

AMÉLIORATION DU TRAITEMENT DES PATHOLOGIES BÉNIGNES DE LA THYROÏDE : UN PROTOCOLE D'ÉTALONNAGE INNOVANT BASÉ SUR L'UTILISATION DE FANTÔMES RÉALISTES.

T. Beaumont^a, A. Forbes^{b,d}, E. Durand^b, A. Castilla-Lièvre^c, D. Broggio^a

^aIRSN/SDOS/LEDI, Fontenay aux Roses/France

^bAP-HP Hôpital Bicêtre/Le Kremlin-Bicêtre/France

^cAP-HP Hôpital Antoine Bécère/Clamart/France

^dAP-HP Hôpital Cochin/Paris/ France

26-27 MARS 2024 – JOURNÉE L'IODE DANS TOUS SES ÉTATS – SFRP, PARIS, MAISON DE LA RATP

TRAITEMENT DES PATHOLOGIES BÉNIGNES DE LA THYROÏDE

Pathologies:

- Basedow
- Goitre homogène ou multi-nodulaire
- Nodules hyperfixants
- Etc...

Traitées par irathérapie (¹³¹I)

Guidelines EANM/SNMMI: encouragement à aller vers une dosimétrie plus personnalisée

GUIDELINES

The EANM guideline on radioiodine therapy of benign thyroid disease

Alfredo Campenni¹ · Anca M. Avram² · Frederik A. Verburg³ · Ioannis Iakovou^{4,5} · Heribert Hänscheld⁶ · Bart de Keizer⁷ · Petra Petranović Ovcariček^{8,9} · Luca Giovanella^{10,11}

GUIDELINES

EANM practice guideline/SNMMI procedure standard for RAIU and thyroid scintigraphy

Luca Giovanella^{1,2} · Anca M. Avram³ · Ioannis Iakovou⁴ · Jennifer Kwak⁵ · Susan A. Lawson⁶ · Elizabeth Lufaj⁷ · Markus Luster⁷ · Arnaldo Piccardo⁸ · Matthias Schmidt⁹ · Mark Tulchinsky¹⁰ · Frederik A. Verburg⁷ · Ely Wolf¹¹

GUIDELINES

EANM Dosimetry Committee Series on Standard Operational Procedures for Pre-Therapeutic Dosimetry II. Dosimetry prior to radioiodine therapy of benign thyroid diseases

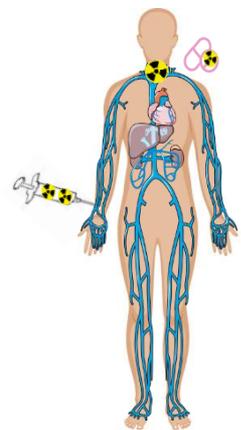
Heribert Hänscheld · Cristina Canzi · Wolfgang Eschner · Glenn Flux · Markus Luster · Lidia Strigari · Michael Lassmann

Pathologie	Dose absorbée recommandée (Gy)
Maladie de Basedow (ablation)	200-300
Maladie de Basedow (euthyroïdisme)	100-150
Goitre multinodulaire toxique (TMNG)	150-300
Goitre nodulaire toxique (TNG)	300-400

Activité thérapeutique nécessaire pour délivrer la dose cible à la thyroïde

$$A_{\text{thérapeutique}} [\text{MBq}] \propto \frac{M[\text{g}] \cdot D[\text{Gy}]}{\int_0^{\infty} \text{RIU}(t) dt}$$

TRAITEMENT DES PATHOLOGIES BÉNIGNES DE LA THYROÏDE



Administration ou injection
d'une activité traceuse

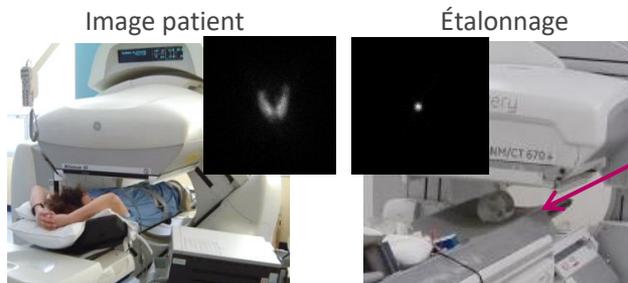
^{131}I , ^{123}I & $^{99\text{m}}\text{Tc}$



Détermination des
paramètres biocinétiques
individuels

$$\text{RIU} \equiv \frac{\text{Activité dans la thyroïde}}{\text{Activité administrée}} \times 100\%$$

La mesure du **taux de captation thyroïdienne**
(RIU – Radiolodine Uptake) requière une **mesure**
fiable de l'activité



Fantômes

Quantification de
l'activité retenue à
un instant t

La **fiabilité** de la mesure repose sur l'utilisation d'un **fantôme adapté**

En pratique ?

