



CECR

CENTRE
D'EXPERTISE
CLINIQUE EN
RADIOPROTECTION

Au service du Réseau

42^e Congrès annuel de l'Ordre des technologues
en imagerie médicale, en radio-oncologie et
en électrophysiologie du Québec

Centre intégré
universitaire de santé
et de services sociaux
de l'Estrie – Centre
hospitalier universitaire
de Sherbrooke

Québec 

Optimisation de la dose en tomодensitométrie : l'approche du CECR

Moulay Ali Nassiri, Ph. D., physicien médical au CECR, MCCPM

Manon Rouleau, ing., directrice par intérim du CECR

Karine Bellavance, t.i.m., coordonnatrice technique au CECR

Aspects abordés

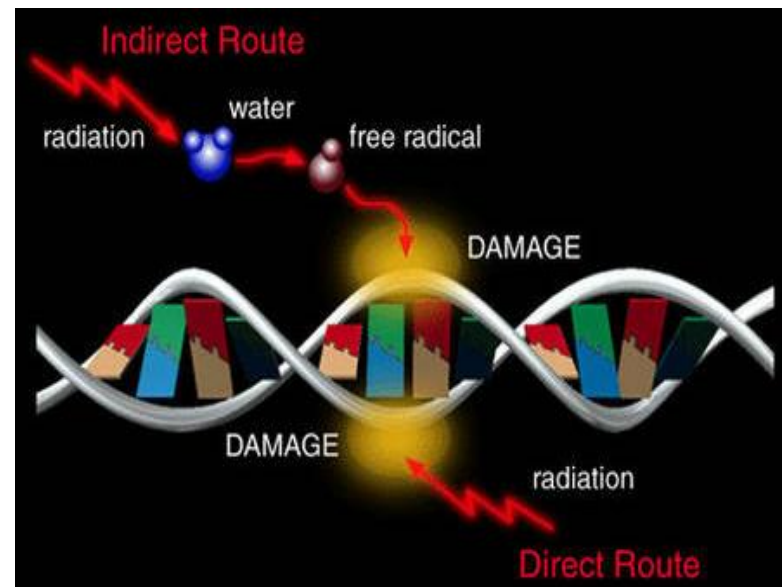
- ✓ Quantification de dose et évaluation du risque
- ✓ Approche d'optimisation utilisée dans la tournée TDM

Effets de la radiation ionisante

- ✓ Effets directs
- ✓ Effets indirects



- ✓ Effets déterministes : réactions tissulaires à partir d'un certain seuil de dose
- ✓ Effets stochastiques : cancers radio-induits et effets héréditaires (pas de seuil)



Source : UCAR University of Michigan

Effets tissulaires (déterministes)

Il est important et possible
d'éviter les effets tissulaires
aux patients :

➤ Utiliser les seuils d'alertes

The New York Times

Health

WORLD U.S. N.Y. / REGION BUSINESS TECHNOLOGY SCIENCE HEALTH SPORTS OPINION

After Stroke Scans, Patients Face Serious Health Risks

By WALT BOGDANICH
Published July 31, 2015

When Alain Reyes's hair suddenly fell out in a freakish band circling his head, he was not the only one worried about his health. His co-workers at a shipping company avoided him, and his boss sent him home, fearing he had a contagious disease.



Only later would Mr. Reyes learn what had caused him so much physical and emotional grief: he had received a radiation overdose during a test for a [stroke](#) at a hospital in Glendale, Calif.



Other patients getting the procedure, called a CT brain perfusion scan, were being overdosed, too — 37 of them just up the freeway at Providence Saint Joseph Medical Center in Burbank, 269 more at the renowned Cedars-Sinai Medical Center in Los Angeles and dozens more at a hospital in Huntsville, Ala.



