



Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com



Guide

Guide pour la réalisation d'un examen de scintigraphie de vidange gastrique

French recommendations for gastric emptying scintigraphy 2.0

P. Pascal^{a,*}, O. Couturier^b, V. Ruggeri^c, C. Baillet^d, P.Y. Salaun^e, E. Cassol^a, M. Baurain^a, I. Quelvin^a

^a Service de médecine nucléaire, hôpital Rangueil, 1, avenue Jean-Poulhès, TSA 50032, 31059 Toulouse, France

^b Service de médecine nucléaire, centre hospitalier de Polynésie, BP 1640, rue du Général-de-Gaulle, 98716 Pirae, Polynésie française

^c Service de médecine nucléaire, CHU Grenoble, boulevard de la Chantourne, 38700 La Tronche, France

^d Service de médecine nucléaire, CHU Huriez, rue Michel-Polonovski, 59037 Lille, France

^e Service de médecine nucléaire, CHU Morvan, 3, avenue Foch, 29269 Brest, France

INFO ARTICLE

Historique de l'article :

Reçu le 9 janvier 2021

Accepté le 12 janvier 2022

Disponible sur Internet le xxx

Mots clés :

Scintigraphie

Vidange gastrique

Gastroparésie

Keywords:

Scintigraphy

Gastric emptying

Gastroparesis

RÉSUMÉ

Pourquoi s'intéresser en 2022 à la scintigraphie de la vidange gastrique ? Décrit pour la première fois en 1966, cet examen non invasif, quantitatif, a longtemps souffert d'un manque de standardisation des protocoles (type de repas, positionnement du patient, durée d'examen, fréquence de réalisation des images, méthode de quantification...), nécessitant en 2008 un consensus de la Société de neurogastro-entérologie et de motilité et de la Société de médecine nucléaire et d'imagerie moléculaire (SNMMI) détaillant les modalités de réalisation et d'interprétation de cet examen dans l'exploration des solides, et dans le but d'établir des valeurs normales de référence. Même si, malgré cette harmonisation des pratiques, il existe encore une grande variabilité des protocoles entre les centres, la scintigraphie de la vidange gastrique reste aujourd'hui le *gold standard* dans l'exploration de la gastroparésie, maladie chronique dont l'étiologie la plus fréquente est le diabète, et dont le retentissement sur la qualité de vie des patients peut être important. Les importants progrès faits ces dernières années dans la connaissance de la physiopathologie et dans la prise en charge de la gastroparésie confortent l'intérêt de la scintigraphie dans cette pathologie ; les indications, les modalités de réalisation et les critères d'interprétation de cet examen sont rappelés dans cette mise à jour des recommandations françaises de 2010.

© 2022 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

ABSTRACT

Why focus on gastric emptying scintigraphy in 2022? Described for the first time in 1966, this non-invasive, quantitative studies has long suffered from a lack of standardization of protocols (type of meal, patient positioning, examination duration, frequency of images, method of quantification, etc.), requiring in 2008 a consensus of the Society of Neurogastro-enterology and Motility and of the Society of Nuclear medicine and Molecular Imaging (SNMMI) detailing the methods and the interpretation criteria of this examination, particularly in the exploration of solids, and for the purpose of establishing normal reference values. Even if, despite this harmonization of practices, there is still a great variability in the protocols between the centers, gastric emptying scintigraphy remains today the gold standard in the exploration of Gastroparesis, a chronic disease of which diabete is the most common etiology, and the impact on the quality of life of patients can be significant. The significant progress in recent years in the knowledge of the pathophysiology and in the management of gastroparesis confirms the value of scintigraphy in this pathology; the indications, the methods and the interpretation criteria of this examination are recalled in this update of the French Recommendations of 2010.

© 2022 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : pascal.p@chu-toulouse.fr (P. Pascal).

<https://doi.org/10.1016/j.mednuc.2022.01.126>

0928-1258/© 2022 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

1. Informations et définitions préalables

La scintigraphie de vidange gastrique permet de suivre par comptage externe la vidange d'un repas test radiomarqué. C'est une méthode non invasive et physiologique qui permet d'objectiver et de quantifier les troubles de l'évacuation gastrique. La pratique d'un double marquage permet en outre l'étude séparée de la vidange des aliments solides et liquides.

1.1. Anatomie fonctionnelle de l'estomac

Physiologiquement, l'estomac se divise en deux parties ayant des fonctions distinctes. L'estomac proximal, comprenant le fundus et le corps, sert de réservoir pour les aliments solides et liquides. Lorsque la nourriture entre, le muscle de l'estomac se distend et s'adapte au volume ingéré. La nourriture est mélangée et brisée en particules plus petites, mélangée avec des enzymes et du suc gastrique et est pré-digérée. Le fundus contrôle le taux de vidange en générant un gradient de pression entre l'estomac et le duodénum. L'estomac distal, l'antrum, broie la nourriture en particules de 1 à 2 mm permettant le passage à travers le sphincter pylorique. Le temps nécessaire pour accomplir cela est connu sous le nom de période de latence « Lag phase » et dure normalement 20 à 30 min, au cours desquelles la vidange gastrique est minimale.

Une fois que les petites particules sont mélangées au suc gastrique, elles sortent de l'estomac de manière linéaire au même rythme que les liquides. Cette vidange résulte d'un gradient de pression. Les résultats d'une étude sur la vidange gastrique des liquides démontrent que le liquide quitte rapidement l'estomac de manière exponentielle, sans phase de latence.

La vidange gastrique est un processus physiologique complexe contrôlé par la composition physique et chimique du repas, par l'innervation sympathique et parasympathique de l'estomac et par les émetteurs neuroendocriniens en circulation. Le type de nourriture, le volume et le contenu calorifique affectent de manière significative le taux de vidange gastrique.

1.2. Dyspepsie fonctionnelle

L'exploration des dyspepsies fonctionnelles est la principale indication de la VGI.

La DF, présentant une prévalence d'environ 20 % en Europe, est un syndrome actuellement défini par les critères de Rome IV et consiste en la présence depuis plus de six mois d'au moins un symptôme parmi quatre suivant (sensation de plénitude gastrique post-prandiale, satiété précoce, douleur épigastrique ou brûlure épigastrique) en l'absence d'anomalie organique (notamment à l'endoscopie haute). Deux sous-types sont distingués : le syndrome de détresse post-prandiale ou SDPP (caractérisé par une plénitude post-prandiale au moins trois jours par semaine, gênant les activités ou une satiété précoce empêchant de terminer un repas de taille habituelle), et le syndrome de douleur épigastrique ou SDE (caractérisé par une douleur ou une brûlure épigastrique gênant les activités habituelles survenant au moins une fois par semaine). Certains patients sont néanmoins inclassables dans un sous-groupe, il existe des chevauchements entre les deux et d'autres symptômes fonctionnels peuvent coexister. Il n'existe de retard de la vidange gastrique des solides que chez un tiers de ces patients.

1.3. Gastroparésie

La gastroparésie est un état physiopathologique caractérisé par un ralentissement objectif de la vidange gastrique, le plus souvent symptomatique, sans obstacle organique. Les symptômes sont

variés : nausées, vomissements, satiété précoce, éructations, douleur épigastrique, plénitude gastrique, ballonnements, etc., et tout cela d'autant plus en période post-prandiale.

Du fait d'une mauvaise valeur prédictive des symptômes évocateurs et de l'absence de corrélation entre sévérité des symptômes et sévérité du ralentissement, une confirmation par une étude de la vidange gastrique est nécessaire.

La gastroparésie est idiopathique dans un tiers des cas, les principales causes documentées étant le diabète, la maladie de Parkinson et la chirurgie gastrique (notamment la vagotomie). Il existe de nombreuses autres causes, neurogènes (AVC, SEP, etc.) ou myogènes (sclérodémie, amylose, etc.).

1.4. Dumping Syndrome

La vidange gastrique rapide, également appelée « Dumping syndrome », est souvent observée après une chirurgie gastrique. Les symptômes précoces, qui se manifestent au cours de la première heure suivant l'alimentation, comprennent la diarrhée, des douleurs abdominales, des nausées, des ballonnements et des symptômes vasomoteurs. Les symptômes tardifs incluent des palpitations, une faiblesse et un évanouissement dû à une hypoglycémie réactive secondaire à une réponse insulinaire exagérée.

2. Indications

Indications reposant sur des travaux d'expérimentation ou d'observation fiables :

A - Dyspepsie fonctionnelle :

- diagnostic positif et quantification du syndrome dyspeptique ;
- suivi de l'efficacité thérapeutique du traitement (prokinétique).

B - Suspicion de gastroparésie diabétique :

- diagnostic positif et évaluation de la sévérité ;
- attribution à une éventuelle gastroparésie d'une instabilité glycémique (notamment en cas d'épisodes d'hypoglycémie post-prandiale sous insuline).