Étalonnage physique

- Fantômes **physiques** quelquefois
éloignés de la réalité anatomique
- **Coefficient** d'étalonnage **unique**

Utilisation de simulation Monte-Carlo :

- Fantômes numériques **anthropomorphes**,
anatomiquement réaliste.
- **Coefficient** d'étalonnage plus **spécifique**

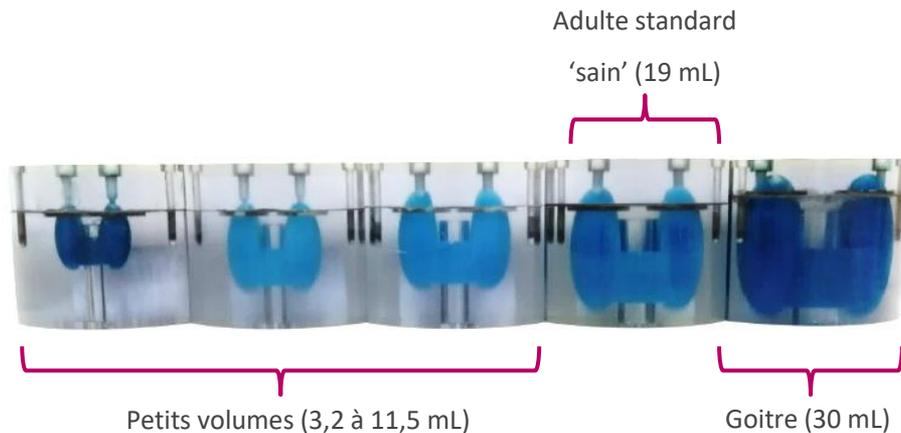
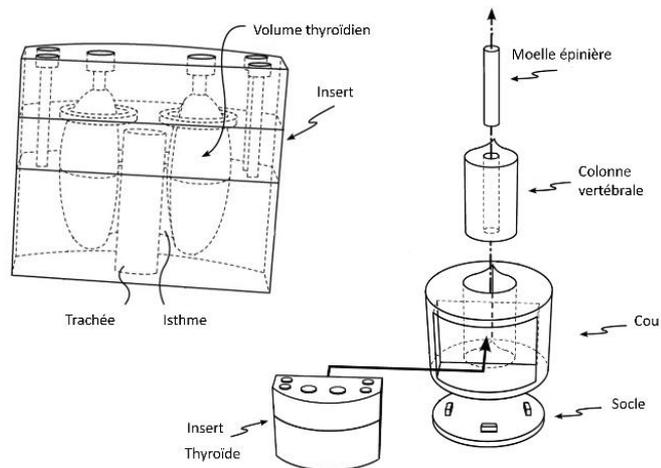
L'utilisation de **fantômes réalistes** pourrait-elle **améliorer** la
quantification de la **captation thyroïdienne**?

TRAITEMENT DES PATHOLOGIES BÉNIGNES DE LA THYROÏDE

Pathologies:

- Basedow
 - Goitre homogène ou multi-nodulaire
 - Nodules hyperfixants
 - Etc...
- } Traitées par irathérapie (¹³¹I)

Fantômes FANTHY (Brevet international n° 1650 855)



OBJECTIFS

Amélioration du traitement des pathologies bénignes de la thyroïde

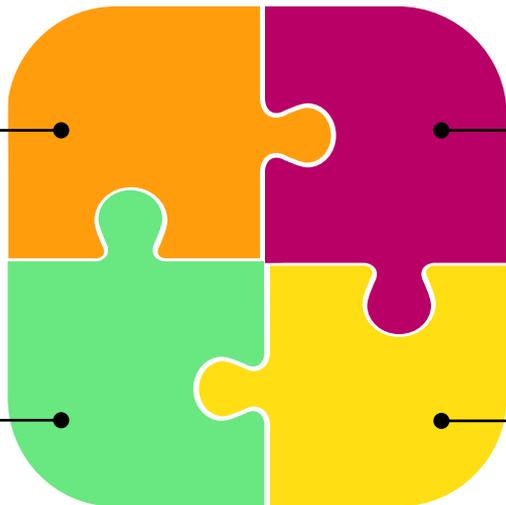
Démontrer l'intérêt d'**utiliser** des **fantômes d'étalonnage réalistes**

afin d'**améliorer** les méthodes de **quantification** actuelles et d'en **étudier** les **limites**.

Fantômes thyroïdiens

Pathologies homogènes

Étude préliminaire
Évaluation des avantages et limites
des méthodes actuelles



Fantômes thyroïdiens

Pathologies homogènes

Étude systématique (^{123}I)
Développement d'une méthode de
quantification semi-automatique

Fantômes thyroïdiens

Pathologies hétérogènes

Étude préliminaire (^{131}I)

