10 avr 2018;36(11):1143-69.
23. Mise à jour 2011 des comptes rendus d'anatomopathologie : données minimales à renseigner pour une tumeur primitive, Traitements, soins et innovations, INCa, Boulogne-Billancourt, décembre 2011. [Internet]. [cité 17 mars 2024]. Disponible sur: <https://www.sfpathol.org/media/pdf/donnees-minimales-acp-inca-2011-dec.pdf>
24. Wulff NB, Højager A, Wessel I, Dalton SO, Homøe P. Health-Related Quality of Life Following Total Laryngectomy: A Systematic Review. *The Laryngoscope*. avr 2021;131(4):820-31.

25. Brook I. Early side effects of radiation treatment for head and neck cancer. *Cancer/Radiothérapie*. 1 juill 2021;25(5):507-13.
26. Langendijk JA, Doornaert P, Verdonck-de Leeuw IM, Leemans CR, Aaronson NK, Slotman BJ. Impact of late treatment-related toxicity on quality of life among patients with head and neck cancer treated with radiotherapy. *J Clin Oncol Off J Am Soc Clin Oncol*. 1 août 2008;26(22):3770-6.
27. Li HY, Chen XH. Diagnostic value of enhanced CT/MRI for thyroid cartilage invasion by malignant tumor. *Zhonghua Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi*. 7 mai 2017;52(5):372-6.
28. Becker M, Zbären P, Delavelle J, Kurt AM, Egger C, Rüfenacht DA, et al. Neoplastic invasion of the laryngeal cartilage: reassessment of criteria for diagnosis at CT. *Radiology*. mai 1997;203(2):521-32.
29. Li B, Bobinski M, Gandour-Edwards R, Farwell DG, Chen AM. Overstaging of cartilage invasion by multidetector CT scan for laryngeal cancer and its potential effect on the use of organ preservation with chemoradiation. *Br J Radiol*. janv 2011;84(997):64-9.
30. Halimi C PA, Barry B. Laryngectomies totales. *Tech Chir - Tête Cou - EMC*. 2019;27([Article 46-364]):1-7.
31. 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.
32. 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.
33. Zbären P, de Bree R, Takes RP, Rinaldo A, Ferlito A. Which is the most reliable diagnostic modality for detecting locally residual or recurrent laryngeal squamous cell carcinoma after (chemo)radiotherapy? *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 1 nov 2013;270(11):2787-91.
34. Forghani R, Kelly H, Yu E, Belair M, Létourneau-Guillon L, Le H, et al. Low-Energy Virtual Monochromatic Dual-Energy Computed Tomography Images for the Evaluation of Head and Neck Squamous Cell Carcinoma: A Study of Tumor Visibility Compared With Single-Energy Computed Tomography and User Acceptance. *J Comput Assist Tomogr*. 2017;41(4):565-71.
35. Li A, Liang H, Li W, Wang Z, Pang T, Li J, et al. Spectral CT Imaging of Laryngeal and Hypopharyngeal Squamous Cell Carcinoma: Evaluation of Image Quality and Status of Lymph Nodes. *PLoS ONE*. 30 déc 2013;8(12):e83492.

36. 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.
37. Zhang X, Chen J, Yu N, Ren Z, Tian Q, Tian X, et al. Reducing contrast medium dose with low photon energy images in renal dual-energy spectral CT angiography and adaptive statistical iterative reconstruction (ASIR). *Br J Radiol.* 1 avr 2021;94(1120):20200974.
38. Philips [Internet]. [cité 28 mars 2024]. Solutions & scanners TDM. Disponible sur: <https://www.philips.fr/healthcare/solutions/computed-tomography>
39. Douek PC, Boccalini S, Oei EHG, Cormode DP, Pourmorteza A, Bousset L, et al. Clinical Applications of Photon-counting CT: A Review of Pioneer Studies and a Glimpse into the Future. *Radiology.* oct 2023;309(1):e222432.