The overdoses, which began to emerge late last summer, set off an investigation by the [Food and Drug Administration](#) into why patients tested with this complex

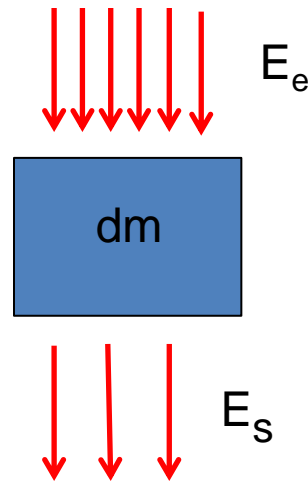
- FACEBOOK
- TWITTER
- RECOMMEND
- COMMENTS (191)
- EMAIL
- SEND TO PHONE
- PRINT
- SINGLE PAGE
- REPRINTS
- SHARE

CONVICTION
Watch The Trailer

Dose déposée

Quantité d'énergie déposée dans la matière par unité de masse :

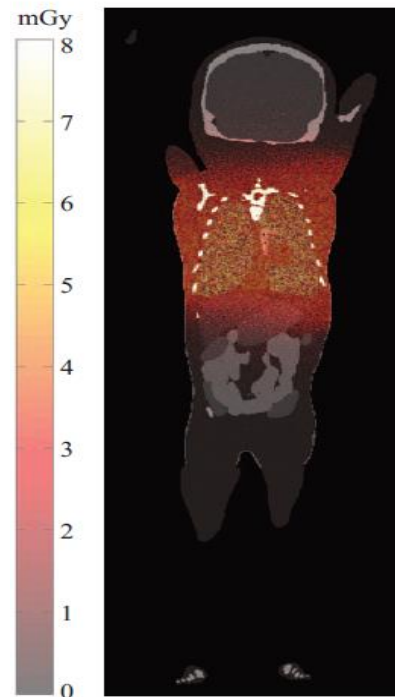
$$D = \frac{E_e - E_s}{dm}$$



- Unité : Gray (Gy) qui correspond à 1 joule/kg
- Autre unité : 1 Gy = 100 rad

Dose déposée

- ✓ **Grandeur ponctuelle** difficilement estimable en clinique
- ✓ Non adaptée pour estimer directement le risque radiobiologique :
 - Dépend de la taille du patient
 - Ne renseigne pas sur l'étendue de la région irradiée
 - Ne tient pas compte de la radiosensibilité des organes

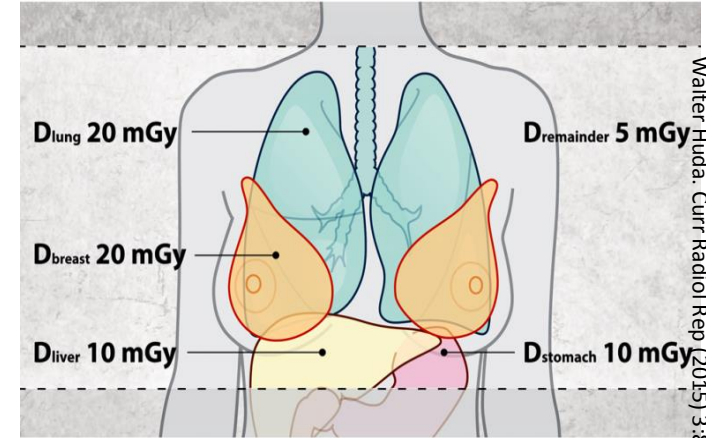


Xiang Li et al., Medical Physics (2011)

Dose à l'organe D_T

Dose moyenne déposée au niveau
d'un organe ou d'un tissu :

- ✓ Unité : Gray (Gy)
- ✓ Peut être déterminée pour chaque patient par Monte Carlo



Risque effectif (R)

Estime le risque individuel de développer un cancer radio-induit :