Fantômes thyroïdiens

Pathologies homogènes

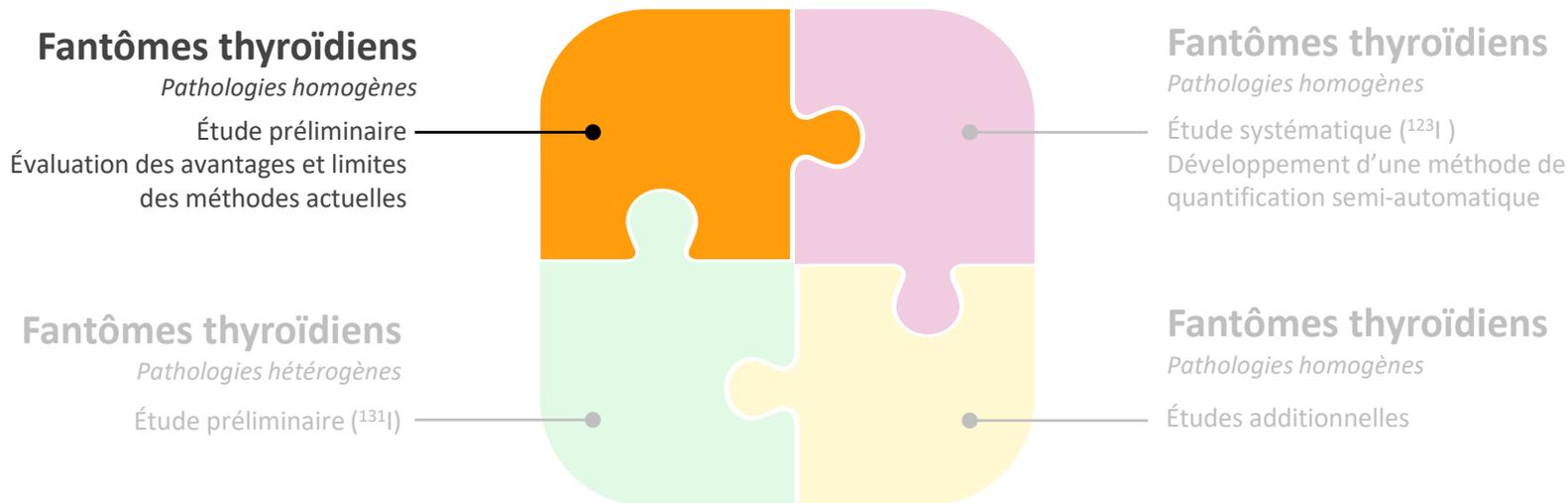
Études additionnelles

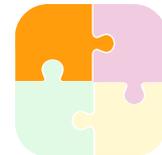
OBJECTIFS

Amélioration du traitement des pathologies bénignes de la thyroïde

Démontrer l'intérêt d'**utiliser** des **fantômes d'étalonnage réalistes**

afin d'**améliorer** les méthodes de **quantification** actuelles et d'en **étudier** les **limites**.





BUT: évaluer les avantages et limites des méthodes d'étalonnage actuelles

- Influence du **volume thyroïdien**;
- Influence des **protocoles** et **fantômes** utilisés.

Paramètres:

- Fantôme de routine : ^{123}I (seringue) • Collimateur LEHR
- Gamma-caméras : Symbia T2 et Symbia S • Distances : $d = 20$ cm et 30 cm



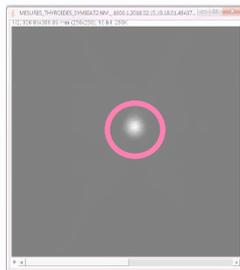
Évaluation du protocole de routine

Étalonnage

- Acquisition planaire $d=30$ cm
- ROI circulaire autour de la seringue

$$S \text{ [Cps/MBq]} \equiv \frac{\text{Counts detected}}{\text{Activity (MBq)} \times \text{Acq.Time(s)}}$$

LA RÉFÉRENCE

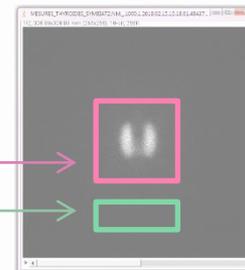


Mesure patient (routine)

- Fantômes thyroïdiens
- Acquisition planaire au plus près du patient

ROI Thyroïde

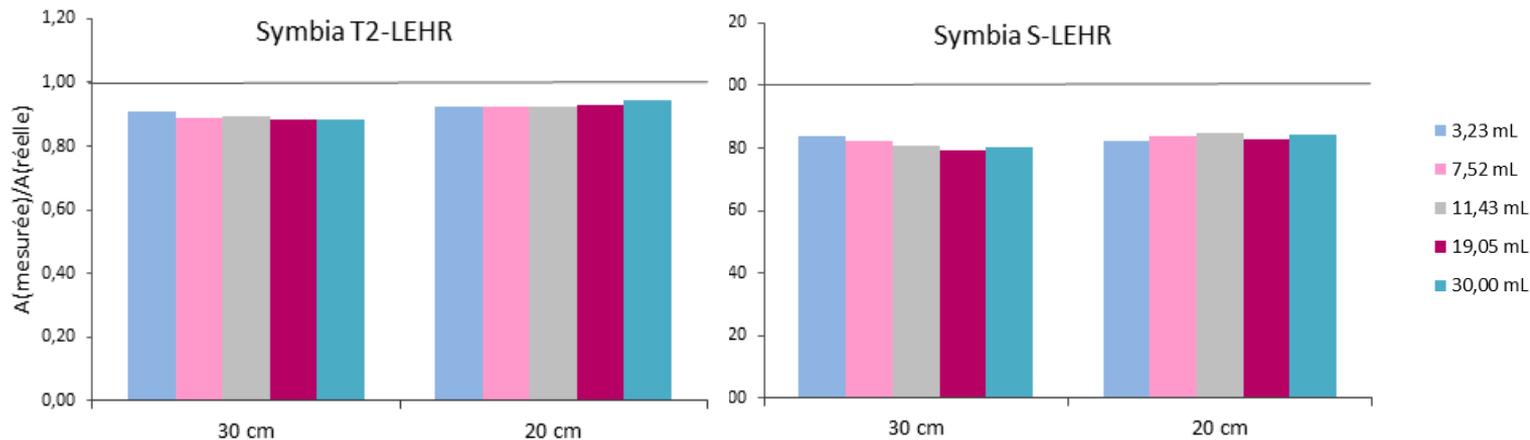
ROI BdF



Quantification de
l'activité
 $A_{\text{mesurée}}$
dans les thyroïdes

ÉTUDE PRELIMINAIRE

RESULTATS



➤ Erreur maximale Symbia T2-LEHR

- 12 % à 30 cm
- 8 % à 20 cm

➤ Erreur maximale Symbia S-LEHR

- 20 % à 30 cm
- 18 % à 20 cm



Sous-estimation de l'activité

- Sous-estimation de la fixation thyroïdienne du patient
- **Augmentation** de l'activité thérapeutique à injecter

Limites du protocole de routine:

- Géométrie du fantôme d'étalonnage
- Rayonnement diffusé
- ROI manuel → opérateur dépendant

OBJECTIFS

Amélioration du traitement des pathologies bénignes de la thyroïde

Démontrer l'intérêt d'**utiliser** des **fantômes d'étalonnage réalistes**

afin d'**améliorer** les méthodes de **quantification** actuelles et d'en **étudier** les **limites**.