TABLE DES FIGURES

Figure 2 - Larynx en coupes sagittale (A) et frontale (B)	2
Figure 2 – Pharynx en vue postérieure	2
Figure 3 - Principaux cartilages laryngés dissociés en vues antérieure, latérale et postérieure	3
Figure 4 – Image d’endoscopique d’un carcinome T4 de la région rétro-crico-aryténoïdienne (hypopharynx)	4
Figure 5 – Anatomie radiologique du pharyngo-larynx en TDM	5
Figure 6 - Rationnel de l’imagerie spectrale à double énergie	7
Figure 7 – Principe du scanner spectral double énergie et différence avec le scanner conventionnel	8
Figure 8 - Caractérisation quantitative de l’atténuation spectrale en unité Hounsfield de la tumeur et du cartilage non ossifié chez un patient présentant une invasion tumorale prouvée histologiquement	9
Figure 9 – Arbre décisionnel pour le traitement des CE du pharyngo-larynx	11
Figure 10 – Infiltration histologique du cartilage cricoïde par un carcinome épidermoïde	11
Figure 11 – Diagramme de flux de l’étude	18
Figure 12 – Cas de faux positif en image d’atténuation moyenne seule chez un patient de 70 ans présentant un CE supra-glottique	27
Figure 13 – Imagerie spectrale préopératoire d’un patient présentant un CE du sinus piriforme avec lyse de l’aile thyroïdienne droite (flèche blanche) confirmée par l’histologie	29
Figure 14 – Illustration des différents principes de recueil de l’atténuation du spectre transmis de rayons X, de la TDM conventionnelle à la TDM multi-énergie	32

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 – Description épidémiologique de la population étudiée	19
Tableau 2 – Tableau de contingence entre la description des cartilages sur chaque scanner et l’histologie de la pièce opératoire	21
Tableau 3 – Tableau de contingence entre la description des cartilages thyroïdes et cricoïdes indépendamment par rapport l’histologie définitive	22
Tableau 4 – Corrélation entre la description scanographique des cartilages intégrant la variable doute et l’histologie de la pièce	23
Tableau 5 – Corrélation entre le diagnostic retenu en cas de doute et l’histologie	23

ANNEXE

Classification T de la TNM des carcinomes épidermoïdes du larynx :

T : Tumeur primitive

TX	Renseignements insuffisants pour classer la tumeur primitive
T0	Pas de signe de tumeur primitive
Tis	Carcinome in situ

Etage sus-glottique

T1	Tumeur limitée à une sous-localisation de l'étage sus-glottique 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 extraglottique (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 rétrocricoïdienne, espace préépiglottique, espace paraglottique et/ou corticale interne du cartilage thyroïde
T4a	Tumeur envahissant le cartilage thyroïde et/ou envahissant les tissus extralaryngés, c'est-à-dire la trachée, les tissus mous du cou dont les muscles profonds/extrinsèques de la langue (généoglosse, hyoglosse, palatoglosse et styloglosse), les muscles sous-hyoïdiens, la glande thyroïde et l'œsophage
T4b	Tumeur envahissant l'espace prévertébral, les structures médiastinales, ou englobant l'artère carotide.

Etage glottique

T1	Tumeur limitée à une ou deux cordes vocales (pouvant envahir la commissure antérieure ou postérieure), avec mobilité normale
T1a	Tumeur limitée à une corde vocale
T1b	Tumeur envahissant les deux cordes vocales
T2	Tumeur envahissant l'étage sus- et/ou sous-glottique, et/ou diminution de la mobilité glottique
T3	Tumeur limitée au larynx avec fixité de la corde vocale et/ou envahissant l'espace paraglottique et/ou avec lyse minime du cartilage thyroïde (corticale interne)
T4a	Tumeur envahissant le cartilage thyroïde ou les tissus extralaryngés, c'est-à-dire la trachée, les tissus mous du cou notamment la musculature profonde/extrinsèque de la langue (généoglosse, hyoglosse, palatoglosse et styloglosse), les muscles sous-hyoïdiens, la thyroïde, l'œsophage
T4b	Tumeur envahissant l'espace prévertébral, les structures médiastinales, ou englobant l'artère carotide

Sous-glotte

T1	Tumeur limitée à la sous-glotte
T2	Tumeur étendue au plan glottique avec mobilité normale ou diminuée
T3	Tumeur limitée au larynx avec fixation glottique
T4a	Tumeur envahissant le cartilage cricoïde ou le cartilage thyroïde et/ou les tissus extralaryngés, c'est-à-dire la trachée, les tissus mous du cou notamment, la musculature profonde/extrinsèque de la langue (génioglosse, hyoglosse, palatoglosse et styloglosse), les muscles sous-hyoïdiens, la thyroïde, l'œsophage.
T4b	Tumeur envahissant l'espace prévertébral, les structures médiastinales, ou englobant l'artère carotide.