$$R = \sum_T r_T D_T$$

- ✓ r_T facteurs de risques publiés par BEIR VII

Table 8 Lifetime Attributable Risk of Site-Specific Solid Cancer Incidence

Cancer Site	Number of Cases per 100,000 Persons Exposed to a Single Dose of 0.1 Gy										
	Age at Exposure (Years)										
	0	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80
Men											
Stomach	76	65	55	46	40	28	27	25	20	14	7
Colon	336	285	241	204	173	125	122	113	94	65	30
Liver	61	50	43	36	30	22	21	19	14	8	3
Lung	314	261	216	180	149	105	104	101	89	65	34
Prostate	93	80	67	57	48	35	35	33	26	14	5
Bladder	209	177	150	127	108	79	79	76	66	47	23
Other	1123	672	503	394	312	198	172	140	98	57	23
Thyroid	115	76	50	33	21	9	3	1	0.3	0.1	0.0
All solid	2326	1667	1325	1076	881	602	564	507	407	270	126
Leukemia	237	149	120	105	96	84	84	84	82	73	48
All cancers	2563	1816	1445	1182	977	686	648	591	489	343	174
Women											
Stomach	101	85	72	61	52	36	35	32	27	19	11
Colon	220	187	158	134	114	82	79	73	62	45	23
Liver	28	23	20	16	14	10	10	9	7	5	2
Lung	733	608	504	417	346	242	240	230	201	147	77
Breast	1171	914	712	553	429	253	141	70	31	12	4
Uterus	50	42	36	30	26	18	16	13	9	5	2
Ovary	104	87	73	60	50	34	31	25	18	11	5
Bladder	212	180	152	129	109	79	78	74	64	47	24
Other	1339	719	523	409	323	207	181	148	109	68	30
Thyroid	634	419	275	178	113	41	14	4	1	0.3	0.0
All solid	4592	3265	2525	1988	1575	1002	824	678	529	358	177
Leukemia	185	112	86	76	71	63	62	62	57	51	37
All cancers	4777	3377	2611	2064	1646	1065	886	740	586	409	214

Risque effectif (R)

Exemple : estimation du risque de développer un cancer du sein suite à une TDM thorax qui donnent 20 mGy aux seins

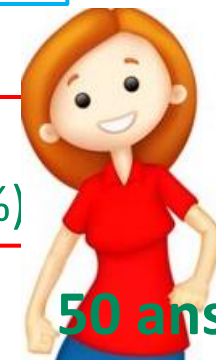


10 ans

- ✓ $r_{\text{sein}} (10 \text{ ans}) = (712 \text{ cas} / 100\,000) / 100 \text{ mGy}$
- ✓ $R_{\text{sein}} (10 \text{ ans}) = 20 \text{ mGy} * r_{\text{sein}} (10 \text{ ans}) = 142 \text{ par } 100\,000 (0,14 \%)$

- ✓ $r_{\text{sein}} (50 \text{ ans}) = (70 \text{ cas} / 100\,000) / 100 \text{ mGy}$
- ✓ $R_{\text{sein}} (50 \text{ ans}) = 20 \text{ mGy} * r_{\text{sein}} (50 \text{ ans}) = 14 \text{ par } 100\,000 (0,014 \%)$

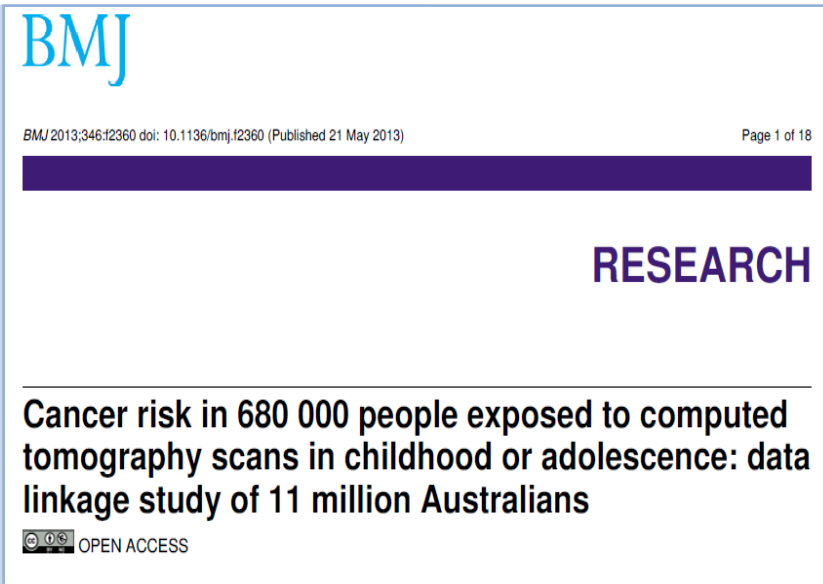
- ✓ **Risque global d'avoir le cancer du sein : $R(\text{sein}) = 12\%$**