C - Évaluation de l'efficacité d'un traitement (prokinétique, myotomie pylorique, injection pylorique de toxine botulique, neurostimulation gastrique).

D - Reflux gastro-œsophagien, notamment avant éventuelle fundoplicature.

E - Complications de la chirurgie gastrique

F - Autres indications potentielles (liste non exhaustive) :

- objectivation d'une atteinte motrice du tractus digestif haut dans certaines maladies de système (sclérodémie, polymyosite...) et du système nerveux (Parkinson...);
- greffes cœur-poumons et rein-pancréas avant et parfois immédiatement après la greffe, afin de guider la réalimentation.

3. Contre-indications

- Allergie aux éléments composant le repas test (œuf notamment) ;
- Grossesse ;
- Patient grabataire ;
- Hypoglycémie (taux de glucose sanguin < 40 mg/dL).

4. Réalisation de l'examen

4.1. Informations et dispositions souhaitables pour un examen de qualité

4.1.1. Lors de la prise du rendez-vous

- Rechercher une contre-indication à l'examen ;
- Évaluer la capacité du patient à réaliser l'examen (position debout, possibilité d'ingérer par voie orale le repas, maladie psychiatrique...);
- Demander si le patient est diabétique ;
- Vérifier l'absence d'autre scintigraphie programmée dans les jours précédents (délai de 48 h minimum entre deux scintigraphies au ^{99m}Tc) ;
- S'informer du traitement suivi par le patient, les médicaments susceptibles de modifier la vidange de l'estomac devant être arrêtés au moins 48 h avant l'examen (cf. § interactions médicamenteuses).

4.1.2. Facteurs pouvant influencer la vidange des solides

Plusieurs facteurs liés au patient influencent le taux de vidange gastrique. Le strict respect des instructions de préparation est essentiel pour assurer la standardisation et la validité des résultats.

4.1.2.1. Le Jeun. De préférence, l'examen doit être réalisé le matin après une nuit de jeûne. Si cela n'est pas possible, un jeûne de 4 à 6 h est recommandé.

4.1.2.2. Le cycle prémenstruel. La vidange gastrique des solides varie selon les phases du cycle menstruel. La vidange est plus lente pendant la phase lutéale (post-ovulation), qui est associée à une élévation des taux sériques de progestérone. Il est donc préférable de réaliser l'examen durant les dix premiers jours du cycle menstruel, ce qui permet également de limiter le risque de grossesse. Il n'y a pas de variation significative de la vidange des liquides pendant la phase menstruelle.

4.1.2.3. La glycémie. L'hyperglycémie retarde la vidange gastrique. Chez les patients diabétiques, un contrôle de la glycémie est nécessaire avant l'examen. L'insuline prise habituellement doit être ajustée en fonction des conditions de réalisation du repas (durée de 4 h, durée du jeûne préalable, composition du repas...). La glycémie doit être idéalement inférieure à 275 mg/dL et supérieure à 0,4 mg/dL. Le suivi glycémique (carnet de surveillance, lecteur glycémique) peut être intéressant à prendre en compte.

4.1.2.4. Le tabac. Les patients ne doivent pas fumer le matin et lors de la réalisation de l'examen. Le tabagisme ralentit la vidange des solides.

4.1.2.5. Les médicaments. De nombreux médicaments peuvent influencer la vidange gastrique et doivent être répertoriés avant la procédure. L'examen peut également être réalisé suite à l'introduction d'un traitement pour en mesurer l'efficacité.

Les agents prokinétiques, tels que le métoclopramide, le cisapride (Propulsid), dompéridone (Motilium) et l'érythromycine doivent être arrêtés au moins 2 jours avant le test, sauf dans le cas d'une évaluation sous traitement. Chez les patients atteints de gastroparésie et sous agents prokinétiques, la vidange gastrique peut être normale.

Les médicaments analgésiques opiacés retardent la vidange gastrique comme la mépéridine, la codéine, la morphine et l'oxycodone et doivent être arrêtés idéalement pendant 2 jours.

Les agents antispasmodiques anticholinergiques tels que la dicyclomine (Bentyl), Donnatal, hyosciamine (Levsin) et glycopyrrolate (Robinul) sont généralement arrêtés pendant 2 jours.

Les antidépresseurs, inhibiteurs calciques, les supprimeurs d'acidité gastrique et les antiacides contenant de l'aluminium doivent également être interrompus, généralement pendant 48 à 72 h.

Les laxatifs ne doivent pas être pris la veille du test.

Les autres médicaments pouvant affecter la vidange gastrique comprennent l'atropine, la nifédipine, la progestérone, l'octréotide, la théophylline, la benzodiazépine et la phénolamine.

4.1.2.6. Les antécédents. La recherche préalable de pathologies (hernie hiatale, reflux gastro-œsophagien, troubles de la motilité de l'œsophage, maladie systémique...) et d'éventuelles interventions chirurgicales antérieures sur l'estomac ou sur l'abdomen est nécessaire pour une bonne interprétation de l'examen.

Chez le patient diabétique, la gastroparésie est souvent associée aux complications micro-angiopathiques du diabète (rétinopathie, neuropathie, néphropathie...).

4.2. Information et préparation du patient

4.2.1. Information

Afin d'améliorer l'adhésion du patient et de s'assurer du bon déroulement de l'examen, une information claire et précise doit être donnée au patient concernant les contraintes logistiques de l'examen : contenu du repas, obligation de consommer le repas en moins de 10 min, durée de la procédure, nombre d'images acquises, restriction d'activité et position au moment et entre l'acquisition des images.

Lors de la prise du rendez-vous, préciser au patient :

- le début de l'examen à 8 h du matin après une nuit de jeûne (depuis la veille au soir) ;
- l'arrêt 48 h avant l'examen des traitements risquant d'interférer avec la vidange gastrique (cf interactions médicamenteuses) ;
- la durée approximative de 4 h de l'examen ;
- son caractère non invasif, ne comportant pas d'injection ;
- la composition du repas dont l'œuf.

Le matin de l'examen, préciser au patient :

- la nécessité d'ingérer le repas selon un protocole bien établi ;
- la nécessité de garder la même position debout ou assise (stable et confortable) durant toutes les images ;
- la durée d'examen dépendante de la vitesse de vidange avec un minimum de 3 h ;
- l'interdiction de boire, manger ou fumer durant tout l'examen ;
- si possible, ne pas s'allonger entre les acquisitions (le décubitus ralentissant la vidange gastrique).

4.2.2. Préparation du patient

- Réalisation de tous les examens le matin (variations nyctémérales) ;
- Repas identique pour tous les patients (et témoins) ;
- Même position debout ou assise pour toutes les acquisitions d'un même examen (jamais couchée sauf si nécessité) ;

- Pose éventuelle d'électrodes thoraciques pour le repérage des images ;
- Pour les diabétiques, surveillance de la glycémie avant et après la prise du repas ;
- Pour les patients diabétiques ambulatoires chez qui le jeûne est à l'origine d'hypoglycémies, discuter éventuellement de la réalisation de l'examen après mise en place d'une perfusion (hospitalisation éventuelle).

4.3. Précautions

4.3.1. Effets secondaires possibles

- Allergie au repas ;
- Risques liés au jeûne chez le diabétique.

4.3.2. Interférences médicamenteuses possibles à rechercher par l'interrogatoire et l'examen du dossier (cf. 4.1.2.5)

Érythromycine, métopimazine (et famille des benzamides), dompéridone (et famille des butyrophénones), métopimazine (et famille des phénothiazines), antihistaminiques H2, Inhibiteurs de la pompe à protons, morphiniques.

4.4. Le radiopharmaceutique

Il est possible d'effectuer un radio-marquage de la phase solide seule ou un marquage séparé des deux phases solide et liquide du repas. L'examen de la phase liquide seule manque de sensibilité et n'est pas conseillé.

Le protocole de consensus américain publié en 2008 propose de ne marquer en routine clinique que la phase solide et de réserver le double marquage pour les cas particuliers, notamment après chirurgie gastrique (dumping syndrome...). Nous conseillons également le double marquage dans l'étude des gastroparésies diabétiques.

4.4.1. Caractéristiques physiques des radionucléides utilisés

4.4.1.1. *Traceur de la phase solide.* C'est le technétium ^{99m}Tc , radionucléide produit à l'aide d'un générateur molybdène-technétium (. Le molybdène ^{99}Mo , élément père, décroît par émission β^- vers le ^{99m}Tc et le ^{99}Tc avec une période physique de 65,94 h.

Le ^{99m}Tc a une période physique de 6 h et décroît par émission γ (raie unique à 140 keV) vers le ^{99}Tc (99,9963 %) (considéré comme stable, période physique égale à $0,211 \cdot 10^6$ années) et vers le ruthénium ^{99}Ru stable (0,0037 %).