Classification T de la TNM des carcinomes épidermoïdes de l'hypopharynx

T : Tumeur primitive

TX	Renseignements insuffisants pour classer la tumeur primitive
T0	Pas de signe de tumeur primitive
Tis	Carcinome in situ

Hypopharynx

T1	Tumeur limitée à une seule sous-localisation de l'hypopharynx et/ou ≤ 2 cm dans sa plus grande dimension
T2	Tumeur s'étendant à plus d'une sous-localisation de l'hypopharynx ou à une région adjacente, ou tumeur > 2 cm et ≤ 4 cm dans sa plus grande dimension, <i>sans</i> fixation de l'hémilarynx
T3	Tumeur > 4 cm dans sa plus grande dimension, ou <i>avec</i> fixation de l'hémilarynx ou extension à l'œsophage
T4a	Tumeur envahissant une des structures suivantes : cartilage thyroïde/cricoïde, os hyoïde, glande thyroïde, œsophage, et tissus mous du compartiment central*
T4b	Tumeur envahissant le fascia prévertébral, englobant l'artère carotide, ou envahissant les structures médiastinales.
Note	*Les tissus mous du compartiment central comprennent les muscles sous-hyoïdiens préalaryngés et la graisse sous-cutanée.

Issus du Référentiel régional de prise en charge des cancers VADS - 2019 – OncoHDF.

AUTEURE : GOULLIoud Marie

Date de soutenance : 19 avril 2024

Titre de la thèse : Performance du scanner spectral à double détection *versus* scanner conventionnel pour l'évaluation de l'invasion cartilagineuse des carcinomes pharyngo-laryngés

Thèse - Médecine - Lille 2024

Cadre de classement : Oto-Rhino-Laryngologie et Chirurgie Cervico-Faciale

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

Mots-clés : Cancer des VADS, Pharyngo-larynx, Scanner spectral double énergie, Invasion cartilagineuse

Contexte : L'existence d'une invasion cartilagineuse tumorale est un critère décisif pour adapter la prise en charge des carcinomes pharyngo-laryngés, entre protocole de préservation par radiochimiothérapie et laryngectomie ou pharyngo-laryngectomie totale + radiothérapie. Ce critère n'est pas toujours aisé à déterminer en imagerie TDM. Le développement récent de l'imagerie spectrale a fait suggérer une amélioration de l'analyse des cartilages. L'objectif de ce travail était d'étudier la performance du scanner spectral à double détection pour l'évaluation de l'invasion cartilagineuse et de la comparer à celle du scanner conventionnel.

Méthode : Cette étude rétrospective monocentrique, comportait une cohorte de patients traités par LT ou PLT, divisée en 2 groupes selon le type de scanner préopératoire réalisé au CHU de Lille, conventionnel avant 2021 ou spectral après 2021. La sensibilité et spécificité de chacun des scanners ont été calculées avec pour référence l'analyse histologique de la pièce opératoire, puis comparées.

Résultats : La sensibilité du scanner spectral, réalisé chez 56 patients, était de 91% et la spécificité de 78% pour la détection d'atteinte cartilagineuse thyroïdienne et/ou cricoïdienne. La sensibilité du scanner conventionnel, réalisé chez 41 patients, était de 84% et la spécificité de 67%. Il n'a pas été montré de différence statistiquement significative entre ces résultats.

Conclusion : Bien que la performance du scanner spectral soit légèrement plus élevée, nous n'avons pas montré de supériorité significative par rapport au scanner conventionnel pour l'évaluation de l'invasion cartilagineuse. Cependant, l'imagerie spectrale semble apporter des informations qualitatives et quantitatives supplémentaires, utiles pour la prise en charge des carcinomes pharyngo-laryngés. De futures études seraient pertinentes pour évaluer l'apport de cette technique d'imagerie innovante en cancérologie des VADS.

Composition du Jury :

Président :

Monsieur le Professeur Dominique CHEVALIER

Assesseurs :

Madame le Docteur Frédérique DUBRULLE

Monsieur le Docteur François MOUAWAD

Directeur de thèse :

Monsieur le Docteur Martin MORISSE