50 ans

Risque à la population

Risque à la population important : **50%** de la dose d'origine médicale et **17%** des examens




BMJ

BMJ 2013;346:f2360 doi: 10.1136/bmj.f2360 (Published 21 May 2013) Page 1 of 18

RESEARCH

Cancer risk in 680 000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians

 OPEN ACCESS

Principe de réduction du risque

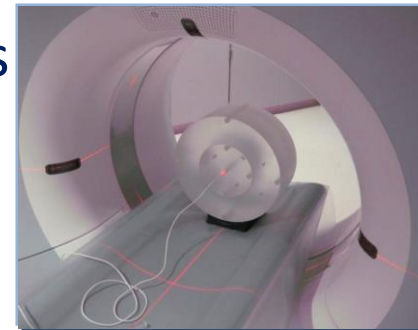
Rôle des intervenants en imagerie médicale est de permettre aux patients d'avoir l'examen approprié tout en éliminant la dose inutile :

- ✓ Justification
- ✓ Optimisation
- ✓ Bonnes pratiques

$CTDI_{vol}$ – volume Computed Tomography Dose Index

Dose moyenne mesurée sur des fantômes cylindriques en acrylique de 16 et 32 cm de diamètre :

- Unité : Gray (Gy)
- Examens cérébraux **adultes et pédiatriques** : 16 cm
- Thorax et abdomen-pelvis **adultes** : 32 cm
- Thorax et abdomen-pelvis **pédiatriques** : 32 cm ou 16 cm



CTDI_{vol} – volume Computer Tomography Dose Index

CTDI_{vol} (16 cm) ≈ 2 X CTDI_{vol} (32 cm)

Dose Information				
Images	CTDI _{vol} mGy	DLP mGy-cm	Dose Eff. %	Phantom cm
1-61	6.68	243.82	82.60	Body 32
62-122	10.03	365.47	82.60	Body 32
Projected series DLP:			609.29 mGy-cm	
Accumulated exam DLP:			0.00 mGy-cm	

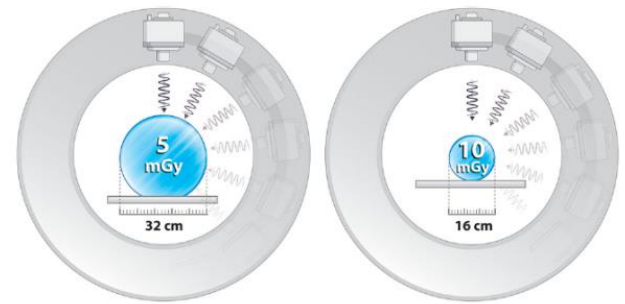
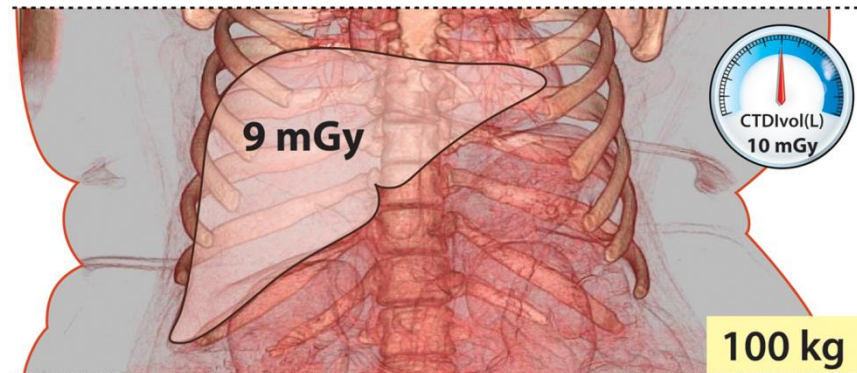
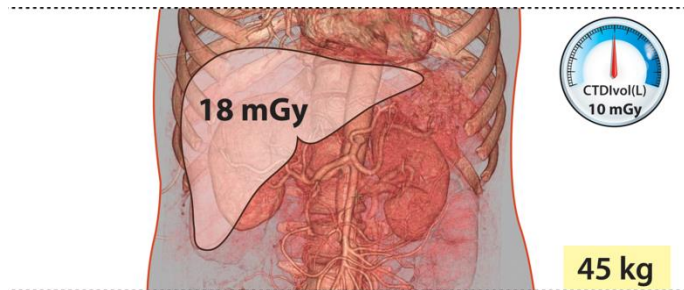