4.4.1.2. *Traceur de la phase liquide.* C'est l'indium ^{111}In , qui décroît avec une période physique de 2,81 jours par capture électronique et émission γ vers le cadmium ^{111}Cd . L' ^{111}In est un produit de cyclotron.

Il est à noter que si les acquisitions du transit phase solide et phase liquide ne sont pas réalisées simultanément en double

Tableau 1

Caractéristiques physiques des radionucléides de la scintigraphie de la vidange gastrique.

Physical characteristics of radionuclides in gastric emptying scintigraphy.

Radionucléide	Période	Energie photons γ (keV)
^{99m}Tc	6 h	140 (99,9 %)
^{111}In	2,81 jours	173 (90 %) 247 (9 %)

isotope, le transit en phase liquide peut être réalisé avec le ^{99m}Tc (Tableau 1).

4.4.2. Caractéristiques des molécules vectrices utilisées

- La fixation des radioéléments par l'intermédiaire de la molécule vectrice, sur la phase solide ou liquide, doit rester stable tout au long de la vidange pour permettre une étude séparée des deux phases du repas. Les traceurs utilisés doivent marquer exclusivement la phase liquide ou solide du repas ; le marqueur de la phase solide ne doit marquer ni la phase liquide du repas, ni le suc gastrique. Par exemple, un marquage non stable de la phase solide conduira à sous-évaluer le temps de vidange des solides (faussement plus rapide car la partie non liée transitera avec les liquides) ;
- Le radioélément doit rester dans le tube digestif et ne doit pas être absorbé au niveau du tractus gastrointestinal ;
- La molécule vectrice doit pouvoir se lier à l'albumine (protéine de blanc d'œuf) qui sera utilisée pour marquer la phase solide.

Plusieurs molécules vectrices peuvent être utilisées pour marquer la phase solide :

- il s'agit des phytates (Phytacis[®]) et des colloïdes : le sulfure de rhénium colloïdal (Nanocis[®]), (diamètre moyen des particules autour de 100 nm), et le nanocolloïde d'albumine humaine (Nanocoll[®], ROTOP NanoHSA[®]), de diamètre moyen inférieur à 80 nm. Ces différentes molécules sont destinées à être radio-marquées à l'aide de ^{99m}Tc ;
- en France, seuls le Nanocis[®], le Pentacis et le Technescan-DTPA disposent de l'AMM dans cette indication ;
- la molécule vectrice radiomarquée sera le plus souvent fixée à l'albumine du blanc d'œuf, après séparation du blanc et du jaune d'un œuf. La viande de bœuf ou le foie de poulet sont plus rarement proposés. D'autres alternatives ont aussi parfois été utilisées par les patients allergiques aux œufs ou végétaliens comme le marquage de compléments nutritionnels buvables. La cuisson du repas provoque une modification de la conformation de l'albumine autour des molécules vectrices qui sont ainsi piégées au sein d'une « cage » moléculaire d'albumine.

Les liquides sont marqués par l'intermédiaire du DTPA :

L' ^{111}In -DTPA est un radiopharmaceutique prêt à l'emploi. Le DTPA étant hydrophile, il sera dilué dans un petit volume de sérum physiologique puis, pour constituer la phase liquide, mélangé à un verre d'eau le plus souvent ou éventuellement de jus d'orange ou de lait.

À noter que du ^{99m}Tc -DTPA peut être utilisé si l'étude du transit des liquides n'est pas réalisée en même temps que les solides. Les trousse Pentacis[®] ou Technescan[®] DTPA peuvent être alors marquées à l'aide de ^{99m}Tc . Tout comme l' ^{111}In -DTPA, la préparation de ^{99m}Tc -DTPA sera ensuite mélangée à un liquide.

4.4.3. Préparation des radiopharmaceutiques technétiés

4.4.3.1. *Préparation.* 4.4.3.1.1. ^{99m}Tc -Nanocis[®]. Les précautions appropriées d'asepsie et de radioprotection doivent être respectées

La trousse de Nanocis[®] se compose de deux flacons : le flacon A (sulfure de rhénium) et le flacon B (pyrophosphate de sodium) :

- à l'aide d'une seringue hypodermique, introduire à travers le bouchon préalablement désinfecté d'un flacon B 2 mL d'eau pour préparations injectables et agiter le flacon jusqu'à la dissolution du produit. Ne pas utiliser d'aiguille de mise à l'air, le mélange lyophilisé étant sous atmosphère d'azote ;

- sans utiliser d'aiguille de mise à l'air, introduire 0,5 mL du contenu du flacon B dans un flacon A. Agiter ;
- placer le flacon A dans une protection de plomb appropriée. Sans utiliser d'aiguille de mise à l'air, introduire 1 à 2 mL de solution injectable stérile et apyrogène de pertechnétate (^{99m}Tc) de sodium (à partir d'un générateur de technétium [^{99m}Tc] dont la précédente élution date de moins de 24 h), l'activité utilisée variant en fonction du volume utilisé, de 370 à 5550 MBq. Prélever, sans retirer l'aiguille du bouchon, un volume équivalent de gaz (azote) afin d'éviter toute surpression dans le flacon ;
- agiter le flacon pendant 2 min environ ;
- placer le flacon A sans la protection de plomb, dans un bain-marie bouillant pendant 15 à 30 min. Refroidir le flacon sous un jet d'eau froide.
- mesurer l'activité totale du flacon et l'étiqueter.

4.4.3.1.2. ^{99m}Tc-Nanocoll[®] ou ^{99m}Tc-ROTOP-NanoHSA[®]. Les précautions appropriées d'asepsie et de radioprotection doivent être respectées.

Le flacon contient une poudre de particules de nanocolloïdes d'albumine humaine.

- Placer le flacon contenant les particules dans un conteneur de plomb approprié ;
- Introduire dans le flacon, de façon aseptique, 1 à 5 mL de solution stérile de pertechnétate (^{99m}Tc) de sodium d'une activité comprise entre 185 et 5550 MBq ;
- Ne pas utiliser d'aiguille de prise d'air. Réduire l'excès de pression dans le flacon en aspirant un volume identique de gaz dans la seringue ;
- Retourner doucement plusieurs fois pour dissoudre le contenu du flacon ;

- Laisser reposer pendant 30 min pour le Nanocoll et 10 min pour le ROTOP-NanoHSA[®] ;
- Mesurer l'activité totale du flacon et l'étiqueter.

4.4.3.1.3. ^{99m}Tc-Phytacis[®]. Les précautions appropriées d'asepsie et de radioprotection doivent être respectées :

- prendre un flacon de la trousse et le placer dans une protection de plomb appropriée ;
- à l'aide d'une seringue, introduire à travers le bouchon un volume maximal de 10 mL de solution injectable stérile et apyrogène de pertechnétate (^{99m}Tc) de sodium, l'activité utilisée variant en fonction du volume et ne dépassant pas 9250 MBq ;
- ne pas utiliser d'aiguille de mise à l'air, le mélange lyophilisé étant sous atmosphère d'azote ;
- prélever, sans enlever l'aiguille du bouchon, un volume équivalent d'azote afin d'éviter toute surpression dans le flacon ;
- agiter pendant 2 min environ afin de dissoudre le lyophilisat ;
- si besoin, rajouter aseptiquement du NaCl 0,9 % jusqu'à un volume final dans le flacon de 10 mL maximum ;
- mesurer l'activité totale du flacon et l'étiqueter.

4.4.3.1.4. ^{99m}Tc-Technescan DTPA[®]. Les précautions appropriées d'asepsie et de radioprotection doivent être respectées :

- prendre un flacon de la trousse et le placer dans une protection de plomb appropriée ;
- à l'aide d'une seringue, introduire à travers le bouchon, 2 à 10 mL de solution injectable stérile et apyrogène de pertechnétate (^{99m}Tc) de sodium, l'activité utilisée variant, en fonction du volume utilisé, de 5 à 12 000 MBq ;

Tableau 2

Résumé des caractéristiques des radiopharmaceutiques disponibles pour la scintigraphie de la vidange gastrique. Données extraites des résumés des caractéristiques des produits (RCP).

Summary of characteristics of radiopharmaceuticals available for gastric emptying scintigraphy. Data extracted from the Summaries of Product Characteristics (SPC).