Fantômes thyroïdiens

Pathologies homogènes

Étude préliminaire
Évaluation des avantages et limites
des méthodes actuelles

Fantômes thyroïdiens

Pathologies hétérogènes

Étude préliminaire (^{131}I)

Fantômes thyroïdiens

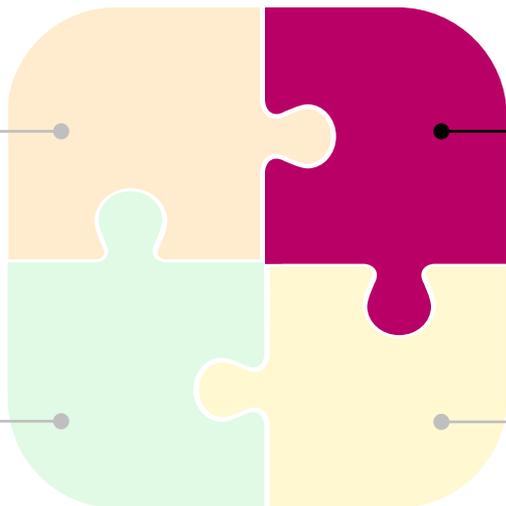
Pathologies homogènes

Étude systématique (^{123}I)
Développement d'une méthode de
quantification semi-automatique

Fantômes thyroïdiens

Pathologies homogènes

Études additionnelles



Protocol expérimental

Mesures de reproductibilité:

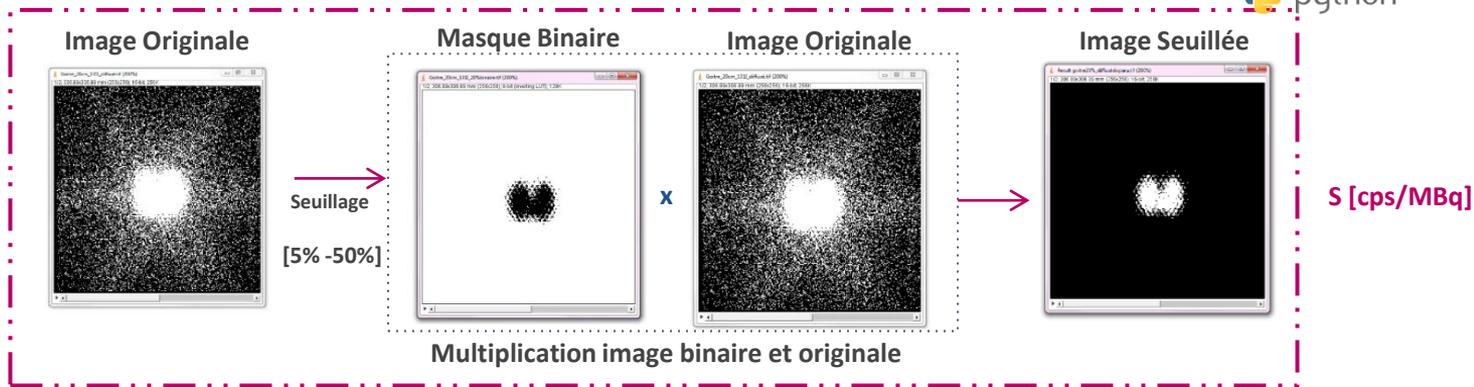
- 2 γ -cameras équipées du collimateur LEHR;
- 6 acquisitions / géométrie;
 - 2 distances: 20 and 30 cm;
 - 6 fantômes: 5 FANTHY et fantôme de routine (seringue)
- ^{123}I solution (~ 10 MBq /fantôme)
- 300 sec. / acquisitions

128 acquisitions



Analyse d'image : une nouvelle procédure semi-automatique basée sur le seuillage fixe d'image planaire

Processus automatisé  python



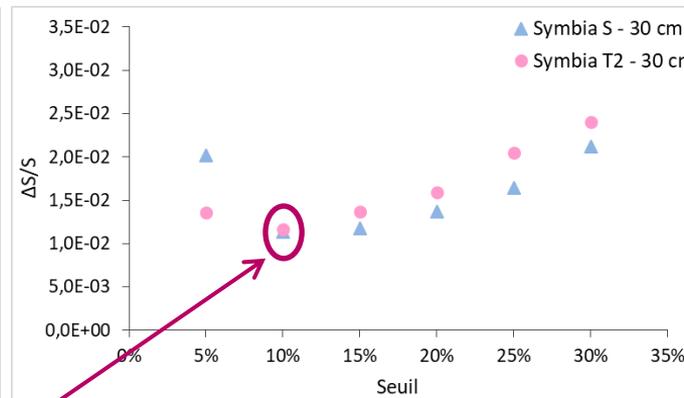
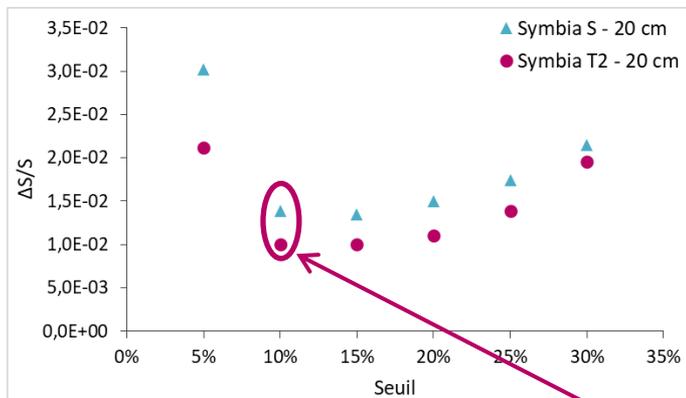