Fig. 2 For the same techniques (kV and mAs) and CT pitch value, the measured CTDI_{vol} in a 32-cm (L)-diameter phantom (left) will be approximately one half the corresponding CTDI_{vol} in a 16-cm (S)-diameter phantom (right)

Source : Walter Huda. Curr Radiol Rep (2015) 3:80

Dose Report					
Series	Type	Scan Range (mm)	CTDI _{vol} (mGy)	DLP (mGy-cm)	Phantom cm
1	Scout	-	-	-	-
2	Helical	551.250-1357.550	9.74	460.66	Body 32
Total Exam DLP:				460.66	

CTDI_{vol} – volume Computer Tomography Dose Index



Source : Walter Huda. Curr Radiol Rep (2015) 3:80

CTDI_{vol} ne dépend pas du patient

✓ Technique avec modulation

La variation du CTDI_{vol} est due à la variation du mA

CTDI_{vol} – volume Computer Tomography Dose Index

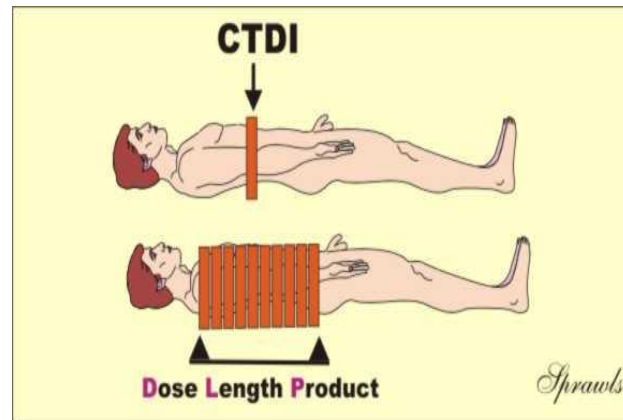
Le CTDI_{vol} permet de :

- ✓ Comparer les performances des TDM
- ✓ Comparer les doses des protocoles de la même procédure pour divers modèles de TDM et ce, **indépendamment des patients**

Produit dose longueur (PDL)

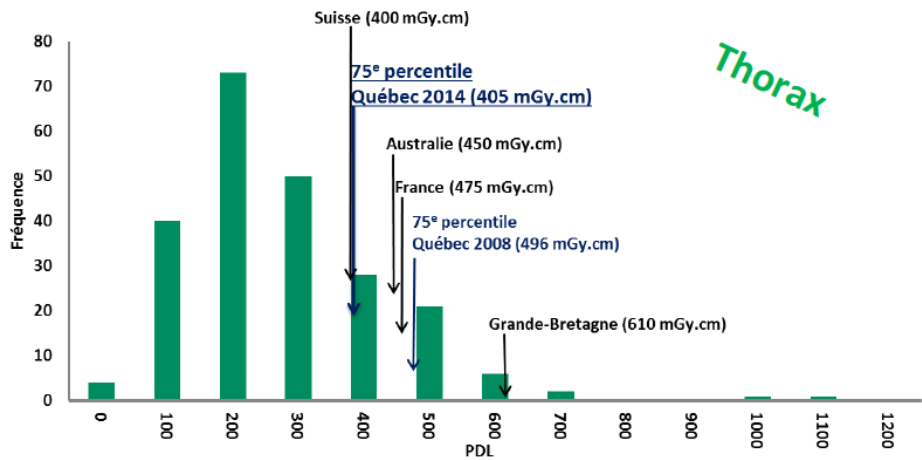
$$PDL = CTDI_{vol} \times L$$

- ✓ Unité : mGy.cm
- ✓ Tient compte du volume total irradié
- ✓ Permet de :
 - Comparer les risques des examens de la même procédure



Niveaux de référence diagnostiques (NRD)

Valeurs de $CTDI_{vol}$ et PDL qui correspondent au 75^e percentile



Niveaux de référence diagnostiques (NRD)

- ✓ **Sondent** la dose reçue par des groupes de patients semblables
- ✓ **Évaluent** le potentiel d'optimisation
- ✓ **Ne devraient pas** être considérés comme des seuils limites à respecter

Pour évaluer vos pratiques :

Calculez le $CTDI_{vol}$ et PDL moyens sur un échantillon de patients.