Trousse	Structure	pH	Contrôle visuel	Contrôle qualité Support (S) Phase Mobile (PM)	Conservation avant (A) et après (B) radio-marquage
Nanocis [®]	Nanocolloïdes	4-7	Solution colloïdale brun clair	S : Papier Whatman 1 PM : méthyléthylcétone	A : +2 °C et +8 °C B : température ambiante 6 h
Nanocoll [®]	Nanocolloïdes d'albumine humaine (Médicament dérivé du sang)	7-8	Suspension colloïdale	S : Papier Whatman 1 PM : méthanol/eau (85/15 v/v) Alternative : S : TLC-SA PM : méthanol/eau (85/15 v/v)	A : +2 °C et +8 °C B : température ambiante 6 h
ROTOP-NanoHSA [®]	Nanocolloïdes d'albumine humaine (Médicament dérivé du sang)	7-8	Suspension colloïdale	S : KG 60 PM : acétone Alternative : S : ITLC-SA PM : méthyléthylcétone	A : +2 °C et +8 °C B : température ambiante 6 h
Phytacis [®]	Phytate	6-7	Solution limpide et incolore	PM : méthanol/eau (80/20 v/v) S : Papier Whatman 1	A : +2 °C et +8 °C B : +2 °C et +8 °C 8 h
Technescan DTPA [®]	Acide pentétique	4-7,5	Solution limpide et incolore	S : 2 × ITLC-SG PM n° 1 : chlorure de sodium à 0,9 % PM n° 2 : méthyléthylcétone	A : +8 °C et 25 °C B : température ambiante 8 h
Pentacis [®]	Pentétate de calcium trisodique	4-7,5	Solution limpide et incolore	S : 2 × Papier Whatman 1 PM n° 1 : chlorure de sodium à 0,9 % PM n° 2 : méthyléthylcétone Alternative : S : 2 × ITLC-SG PM n° 1 : chlorure de sodium à 0,9 % PM n° 2 : méthyléthylcétone	A : +2 °C et +8 °C B : +2 °C et +8 °C 4 h

- ne pas utiliser d'aiguille de mise à l'air, le mélange lyophilisé étant sous atmosphère d'azote. Après introduction du volume requis de pertechnétate (^{99m}Tc) de sodium, prélever, sans enlever l'aiguille du bouchon, un volume équivalent d'azote afin de supprimer la surpression dans le flacon ;
- agiter pendant 2 min environ ;
- après 15 à 30 min d'incubation à 15–25 °C, la préparation est prête pour l'emploi ;
- mesurer l'activité totale du flacon et l'étiqueter.

4.4.3.1.5. ^{99m}Tc -Pentacis®. Les précautions appropriées d'asepsie et de radioprotection doivent être respectées :

- prendre un flacon de la trousse et le placer dans une protection de plomb appropriée ;
- à l'aide d'une seringue, introduire à travers le bouchon 5 mL de solution injectable stérile et apyrogène de pertechnétate (^{99m}Tc) de sodium, l'activité utilisée variant de 3,7 MBq à 2000 MBq ;
- ne pas utiliser d'aiguille de mise à l'air, le mélange lyophilisé étant sous atmosphère d'azote. Après introduction du volume requis de pertechnétate (^{99m}Tc) de sodium, prélever, sans enlever l'aiguille du bouchon, un volume équivalent d'azote afin de supprimer la surpression dans le flacon ;
- agiter pendant 2 min environ ;
- mesurer l'activité totale du flacon et l'étiqueter.

4.4.3.2. *Contrôle de qualité des radiopharmaceutiques technétiés*. Les paramètres de contrôles propres à chaque préparation sont spécifiés dans le [Tableau 2](#).

Le contrôle inclus :

- le contrôle du pH ;
- le contrôle visuel des caractères organoleptiques ;
- la chromatographie sur Couche Mince (CCM) :
 - déposer à 1 cm du bord inférieur du support de chromatographie spécifique une goutte de la préparation,
 - laisser sécher le dépôt à l'air libre,
 - placer la bandelette dans la cuve chromatographique contenant la phase mobile,
 - laisser migrer la phase mobile jusqu'à 0,5 cm du bord supérieur de la bandelette,
 - laisser sécher la bandelette,
 - déterminer la distribution de la radioactivité le long du chromatogramme à l'aide d'un radiochromatographe ou en coupant la bandelette en deux et en comptant la partie supérieure et la partie inférieure de la bandelette à l'aide d'un compteur gamma,
 - identifier chaque zone radioactive et déterminer son Rf : celle des ^{99m}Tc -colloïdes ou ^{99m}Tc -Phytates est égale à 0 et celle de l'ion pertechnétate (^{99m}Tc libre) est égale à 0,8–1 pour les CCM des nanocolloïdes et de 0,6 pour les phytates ;
- calculer la pureté radiochimique (PRC) selon la formule :
 - $\text{PRC} (\%) = \left(\frac{^{99m}\text{Tc}\text{-vecteur}}{^{99m}\text{Tc}\text{-vecteur} + ^{99m}\text{Tc libre} + ^{99m}\text{Tc hydrolysé}} \right) \times 100$,
 - la PRC doit être au moins égale à 95 %

4.4.3.3. *Conservation et stabilité*.

- Le flacon doit être conservé dans sa protection de plomb, à une température ambiante ou comprise entre + 2 °C et +8 °C, selon la préparation ;
- La suspension ainsi préparée doit être utilisée dans un délai de 6 à 8 h selon la préparation.

4.4.3.4. *Préparation de la seringue de radiopharmaceutiques technétiés destinés au marquage de la phase solide*.

- **La suspension de nanocolloïdes doit être agitée avant chaque prélèvement ;**
- Désinfecter le bouchon du flacon de nanocolloïdes/phytates ;
- Prélever à l'aide d'une seringue une activité de 37 à 55 MBq de nanocolloïdes/phytates technétiés qsp 1 mL de sérum physiologique si nécessaire.

4.4.4. *Préparation de l'omelette pour les repas à base d'œuf*

- Laver les œufs ;
- Casser un œuf frais dans un bol en prenant soin de bien séparer le blanc du jaune. Mettre le blanc dans un verre et réserver le jaune ;
- Disposer le verre dans un pot plombé ;
- Piquer la surface du blanc d'œuf par une vingtaine de points d'injection avec la seringue de nanocolloïdes/phytates technétiés. Réaliser des va et viens pour rincer la seringue ;
- Homogénéiser doucement à l'aide d'une seringue de 20 mL en aspirant/refoulant 10 fois ;
- Faire cuire la préparation radiomarquée dans une poêle, préalablement graissée avec 3 g d'huile d'olive, en l'étalant comme une crêpe, sans spatule ;
- Attendre la coagulation complète du blanc, en couvrant partiellement avec le couvercle ;
- Verser le jaune par-dessus, l'étaler à la spatule et finir la cuisson douce

△△ *L'omelette doit être bien cuite (ferme, non baveuse) pour assurer une bonne stabilité du marquage albumine-nanocolloïdes/phytates technétiés.*

△△ *La quantité de graisses utilisées pour faire cuire l'omelette peut influencer notablement le temps de vidange : il faut utiliser la même quantité de matière grasse pour chaque repas, d'où l'intérêt d'utiliser par exemple une plaque de beurre de 10 g pour la reproductibilité ou de peser la masse d'huile utilisée.*

△△ *Le substitut d'œuf peut être également utilisé car il a un pourcentage de liaison élevé et est moins susceptible de se désintégrer dans le liquide gastrique. Si le traceur se sépare des protéines, les résultats des tests varient car le repas devient un mélange mi-solide, mi-liquide. Environ 80 % des ^{99m}Tc -nanocolloïdes restent liés au substitut d'œuf au bout de 3 h. Le substitut d'œuf conserve également une consistance plus ferme.*

△△ *Attention à la surcuisson qui libère l'hydrogène sulfuré de l'albumine (odeur de soufre).*

△△ *Il est également possible de faire cuire la préparation au micro-ondes mais des études ont montré une stabilité diminuée lors de la digestion de la préparation, par rapport à la cuisson sur plaque électrique.*

△△ *Il est très important de ne marquer que le blanc de l'œuf et de le faire cuire à part pour augmenter la stabilité et l'homogénéité de la préparation lors de la vidange gastrique.*

4.4.5. *Préparation des repères cutanés*

- Préparer dans une seringue de 2 mL 20 MBq de pertechnétate (^{99m}Tc]TcO₄-) qsp 2 mL de sérum physiologique ;
- Utiliser une aiguille 18G et le biseau toujours positionné de la même façon pour que les gouttes aient un volume constant d'un examen à l'autre ;

Tableau 3

Dosimétrie de la vidange gastrique. Pour un repas radiomarqué avec 7,4 MBq d'indium 111 et 37 MBq de technétium 99m, la dose efficace est de 3,1 mSv. *Dosimetry of gastric emptying. For a meal radiolabelled with 7.4 MBq of indium 111 and 37 MBq of technetium 99m, the effective dose is 3.1 mSv.*

Isotopes	Dose efficace mSv/MBq	Dose absorbée par unité d'activité administrée pour l'organe le plus sensible mGy/MBq
^{99m} Tc-œuf	0,024	0,12 ^a
¹¹¹ In-DTPA	0,31	2,16 ^b

^a Organe critique = colon supérieur.

^b Organe critique = sigmoïde.