Résultats

Analyse quantitative des images:

- Sensibilité moyenne
 - Écart-type associé
- } \forall seuil

$$\longrightarrow \left(\frac{\sigma S}{\bar{S}}\right)_{seuil} = \left(\frac{\text{écart-type}(S)}{\text{moyenne}(S)}\right)_{seuil}$$



Seuil (10 %)
minimise l'influence du volume
thyroïdien

minimum de la courbe = seuil optimal
Étalonnage indépendant du fantôme utilisé

Seuils indépendants de la γ -caméra et de la
distance

➔ Étape de validation de la méthode : détermination des activités dans les fantômes thyroïdiens

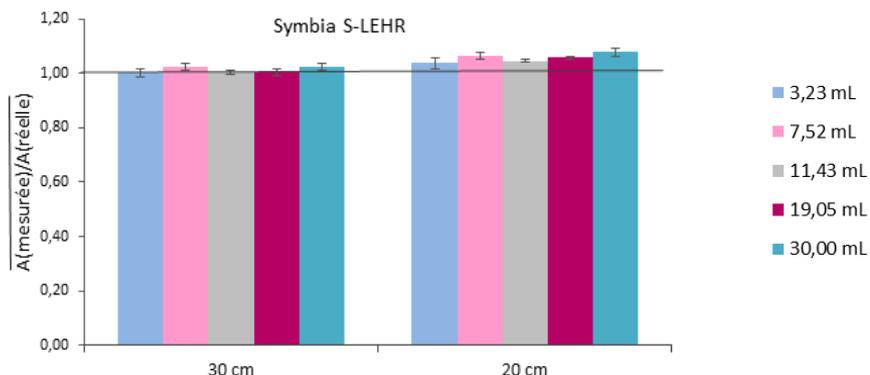
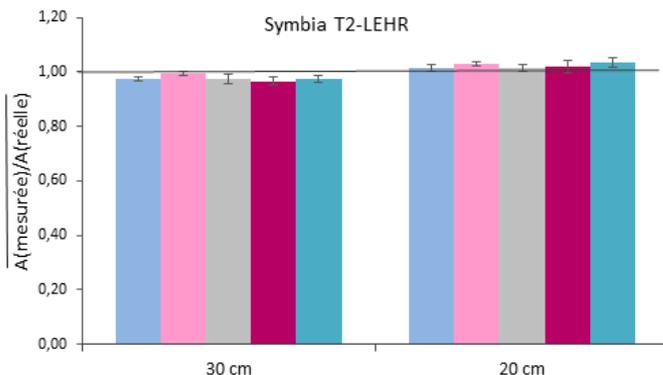


Résultats

Paramètres vérification:

- Étalonage : seringue à 30 cm seuillée à 10%
- Analyse image thyroïde : seuil à 10%

Biais max. (Symbia T2-LEHR) : **3%** (30 cm, 20 cm) vs 12% et 8% (protocole de routine)
 Biais max. (Symbia S-LEHR) : **2%** (30 cm), **8%** (20 cm) vs 20% et 18% (protocole de routine)



- 3,23 mL
- 7,52 mL
- 11,43 mL
- 19,05 mL
- 30,00 mL

Conclusion

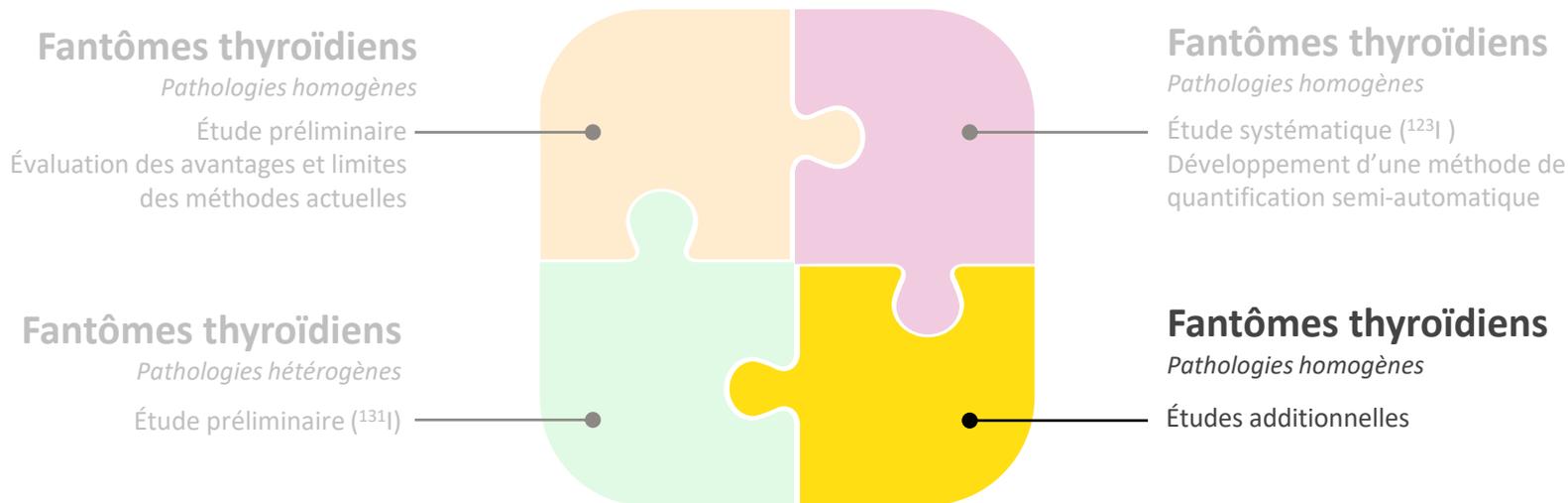
- Seuil optimal pour la quantification : 10%
- ROI semi-automatique : indépendante de l'opérateur
- Pas besoin de fantômes thyroïdiens complexes pour l'étalonnage de routine à 20 et 30 cm
- Minimise l'effet du volume thyroïdien.
- Étalonage robuste et adaptable à la routine