Niveaux de référence diagnostiques (NRD)

Tableau 4 : NRD représentatifs pour des procédures de CT (IPEM 2004),(Aldridge 2006), (Shrimpton 2004)

Examen	CTDI _w (mGy)	Produit dose-longueur (mGy•cm)
Tête	60	930 - 1300
Visage et sinus	35	360
Poitrine	30	580 - 650
Abdomen - Bassin	35	560 - 1100
Foie et rate	35	470 - 920

Code de sécurité 35

Australian National Adult Diagnostic Reference Levels for MDCT

The following table presents the current adult DRLs for Multi Detector CT.

Table 1: Australian Adult MDCT DRLs

Australian Adult (15+ years) MDCT Diagnostic Reference Levels		
Adult Protocol	DLP (mGy.cm)	CTDI _{vol} (mGy)
Head	1000	60
Neck	600	30
Chest	450	15
AbdoPelvis	700	15
ChestAbdoPelvis	1200	30
Lumbar Spine	900	40

Note: CTDI_{vol} values for the Head are based on the 16 cm PMMA reference phantom and Chest and Abdomen are based on the 32 cm PMMA reference phantom.

The survey is ongoing with data collection occurring in calendar year periods.

- ✓ Santé Canada va publier des NRD nationaux basés sur un sondage de 2014
- ✓ CECR va publier des NRD provinciaux

À comprendre et à retenir

- ✓ Effets de la radiation : tissulaires (déterministes) et stochastiques
- ✓ Dose (mGy) : énergie par unité de masse (grandeur physique)
- ✓ Dose à l'organe (mGy) : dose moyenne déposée dans un organe
- ✓ Risque effectif : estimation du risque individuel en tenant compte du l'âge et du sexe (BEIR VII)

À comprendre et à retenir

- ✓ $CTDI_{vol}$: Dose moyenne mesurée sur des fantômes et qui n'est pas la dose moyenne au patient
- ✓ PDL : Produit dose longueur
- ✓ NRD : Niveaux de référence diagnostiques

Approche d'optimisation utilisée dans la tournée TDM

Tournée provinciale en TDM



- ✓ Démarrée en 2011
- ✓ 112 installations TDM diagnostiques visitées
- ✓ 15 installations TEP-TDM visitées

Résultats de la tournée en TDM

Table 2. Proportion of protocols modified during the CT tour.

Routine protocols	With contrast	Without contrast
Head	82%	82%
Chest	92%	85%
Abdomen-pelvis	86%	84%

Table 3. Achieved dose reduction per modified protocols.

Routine protocols	Avg.	min	max	SD
Head	19%	6%	60%	12%
Chest	24%	2%	50%	11%
Abdomen-pelvis	20%	5%	52%	11%

Résultats de la tournée en TDM

Table 4. CT doses in Quebec from 2008 and 2014 surveys for standard adult patients (60–80 kg).

	Mean DLP (mGy · cm)			75 percentile DLP (mGy · cm)		
	2008	2014	Reduction (%)	2008	2014	Reduction (%)
Routine protocols						
Head	1209	1013	16	1352	1115	18
Chest	432	323	25	496	405	18
Abdomen-pelvis	766	634	17	850	764	10

L'optimisation, un processus continu

Recommandation CECR:

« Évaluer la possibilité que l'établissement se dote d'un groupe multidisciplinaire responsable des protocoles et de leur optimisation. »

- ✓ Peut-on appliquer l'approche CECR?
- ✓ Quels sont les éléments de cette approche d'optimisation?