- Disposer les repères (électrodes par exemple) sur un plateau en carton et déposer dessus une goutte de [^{99m}Tc] TcO₄⁻ ;
- Éviter le contact direct entre la peau et la partie du repère sur laquelle a été déposée la goutte de pertechnétate (par exemple, remettre en place la protection de chaque électrode) ;
- On vérifiera sous la caméra que les électrodes sont visibles (signal ni trop faible ni trop intense) avant de les positionner sur le patient ;
- Il est également possible d'effectuer sous caméra un repérage avec l'aide d'un crayon de Cobalt.

4.4.6. Activité administrée, mode d'administration et données dosimétriques

4.4.6.1. Activité administrée et mode d'administration.

- 5,5 à 9,25 MBq d'¹¹¹In-DTPA ou 10 à 20 MBq de ^{99m}Tc-DTPA dans une seringue de 2 mL de sérum physiologique, mélangés par la suite à un verre d'eau le plus souvent (120 mL) ;
- 37 à 55 MBq de phytates/nanocolloïdes de ^{99m}Tc avec l'omelette.

△ △ Le rapport d'environ 1 à 5 entre l'activité d'indium et celle de technétium vise à limiter la contribution du front Compton de l'indium dans la fenêtre du pic photo-électrique du technétium.

4.4.6.2. Mode d'administration.

4.4.6.2.1. *Consistance des repas.* Le type d'aliment, le volume et la teneur en calorie affectent de manière significative les paramètres de vidange gastrique.

Pour remédier au manque d'uniformité et de standardisation, un groupe d'experts composé de gastro-entérologues de l'*American Neurogastroenterology and Motility Society* et de médecins de médecine nucléaire de la Société de médecine nucléaire et d'imagerie moléculaire (SNMMI) a publié une directive consensuelle sur la scintigraphie de vidange gastrique des aliments solides en 2008.

Ces recommandations portent notamment sur la préparation du patient, la méthode d'acquisition et le traitement d'image, mais également sur la composition du repas. L'objectif est de simplifier et d'harmoniser les procédures afin d'obtenir des valeurs normalisées de référence.

Le repas standardisé, proposé et validé par Tougas en 2000 se compose de :

- 120 g de blancs d'œufs liquides (l'équivalent des blancs de trois gros œufs) mélangé avec 18,5 à 37 MBq (0,5–1,0 mCi) de ^{99m}Tc-phytates/nanocolloïdes et cuit au micro-ondes ou sur une plaque antiadhésive pour avoir la texture bien ferme ;
- deux tranches de pain de mie grillé (120 kcal) ou équivalent (un petit pain, deux biscottes) ;
- 30 g de confiture de fraises (75 kcal) ;
- 120 mL d'eau (mélangée à du ¹¹¹In-DTPA en cas d'évaluation associée de la vidange des liquides).

Le repas entier a un teneur calorique de 255 kcal ; il est composé de 72 % de glucides, 24 % de protéines, 2 % de matières grasses et 2 % de fibres.

L'ajout de beurre pour la cuisson (typiquement 10 g) modifie la composition calorique, la faisant passer à 345 kcal (69 % de glucides, 22 % de protéines, 7 % de lipides et 2 % de fibres).

Pour les patients allergiques aux œufs ou à l'un des autres composants du repas, sensibles au gluten ou refusant le repas standard, un repas de substitution peut être utilisé. Cependant, il existe peu de données sur les valeurs normales disponibles pour ces repas.

4.4.6.2.2. *Déroutement du repas.* Le patient peut prendre certains médicaments avec une petite quantité d'eau avant le test. Si le patient a des nausées sévères et vomissements au moment du test, des antagonistes des récepteurs de la sérotonine (5-HT-3) tels que l'ondansétron (Zofren) peuvent être administrés.

Le patient est invité à consommer le repas en moins de 10 min.

Pour les liquides, le mélange doit être rapidement avalé, avec une paille.

4.4.6.3. Dosimétrie.

L'activité administrée varie sensiblement d'un centre de médecine nucléaire à un autre

Le modèle de la CIPR 106 estime que l'ingestion de 37 MBq (1,0 mCi) ^{99m}Tc-SC dans le cadre d'une étude sur la vidange gastrique générerait une dose efficace approximative de 0,8 mSv chez un homme adulte. L'organe essentiel de cette étude est le gros intestin supérieur, qui recevrait 0,2 mGy. Une ingestion chez une femme adulte de 37 MBq (1 mCi) ^{99m}Tc-SC entraînerait une dose efficace approximative de 1,0 mSv (0,10 rem). Les poumons constituent l'organe essentiel de cette étude et recevraient 0,3 mGy (0,03 rad). La dose efficace d'ingestion de 37 MBq (1,0 mCi) ¹¹¹In-DTPA n'est pas disponible (tableaux 3 et 4).

4.5. Interventions

- Type d'intervention : des tests pharmacologiques avec le métoclopramide ou d'autres drogues prokinétiques (érythro-mycine IV notamment) peuvent être proposés comme tests préthérapeutiques ;
- Surveillance et mesures de sécurité : ces tests ne réclament pas de surveillance spécifique.

Tableau 4

Dosimétrie selon Knight LC. Update on gastrointestinal radiopharmaceuticals and dosimetry estimates. *Semin Nucl Med* 2012;42(2):138–144. *Dosimetry according to Knight LC. Update on gastrointestinal radiopharmaceuticals and dosimetry estimates. Semin Nucl Med* 2012; 42 (2): 138–144.

Produit	Activité	Sujet	Organe le plus sensible	Dose équivalente (mSv)	Dose efficace (mSv)
^{99m} Tc-œuf	18,5 MBq	Homme adulte	Gros intestin proximal	1,66	0,35
^{99m} Tc-œuf	18,5 MBq	Femme adulte	Gros intestin proximal	1,94	0,45
¹¹¹ In-DTPA	4,6 MBq	Homme adulte	Gros intestin distal	9,5	1,02
¹¹¹ In-DTPA	4,6 MBq	Femme adulte	Gros intestin distal	10,57	1,14

4.6. Acquisition des images

4.6.1. Contrôle de qualité des gamma-caméras

- Caméra si possible double-détecteur équipée d'un collimateur parallèle moyenne énergie (usage général dans le cas d'une vidange isotopique mixte solides-liquides) ou d'un collimateur basse énergie (dans le cas d'une exploration isolée de la phase des solides)
- Pour le réglage spectrométrique de l'indium et du technétium réalisé dans le cadre des opérations de calibrage du (des) détecteurs, contrôle de l'uniformité de réponse sur le champ de vue de chaque gamma-caméra et de la position des pics d'absorption totale sur les fenêtres en énergie de l'indium et du technétium. (tableau 5)

Tableau 5

Fenêtres spectrométriques recommandées pour l'acquisition en double isotope. Un réglage différent peut être préconisé par le fournisseur de gamma-caméras, notamment une fenêtre en énergie de $\pm 7,5\%$ sur les systèmes de dernière génération. Dans ce cas, tous les examens doivent être réalisés avec les mêmes paramètres. *Recommended spectrometric windows for double isotope acquisition. A different setting may be recommended by the gamma-camera supplier, in particular an energy window of $\pm 7,5\%$ on the latest generation systems. In this case, all exams must be performed with the same parameters.*

Radionucléides	Pics d'émission	Fenêtres (%)	Fenêtres (keV)
^{99m}Tc	140 keV	$\pm 10\%$	126–154 keV
^{111}In	173 keV	$\pm 10\%$	155–189 keV
	247 keV	$\pm 10\%$	221–271 keV

4.6.2. Séquences d'imagerie

- Faire démarrer le chronomètre au début du repas ;
- Début des acquisitions 10 min après le début du repas :
 - Le repas doit être pris idéalement en 6 min,
 - Le verre d'eau radiomarquée est alors donné en fin de repas à la 6^e minute,
 - L'indium doit être rajouté au dernier moment dans le verre d'eau (évite les contaminations quand le verre est malheureusement renversé),
 - Le verre doit être en verre et non en plastique pour que l'indium ne s'adsorbe pas sur la paroi.
- Fréquence des acquisitions images :
 - Protocole court (consensus américain) : une acquisition toutes les heures jusqu'à 3 à 4 h. C'est le protocole à mettre en place en routine clinique,
 - Protocole long : toutes les 10 min la première heure puis toutes les quinze à 20 min, par la suite. C'est l'ancien protocole et il peut être utile lorsqu'on désire une étude plus détaillée du processus de vidange (calcul de *lag phase*...), lors d'étude clinique lorsque la vidange sert de *gold standard*...
 - Arrêt des acquisitions quand au moins 2/3 de l'activité gastrique initiale a quitté l'estomac,
 - La durée moyenne de l'examen est de 3 h (2 à 4 h).