OBJECTIFS

Amélioration du traitement des pathologies bénignes de la thyroïde

Démontrer l'intérêt d'**utiliser** des **fantômes d'étalonnage réalistes**

afin d'**améliorer** les méthodes de **quantification** actuelles et d'en **étudier** les **limites**.



ÉTUDES ADDITIONNELLES

1 - Étude rétrospective



Hôpital
Bicêtre
AP-HP



Hôpital
Antoine-Béclère
AP-HP

• BDD disponible :

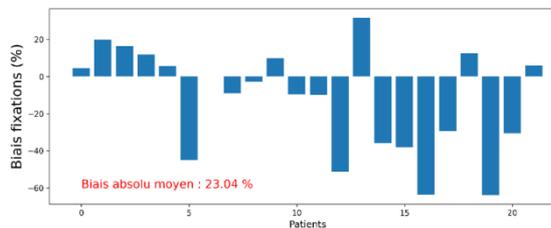
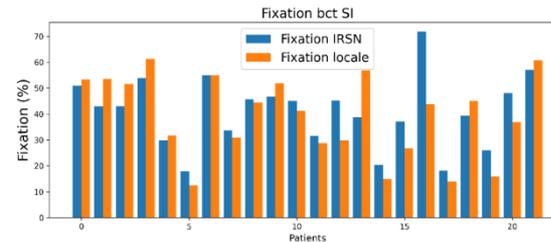
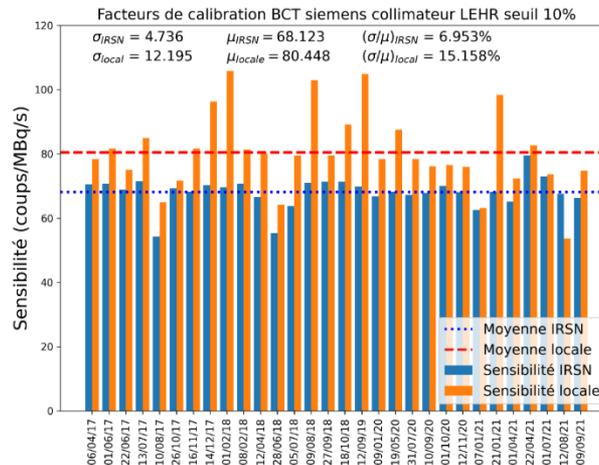
- 2 hôpitaux (Hôpital Bicêtre et Hôpital Antoine Béclère)
- 2 γ -caméras / hôpital
- 53 acquisitions du facteur d'étalonnage
- 52 images de patients traités pour la maladie de Basedow

• Facteurs de calibration – Hôpital Bicêtre

Centre	Gamma-caméra	ROI	Nb. de facteurs
Bicêtre	GE870DR	Automatique	5
Bicêtre	Symbia S	Manuelle	30

- Haute variabilité & surestimation de la sensibilité en local
- Méthode IRSN reproductible et indépendante de l'opérateur
- Quelques facteurs suspects malgré le soin apporté au tri des données

- Bilan sur le biais sur la fixation de 22 patients de l'hôpital Bicêtre imagés sur la Symbia S
 - Biais absolu moyen : 23%



ÉTUDES ADDITIONNELLES

2 – GT « Thyroïde »

- Objectifs :
 - Comparer les **protocoles de quantification** de la fixation thyroïdienne (^{99m}Tc & ^{123}I) employés dans **20 services de médecine nucléaire français** au moyen de fantômes thyroïdiens réalistes
 - Proposer des recommandations pour la détermination du facteur d'étalonnage
 - Caractériser les paramètres influant sur la quantification
- Protocole local vs. Protocole standardisé
- Utilisation des fantômes thyroïdes et analyse des images à l'aide de la méthode de segmentation semi-automatique (seuillage à 10%)

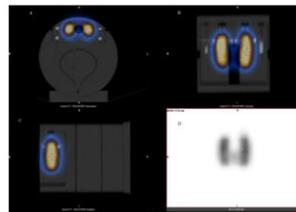
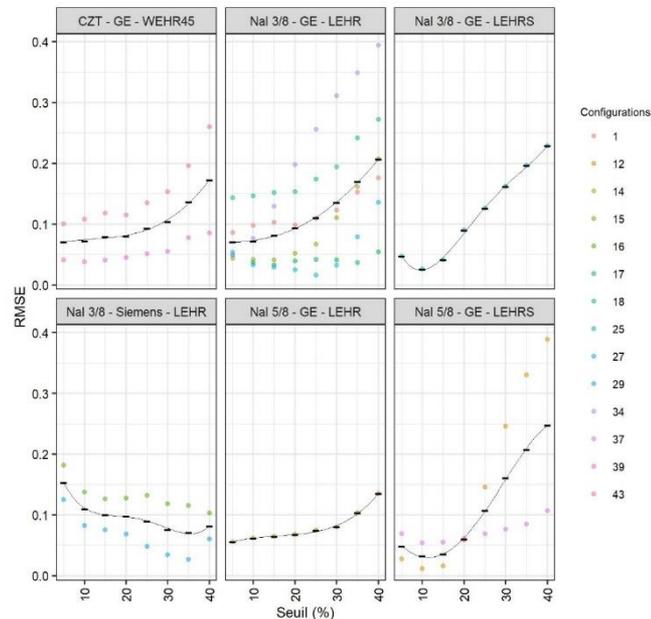