4.6.3. Acquisition

- Le grand axe de la gamma-caméra est utilisé comme axe vertical :

- L'apophyse xiphoïde correspond au cardia et sera centrée une dizaine de centimètres au-dessous du bord supérieur du champ de vue de la caméra.
- On ne risque pas ainsi d'exclure une partie de l'estomac, l'antra en particulier qui n'est pas toujours visible lors des premières acquisitions,
- Le tiers inférieur de l'œsophage est inclus dans le champ, ce qui permet de mettre en évidence d'éventuel(s) reflux gastro-œsophagien(s).
- De plus, l'utilisation d'un grand champ permet l'acquisition de toute l'activité intestinale (grêle et colique) ;
- Images planaires d'une minute en 128×128 (possible aussi en 64×64) :
 - Un format supérieur n'est ni souhaitable (taille des fichiers), ni utile (quantification essentiellement),
 - Le zoom est en général à éviter pour ne pas couper une partie de l'activité gastrique et si on désire acquérir toute l'activité intestinale afin d'exprimer les pourcentages de rétention gastrique comme une proportion de l'activité abdominale (cf. traitement des images) ;
- Possibilité de réaliser des images dynamiques simultanément ou en suivant (permet par exemple d'objectiver un reflux gastro-œsophagien) ;
- Double incidence antérieure et postérieure pour chaque point de mesure ;
- Double isotope pour les vidanges mixtes solides-liquides (cf. § contrôles de qualité) ;
- Patient debout ou assis mais dans la même position pour toutes les acquisitions de l'examen ;
- Le repositionnement devant la gamma-caméra est contrôlé par les repères cutanés (2 électrodes antérieures et postérieures) (cf. § préparation des électrodes) ou à l'aide d'un crayon de cobalt. Attention à ne pas superposer une électrode avec l'activité gastrique et intestinale. Le repérage de la position des pieds au sol peut également être utile ;
- En cas de difficultés à identifier correctement l'estomac sur les premières images acquises, notamment en cas d'antécédents de chirurgie gastrique, peut se discuter la réalisation d'une tomoscintigraphie couplée au scanner (TEMP-TDM) qui pourra être réalisée entre 2 acquisitions planaires ou en fin d'examen selon la cinétique de vidange et dont les paramètres d'acquisition dépendront de la fréquence des acquisitions planaires ;
- En fin d'examen, le médecin nucléaire ayant vérifié la cohérence de la série d'incidences pour le calcul des temps de vidange, les électrodes sont retirées en vérifiant l'intégrité de la protection et l'absence de contamination cutanée.

4.7. Traitement des images

Un soin particulier doit être apporté à la réorganisation manuelle des fichiers images (antérieurs technétium et indium, postérieurs technétium et indium dans le cas d'une vidange solides-liquides) ou à la vérification d'une réorganisation automatique. À ce titre, il est conseillé de visualiser à nouveau les images de chaque fichier une à une ou en mode ciné.

4.7.1. Tracé des régions d'intérêt (ROI) gastriques

Des traitements automatisés des données acquises existent et sont proposés sur certaines consoles de traitement. Lors de la configuration de ces traitements automatisés, veiller aux points suivants :

- la ROI gastrique sera tracé sur la 1^{ère} image de chaque série (Tc face ant...) puis repositionnée sur chaque image de la série. Elle

pourra aussi être tracée sur une image sommée de toute la série. Selon les logiciels, la même ROI pourra être appliquée sur les autres séries ;

- tracer la ROI gastrique en s'attachant à bien délimiter l'antré gastrique de l'intestin. Le tracé peut être plus grossier autour du reste de l'estomac. Veiller toutefois à ne pas inclure d'activité œsophagienne en cas de RGO ;
- le tracé des ROI doit s'attacher à bien délimiter l'antré de l'intestin. En revanche, le tracé peut être plus grossier autour du reste de l'estomac ;
- construction d'images sommes pour chaque acquisition (solides face ant, solides face post, liquides face ant, liquides face post) ;
- tracé d'une ROI antérieure et d'une ROI postérieure sur la série (Tc ou In) permettant la meilleure délimitation de l'estomac et appliquer ces ROI sur l'autre série (Tc ou In) sur les images sommes indium (la vidange liquide étant plus rapide que la vidange solide, l'image somme indium prend en compte les différents contours de l'estomac du début jusqu'à la fin du processus de vidange) ;
- enregistrer et réappliquer ces ROI sur les séries technétium (et indium) ;
- visualiser chaque série à nouveau et repositionner les ROI sur les images qui le nécessitent ;
- les données expérimentales brutes correspondent à l'activité gastrique à l'intérieur des ROI pour chaque image.

4.7.2. Corrections (dans l'ordre de mise en œuvre)

Les corrections vont permettre d'élaborer des courbes d'activité temporelle (TAC) à partir des données expérimentales brutes tirées des RDI. Les corrections sont à mettre en œuvre dans l'ordre suivant :

4.7.2.1. Si double-marquage. Correction de la contamination des photons de l'indium dans la fenêtre spectrométrique du technétium : le facteur de correction antérieur (FCa) est légèrement supérieur au facteur postérieur (FCp) (étude sur fantômes ; FCa = 0,44 et FCp = 0,37 pour des fenêtres en énergie de $\pm 10\%$ et rapport d'activité précité). Ainsi, 44 % des coups de l'indium participent au pic du technétium en incidence antérieure et 37 % en incidence postérieure. On corrige ainsi les courbes technétium en soustrayant 44 % et 37 % des coups de l'indium au nombre total de coups en technétium, respectivement en incidence antérieure et en incidence postérieure.

Si le rapport de 1 à 4 ou 5 est respecté entre les activités d'indium et de technétium, le nombre de coups indium qui contribue à former le pic du technétium reste finalement faible (en incidence antérieure, 44 % de 20 à 25 % de l'activité technétium représente une contribution de l'ordre de 10 %).

$$N_{Tc} = N_{Tc-Tc} + N_{1n-Tc}$$

$$N_{1n} = N_{1n-1n}$$

$$N_{1n-Tc} = FC \times N_{1n-1n}$$

$$N_{Tc-Tc} = N_{Tc} - (FC \times N_{1n-1n})$$

En face antérieure :

$$N_{Tc-Tc} = N_{Tc} - (0,44 \times N_{1n-1n})$$

En face postérieure :

$$N_{Tc-Tc} = N_{Tc} - (0,37 \times N_{1n-1n})$$

4.7.2.2. Correction de décroissance sur les courbes. L'absence de correction conduit à une sous-estimation des temps de la vidange des solides.

$$N_{Tc-Tc \text{ correction de décroissance}} = N_0 = Nt.e + \left(\frac{0,693t}{360} \right)$$

4.7.2.3. Correction de profondeur par la moyenne géométrique des courbes antérieure et postérieure, pour le technétium et pour l'indium. On passe ainsi de 4 à 2 séries de données (solides et liquides).

$$N_{\text{moyenne géométrique}} = \sqrt{N_{\text{ant}} \times N_{\text{post}}}$$

Normalisation des deux courbes résultantes par l'activité maximale de chaque série technétium et indium : préférer une normalisation par rapport à l'activité maximale plutôt que par rapport à l'activité de la première acquisition :

- l'activité maximale n'est pas obligatoirement celle de la première acquisition en raison des phénomènes de déplacements postéro-antérieurs et surtout d'auto-atténuation du repas par lui-même quand il est « concentré » dans le fundus ;
- cette erreur peut conduire à obtenir des taux de rétention supérieur à 100 % avec comme conséquence un allongement parfois important du temps de vidange.

4.7.3. Ajustement des courbes par un modèle

Il n'existe pas de consensus sur la nécessité de modéliser les TACs ou non.

Si on choisit de ne pas les modéliser, on utilisera le taux de rétention à 2 h et/ou à 3 h pour « quantifier » la vidange gastrique. Très facile à mettre en œuvre et à utiliser, cette façon de procéder expose à un inconvénient majeur qui est que la qualité de l'évaluation ne repose que sur le seul point de mesure à 2 et/ou 3 h. Une seule erreur de mesure peut ainsi affecter directement le diagnostic et la reproductibilité du test.