- Seuil à 10 % confirmé en collimateur parallèle (^{99m}Tc et ^{123}I), indépendant du modèle de γ -caméra et type collimateur (LEHR ou LEHRS)

3 – Quantif. CZT

- Comparaisons de la quantification thyroïdienne au ^{99m}Tc sur γ -caméra CZT
- Acquisitions : planaire vs SPECT/CT
- BDD 23 patients toutes pathologies thyroïdiennes confondues.

Collimateurs parallèle – ^{123}I – Conditions standardisés



ORIGINAL RESEARCH

Open Access

Quantitative analysis of ^{99m}Tc -pertechnetate thyroid uptake with a large-field CZT gamma camera: feasibility and comparison between SPECT/CT and planar acquisitions

Benjamin Serrano¹, Régis Amblard¹, Tiffany Beaumont², Florent Hugonnet³, Matthieu Dietz⁴, Frédéric Berthier⁵, Nicolas Garnier¹, Rémy Villeneuve¹, Valérie Nataf¹, François Mocquot¹, Christopher Montemagno⁶, Marc Faraggi³ and Benoît Paulmier¹

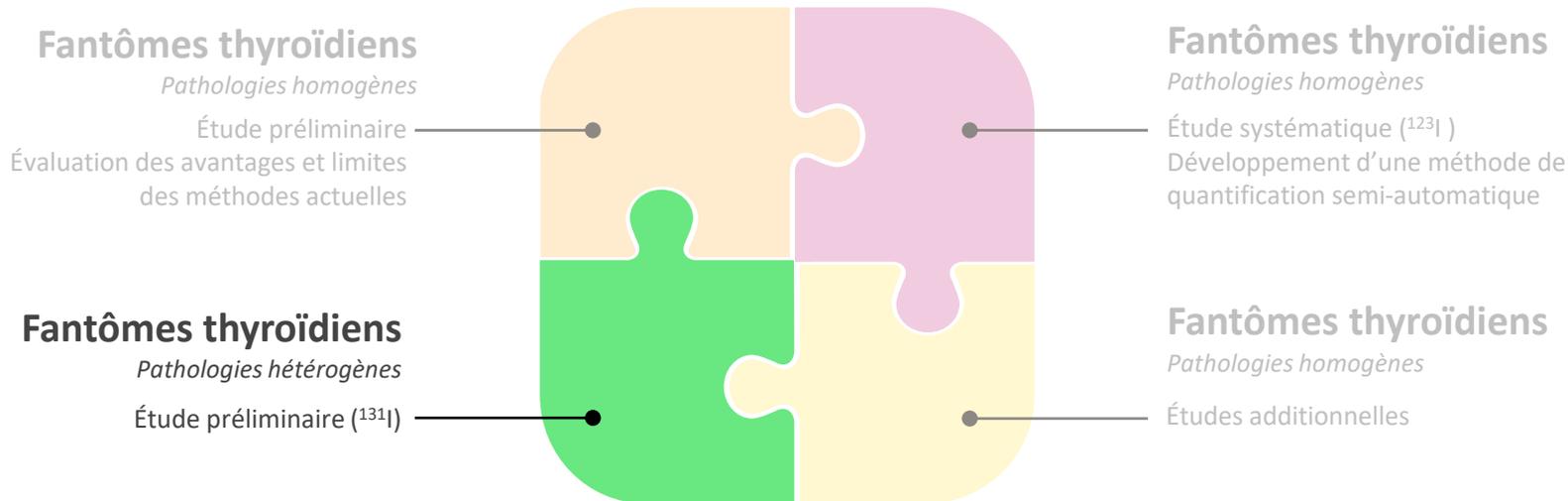


OBJECTIFS

Amélioration du traitement des pathologies bénignes de la thyroïde

Démontrer l'intérêt d'**utiliser** des **fantômes d'étalonnage réalistes**

afin d'**améliorer** les méthodes de **quantification** actuelles et d'en **étudier** les **limites**.



Fantômes thyroïdiens

Pathologies homogènes

Étude préliminaire

Évaluation des avantages et limites
des méthodes actuelles

Fantômes thyroïdiens

Pathologies homogènes

Étude systématique (^{123}I)

Développement d'une méthode de
quantification semi-automatique

Fantômes thyroïdiens

Pathologies hétérogènes

Étude préliminaire (^{131}I)

Fantômes thyroïdiens

Pathologies homogènes

Études additionnelles



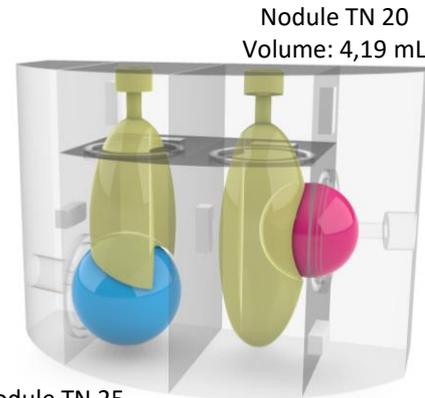
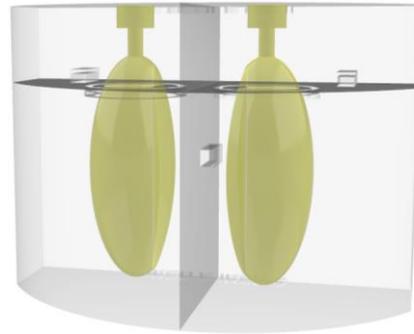
TRAITEMENT DES PATHOLOGIES BÉNIGNES DE LA THYROÏDE

Pathologies:

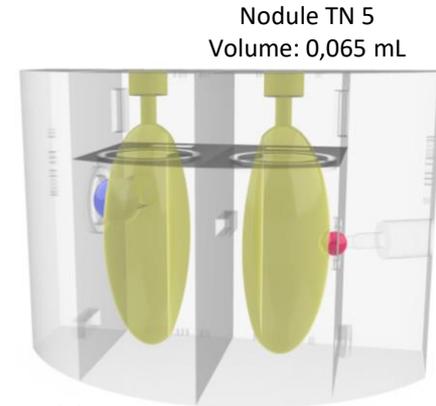
- Basedow
 - Goitre homogène ou multi-nodulaire
 - Nodules hyperfixants
 - Etc...
- } Traitées par irathérapie (¹³¹I)

Fantômes nodulaires modulable

Les parties gauches et droites peuvent s'intervertir



Nodule TN 25
Volume : 8,18 mL



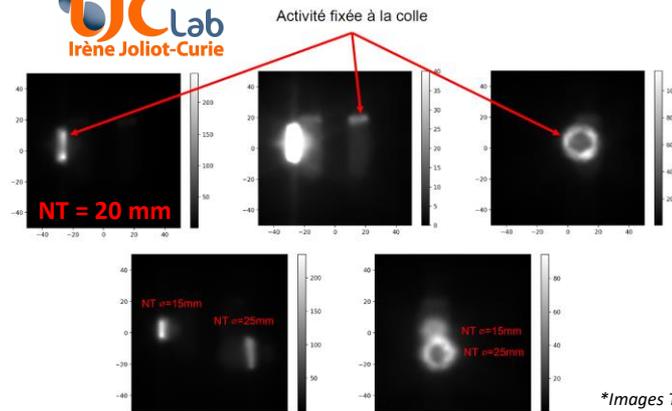
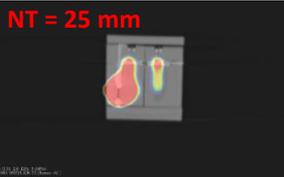
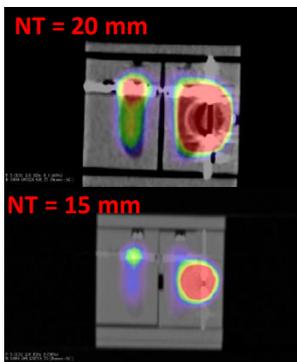
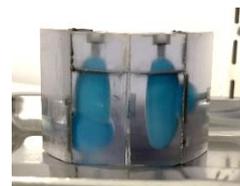
Nodule TN 10
Volume: 0,52 mL

ÉTUDE PRELIMINAIRE À I¹³¹I



BUT: Optimisation et validation des méthodes de routine du CLCC François Baclesse pour la quantification de I¹³¹I

- Siemens Symbia Intevo bold (5/8" avec collimateur HE)
- Nouvelle version de la gamma camera MOTI HR (champs 10x10 cm) [Projet THIDOS]
- Difficultés rencontrées:
 - Pénurie d'I¹³¹I liquide : dissolution d'une gélule & modification de la formulation de la colle
- Premières images :



*Images Thèse Théo Bossi IJCLab

Solution pour la colle trouvée / Méthode de dilution de la gélule en cours / Replanification des acquisitions prévue

Conclusion

Optimisation de la quantification pour les pathologies homogènes

Étude du protocole de routine

Identifier les limitations des méthodes d'étalonnage actuelles

- Nécessité de prendre en considération le rayonnement diffusé/bruit de fond
- Optimisation de la quantification
- Sous-estimation de l'évaluation de la fixation → surestimation de l'activité thérapeutique à injecter

Étude systématique ¹²³I

Protocole de seuillage → étalonnage robuste et adaptable à la routine

- Protocole identique entre l'étalonnage et la mesure patient
- Méthode semi-automatique
- Meilleure estimation de l'activité retenue

Perspectives

Optimisation de la quantification pour les pathologies nodulaires

Étude systématique pour optimisation et validation des méthodes de routine du CLCC François Baclesse pour la quantification à l'¹³¹I

- Siemens Symbia Intevo bold (5/8" avec collimateur HE)
- Nouvelle version de la gamma camera MOTI HR

Études additionnelles

1 - Étude rétrospective

- Méthode de quantification IRSN est reproductible et indépendante de l'opérateur
- Estimation de la fixation thyroïdienne plus fiable pour les patients traités pour la maladie de Basedow

2 – GT « Thyroïde » SFPM

- Mesures réalisées dans **20 services de médecine nucléaire français** avec les fantômes thyroïdiens réalistes
- Intérêt des fantômes réalistes pour la quantification et du protocole proposé
- Seuil à 10 % confirmé en collimateur parallèle (^{99m}Tc et ¹²³I), indépendant du modèle de γ -caméra et type collimateur (LEHR ou LEHRS)

Étendre l'étude aux problématiques des organes à risque

Glandes salivaires :

- Organe à risque lors de l'irathérapie et le traitement au ¹⁷⁷Lu-PSMA
- Effet secondaire : xérostomie
- Développement d'un fantôme réaliste pour l'optimisation de la quantification dans les glandes salivaires

MERCI POUR VOTRE ATTENTION



tiffany.beaumont@irsn.fr