Quel que soit le protocole d'acquisition, nous conseillons d'ajuster les courbes des moyennes géométriques par un modèle mathématique afin de calculer des paramètres de vidange qui tiennent compte de tous les points acquis :

- cela permet en outre de calculer d'autres paramètres de la vidange tel que le temps de demi-vidange qui est un des paramètres le mieux documenté dans la littérature ;
- le temps $t = 0$ correspond au début de la première acquisition et non au début du repas ;
- le modèle mathématique doit comporter au plus deux paramètres et bien décrire les courbes (« être physiologique ») ;
- la vidange des liquides est de type exponentiel ;
- chez le sujet normal et dans les cas pathologiques où le réflexe prandial est conservé, la vidange des solides est bi-phasique, avec une phase de latence initiale (*lag phase*) de vitesse de vidange quasi-nulle (phase de broyage et de mélange des aliments solides avec les sucs gastriques) suivie d'une phase de vidange proprement dite (encore appelée vidange à taux constant) ;
- les fonctions puissance-exponentielles décrivent bien les différents aspects des vidanges liquides et solides. Les deux modèles mathématiques les plus utilisés sont celui d'Elashoff et al. et de Siegel et al. et donnent des résultats équivalents : $e(t) = 2(-\frac{t}{T})^\alpha$ Elashoff et al. ; $s(t) = 1 - (1 - e^{-k})^\beta$ Siegel et al.
- l'ajustement du modèle aux données expérimentales doit être réalisé par une méthode non linéaire des moindres carrés.

4.7.4. Calcul des paramètres de la vidange

Ils sont dérivés des paramètres de la fonction mathématique après ajustement. Les principaux paramètres de la vidange sont :

- le temps de demi-vidange ;
- le pourcentage de rétention intra-gastrique à 120 min (il est alors déduit de la courbe modélisée et tient compte de l'ensemble des points acquis) ;
- les temps de *lag phase* et de vidange à taux constant des solides.

4.8. Interprétation des images

4.8.1. Analyse qualitative visuelle

L'analyse des images une à une ou en mode ciné permet :

- de mettre en évidence un éventuel reflux gastro-œsophagien ;
- de s'assurer que la RDI n'inclut pas des régions intestinales (ou une électrode cutanée) et que tout l'estomac est bien inclus dans la RDI sur chaque image

4.8.2. Analyse semi-quantitative

Les paramètres de la vidange sont comparés aux normes établies chez des témoins.

- Cette comparaison permet de définir un retard ou une accélération de la vidange ;
- Les éventuelles anomalies des paramètres de la vidange sont également à interpréter en fonction des examens antérieurs, des éventuelles prises médicamenteuses, des antécédents de chirurgie gastrique.

4.8.2.1. Étude des solides. Les valeurs normales de la vidange gastrique des solides pour le protocole et le repas standardisés ont été établies par Tougas et al. en utilisant 123 sujets normaux provenant de 11 institutions médicales aux États-Unis, au Canada et en Europe.

Pour les solides, la vidange est considérée comme non retardée si la valeur à 2 h est inférieure à 60 % et à 4 h inférieure à 10 %.

La vidange est considérée comme retardée s'il reste plus de 60 % du repas solide à 2 h ou plus de 10 % du repas à 4 h. Ce dernier critère s'est révélé être l'un des meilleurs critères pour distinguer une étude normale d'une étude anormale.

Une vidange est dite « accélérée » si les valeurs sont inférieures à 70 % à 30 min et inférieures à 30 % à 30 min.

Le **Tableau 6** résume les valeurs normales pour un repas solide standardisé et le grade de sévérité selon l'atteinte. (Abell et al., *Consensus recommendations for gastric emptying scintigraphy : A joint report of the American Neurogastroenterology and Motility Society and the Society of Nuclear Medicine. J Nucl Med Technol 2008 ;36 :44–54*).

4.8.2.2. Étude des liquides. L'étude des liquides peut être réalisée un jour différent ou immédiatement avant une vidange gastrique solide. Le patient ingère 300 mL d'eau mélangée soit à des ^{99m}Tc-nanoparticules ou à de l'¹¹¹In-DTPA. Si le même jour une vidange gastrique des solides est prévue, l'¹¹¹In-DTPA doit être utilisé. L'imagerie commence au moment de l'ingestion et durant 30 min. Pour une vidange des liquides normale, une courbe mono exponentielle est obtenue. La demi vie de vidange est calculée (normal < 25 min, pas de véritable consensus).

Tableau 6

Valeurs normales pour un repas solide standardisé.
Normal values for a standardized solid meal.

	Valeurs basses	Valeurs hautes
30 min	70 %	
1 h	30 %	90 %
2 h		60 %
3 h		30 %
4 h		10 %

Grade	Sévérité	%
1	Léger	11 à 20 %
2	Modéré	21 à 35 %
3	Sévère	36 à 50 %
4	Très sévère	> 50 %

4.8.3. Autres paramètres à explorer

En tenant compte de la physiopathologie de la motricité gastrique et des enjeux en termes de prise en charge thérapeutique (médicamenteuse, POEM, stimulation gastrique...), une analyse plus approfondie de la vidange gastrique pourrait aider à orienter le traitement selon le type d'atteinte : trouble de l'accommodation fundique, hypersensibilité viscérale, atteinte de la motricité antrale, trouble de la coordination antro-duodénale...

4.8.4. Whole Gut Scintigraphy

En 2013, des recommandations de l'EANM ont été publiées (The SNMMI and EANM Practice Guideline for Small-Bowel and Colon Transit 1.0.) pour la réalisation des scintigraphies du transit intestinal et colique. Les différentes parties du tube digestif peuvent être explorées séparément ou dans un même temps : « Whole Gut Scintigraphy » comprenant la vidange gastrique, le transit intestinal et le transit colique.

4.9. Artefacts et sources d'erreurs

Plusieurs facteurs tels que les médicaments, le contrôle glycémique, le tabagisme, la durée de l'examen et la méthode quantitative peuvent affecter les résultats des études de vidange gastrique et ont été déjà décrits ci-dessus. Il est impératif de tenir compte de ces facteurs dans l'interprétation de l'examen, notamment en cas de résultats équivoques.

En cas de comparaison avec un examen antérieur, veiller à tenir compte de la date de celui-ci et des traitements modifiés ou entrepris dans l'intervalle dans l'interprétation de l'évolution.

D'autres facteurs peuvent entraîner une surestimation ou une sous-estimation du taux de vidange :

- un temps d'ingestion prolongé provoque un retard dans l'acquisition de l'image initiale utilisée pour calculer le pourcentage de rétention ;
- un placement incorrect de la région d'intérêt peut également affecter le taux de vidange. Si la ROI dessinée sur l'image initiale à 0 min (dénominateur) n'inclut pas l'activité totale, le pourcentage calculé du repas restant dans l'estomac sera faussement élevé. Si la région d'intérêt dessinée sur les images de 1, 2 ou 4 h (numérateur) inclut l'activité de l'intestin grêle, le pourcentage du repas restant dans l'estomac sera également faussement élevé. Dans les deux cas, une étude pourrait être interprétée comme anormale ;
- patient non à jeun (allongement du temps de vidange) ;
- repas pris incomplètement (raccourcissement du temps de vidange) : mieux vaut prolonger la prise du repas jusqu'à la 10^e minute que de l'interrompre à la fin de la 6^e minute si le patient n'a pas terminé. Chez certains patients, il peut être

nécessaire d'allonger encore la durée du repas afin qu'il soit complètement ingéré, il faut alors corriger les courbes si la première acquisition est faite après la 10^e minute après le début du repas.

$T_0 = 0 + T_{\text{retard}}$ avec $T_{\text{retard}} = T_{\text{première acquisition}} - 10$

Exemple : si $T_{\text{première acquisition}} = 15$ min après le début de repas alors $T_{\text{retard}} = T_0 = 5$ min

- repas non adapté aux habitudes alimentaires du patient et responsable de dégoût (et notamment de nausées avec l'omelette entraînant un allongement du temps de vidange) ;
- vomissements après la prise du repas ou pendant le cours de l'examen (résultats ininterprétables) ;
- mauvais marquage de la phase solide (raccourcissement du temps de vidange des solides, dont une partie transite avec les liquides nécessitant de refaire un marquage si le rendement de marquage est inférieur à 92 % sur deux contrôles) ;
- reflux gastro-œsophagien (allongement du temps de vidange) ;
- superposition d'anses intestinales ou d'électrodes aux ROIs gastriques (allongement du temps de vidange) ;
- ajustement des courbes par rapport au début du repas et non par rapport à la première acquisition. L'erreur de mesure résultante est un allongement de 10 min du temps de vidange ;
- changement de l'intervalle entre les acquisitions sans changement correspondant sur l'axe des temps des courbes ajustées par le modèle mathématique.

4.10. Le compte-rendu de l'examen

L'arrêté du 22 septembre 2006 impose de faire apparaître dans le compte rendu de l'acte, établi par le médecin réalisateur, les informations justifiant l'acte, les procédures et les opérations réalisées ainsi que les informations utiles à l'estimation de la dose.

Selon cet arrêté, le compte rendu d'acte doit mentionner, en plus de l'identification du patient et du médecin réalisateur, de la date de la réalisation de l'acte et des éléments de justification :

- la procédure optimisée utilisée ;
- les éléments d'identification du matériel ;
- les informations utiles à l'estimation de la dose reçue, soit :
 - le nom du ou des radiopharmaceutiques,
 - le ou les radionucléides utilisés (inclus dans le radiopharmaceutique),
 - l'activité administrée,
 - le mode d'administration,
 - en cas de couplage avec un système d'imagerie à rayons X (ou scanographie), le produit dose longueur (PDL), s'il est accessible ou à défaut les éléments disponibles parmi les suivants : la longueur examinée, l'indice de dose scanographique (IDS), l'indice de dose scanographique volumique (IDSv).

Le compte rendu et tous les autres documents (courbes, images...) doivent comporter obligatoirement :

- le nom du patient ;
- la date de l'examen.

Le compte rendu doit comporter des informations sur le service de médecine nucléaire, le nom du médecin nucléaire et celui du clinicien prescripteur (ou du service).

Il est conseillé de rappeler brièvement l'indication de l'examen.

Le type de repas et l'activité ingérée en MBq, le numéro de lot du radiopharmaceutique, le protocole d'imagerie, le type de modèle mathématique et la méthode d'ajustement doivent être précisés dans un paragraphe « technique d'examen » du compte rendu.

Les résultats de l'examen doivent être colligés dans un paragraphe « résultats » du compte rendu sous la forme de valeurs (et unités) des paramètres de la vidange, comparées aux normes (Intervalle de confiance à 95 %).

Il est utile de présenter les courbes expérimentales des moyennes géométriques normalisées par l'activité maximale pour les solides et les liquides :

- avec leur ajustement mathématique ;
- et/ou avec une représentation de l'intervalle de confiance de normalité.

En cas de gastroparésie, il peut être utile d'indiquer le stade de l'atteinte (cf. § 4.8.2.1).

Il est également conseillé de rendre des images :

- des séries dynamiques avec les RDI ;
- ou des images sommes avec les RDI.

Le compte rendu doit comporter obligatoirement une conclusion et la signature du médecin nucléaire.

5. Précautions de radioprotection

5.1. Gestion des déchets

La gestion des déchets suit les règles générales de radioprotection applicables à tous les services de médecine nucléaire (cf. procédure).

Nous rappelons ici les points essentiels concernant la vidange gastrique isotopique :

- les déchets technétium et indium doivent être collectés dans des poubelles différentes :
 - les déchets du technétium (notamment seringues) dans une poubelle « demi-vie courte ».
 - les déchets de l'indium dans une poubelle de stockage « demi-vie longue ».
 - les aiguilles dans la boîte à aiguilles, qui une fois pleine sera stockée dans le local de décroissance dans une poubelle « demi-vie longue ».
- la vaisselle :
 - l'assiette jetable dans la poubelle « demi-vie courte »,
 - la vaisselle non jetable (verre, couverts, poêle, bol...) :
 - trempage 1 à 2 h dans une solution décontaminante,
 - puis lavage avec du produit vaisselle et rinçage abondant dans l'évier du réseau actif,
 - enfin séchage sur le plan de l'évier ;
- le reste du flacon d'indium est stocké une semaine dans un château de plomb, puis vidé dans le réseau actif. Le flacon vide est jeté dans la poubelle « demi-vie longue ».
- le reste du flacon de sulfure colloïdal de technétium est jeté dans le réseau actif puis le flacon vide est jeté dans la poubelle « demi-vie courte ».
- les repères cutanés sont jetés en fin d'examen dans la poubelle « demi-vie courte ».

5.2. Personnel soignant et familles des patients

Les règles de radioprotection suivent les mêmes règles générales de radioprotection applicables à tous les services de

Médecine Nucléaire (cf. procédure). Il n'y a pas de spécificité pour l'examen de vidange gastrique concernant le personnel du service. Il n'y a pas de conseil spécifique délivré au patient et à son entourage.

5.3. Urines, selles et prélèvements sanguins

Pendant la durée de présence du patient dans le service, le patient utilise les toilettes reliées au réseau actif. Il n'y a pas de prélèvement sanguin.

5.4. Conduite à tenir en cas d'administration erronée à un patient à qui le radiopharmaceutique n'était pas destiné.

Ce type d'accident n'a jamais été rapporté.

5.5. Conduite à tenir pour la radioprotection en cas de décès du patient

Aucun décès n'a été rapporté pendant ou au décours d'une vidange gastrique. Cependant, si une telle situation devait se présenter après l'ingestion du repas radiomarqué, la faible activité ingérée ne nécessite pas de conduite particulière en terme de radioprotection.

6. Précautions vis-à-vis du risque infectieux

6.1. Produits sanguins

Aucun produit sanguin n'est utilisé pour l'examen.

6.2. Prévention des infections nosocomiales

Utilisation de matériel à usage unique (seringues et aiguilles) même si aucune injection ne doit être réalisée.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Supplément en ligne. Matériel complémentaire

Les matériels complémentaires accompagnant la version en ligne de cet article sont disponibles sur <http://dx.doi.org/10.1016/j.mednuc.2022.01.126>.

Pour en savoir plus

- Elashoff JD, Reedy TJ, Meyer JH. Analysis of gastric emptying data. *Gastroenterology* 1982;83:1306–12.
- Couturier O, Le Rest C, Gournay J, Pourdehnad M, Bridji B, Turzo A et al. Gastric Emptying of solids: estimates of lag phase and constant emptying times. *Nuc Med Communications* 2000;21:665–75.
- Couturier O, Bodet-Milin C, Querellou S, Carlier T, Turzo A, Bizais Y. Gastric scintigraphy with a liquide-solid radiolabeled meal: performance of solid and liquid parameter. *Nucl Med Comm* 2004;25:1143–50.
- Blanc F, Salaün PY, Couturier O, Querellou S, LeDuc-Pennec A, Mouglin-Degraef M et al. Technetium-99m ovalbumin labeled eggs for gastric emptying scintigraphy: in vitro comparison of solid food markers. *Nucl Med Commun* 2005;26:1021–5.
- Donohoe KJ, Maurer AH, Ziessman HA, Urbain JL, Royal HD. Procedure guideline for gastric emptying and motility. Society of Nuclear Medicine. *J Nucl Med* 1999;40:1236–9.
- Couturier O, Victor G, Faivre-Chauvet A, Baulieu F, Le Rest C, Bridji B, et al. Guide de bonnes pratiques en scintigraphie de la vidange gastrique. *Med Nucl* 2002;26:211–9.
- Abell TL, Camilleri M, Donohoe K, Hasler WL, Lin HC, Maurer AH, et al. Consensus recommendations for gastric emptying scintigraphy: A joint report of the American Neurogastroenterology and Motility Society and the Society of Nuclear Medicine. *J Nucl Med Technol* 2008;36:44–54. [article publié conjointement dans : *Am J Gastroenterol* 2008;103: 753–63].
- Maurer AH, Knight LC, Charkes ND, Vitti RA, Krevsky B, Fisher RS et al. Comparison of left anterior oblique and geometric mean gastric emptying. *J Nucl Med* 1991; 32:2176–80.
- Meyer JH, Van Deventer G, Graham LS, Thomson J, Thomasson D. Errors and corrections with scintigraphic measurements of gastric emptying of solid foods. *J Nucl Med* 1983;24:197–203.
- Siegel J.A., Urbain J.L., Adler L.P. et al. Biphasic Nature of gastric emptying. *Gut* 1988;29:85–9.
- Siegel JA, Wu RK, Knight LC, Zelac RE, Stern HS, Malmud, LS. Radiation dose estimates for oral agents used in upper gastrointestinal disease. *J Nucl Med* 1983; 24:835–7.
- Tothill P, Mc Loughlin GP and Heading RC. Techniques and errors in scintigraphic measurements of gastric emptying. *J Nucl Med* 1978;19:256–61.
- Urbain JL, Siegel JA, Charkes ND, Maurer A, Malmud L. The two component stomach: effects of meal particle size on fundal and antral emptying. *Eur J Nucl Med* 1989;15:254–9.
- Alan H Maurer. Gastrointestinal Motility, Part 1: esophageal Transit and Gastric Emptying. *J Nucl Med Technol* 2016; 44:1–11.
- Jian R, Lémann M, Rain JD. Intérêt de la scintigraphie gastrique dans l'exploration des troubles primitifs et postchirurgicaux de la vidange gastrique. *Med Nucl* 1996;20:174–8.
- Bodet-Milín C, Querellou S, Oudoux A, Haloun A, Horeau-Langlard D, Carlier T, et al. Delayed gastric emptying in cystic fibrosis patients before and after lung transplantation. *J Heart Lung Transpl* 2006;25:1077–83.
- Salaün PY, Oudoux A, Querellou S, Valette F, Bodet-Milín C, Carlier T, et al. Gastric emptying rate assessment based on the proportion of intra-abdominal radioactivity in the stomach. *Nucl Med Comm* 2006;27:431–7.
- Solnes L, et al. Nuclear scintigraphy in practice: gastrointestinal motility. *AJR* 2018; 211.