Approche de la tournée en TDM

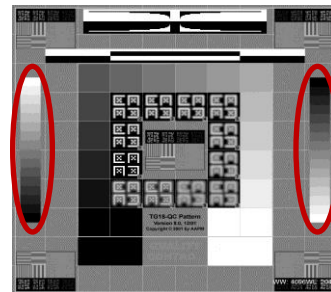
✓ Équipes CECR et locale **multidisciplinaires**



- ✓ **Constituer un groupe d'optimisation** où seront représentés les différents intervenants
- ✓ **Réviser** régulièrement les pratiques et les protocoles
- ✓ **Informé et faire participer** tous les intervenants au processus

Approche de la tournée en TDM

- ✓ **Évaluation** des performances de la chaîne d'acquisition TDM :
 - TDM, station diagnostique

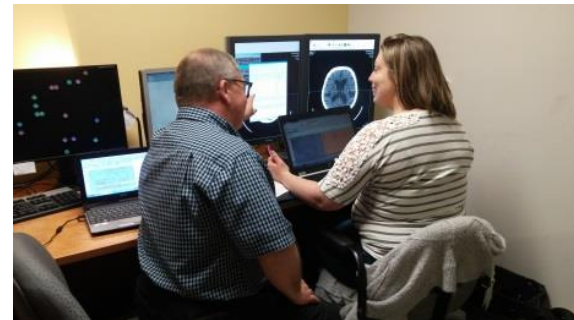


- ✓ **Analyser**, en tant que groupe d'optimisation, **les rapports de contrôle de qualité** avant de procéder à l'optimisation des protocoles
- ✓ **Exiger** des contrôles de qualité si c'est nécessaire
- ✓ **Exiger** les corrections et les calibrations nécessaires

Approche de la tournée en TDM

Évaluation des pratiques (cas cliniques) :

- ✓ Paramètres d'acquisition et de reconstruction
- ✓ Dose : $CTDI_{vol}$ et PDL
- ✓ Bruit et artéfacts
- ✓ Longueur d'exploration, protection des organes radiosensibles, centrage et positionnement

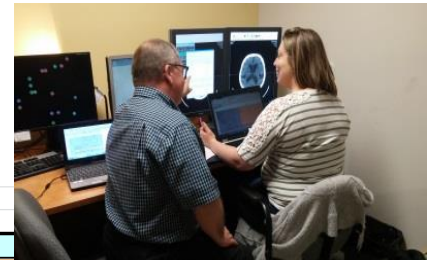


Monitorer et analyser les pratiques sur des cas cliniques récents avant le processus d'optimisation :

- Minimum 30 cas cliniques par protocole et par catégorie d'âge et de poids

Approche de la tournée en TDM

Évaluation des pratiques (cas cliniques) :



2.2 Protocoles thorax				Info / Tag	1	2	3	
ID infos	PROTOCOLES THORAX - Patients ADULTES :			Info / Tag				
1	Sexe (Féminin (F) / Masculin (M)) :			0010-0040				
2	Âge :			0010-1010				
3	Numéro d'accèsion de la requête :							
4	Numéro de dossier du patient (si requis):			0010-0020				
5	Nom du patient (si requis):			0010-0010				
6	Contraste (Oui (O) /Non (N)) :			0018-9342				
7	Image de localisation :	Face (O/N)						
8		Profil (O/N)						
9	QUISITION	Mode Séquentiel ou Hélicoïdal (S/H) :		0018-0022				
10		Dimension du foyer:		0018-1190				
11		Tension (kVp) :		0018-0060				
12		Temps de rotation (s) :		0018-9305				
13		SFOV:		0018-0090				
14		Charge	Sans modulation	mA fixe (réel) :	0018-9330			
15				mAs/slice ou	mAs eff = (mA x TRT) / Pitch acquisition			
16				mAs effectif :				
17		Charge	dulation	GE:				
18				Noise Index NI :	0027-101f			
19	mA(min) :							
	mA(max) :							
20	TOSHIBA:							
21	SD :							
22	mA(min) :							
	mA(max) :							

Approche de la tournée en TDM

- ✓ **Recommandations** sur les **bonnes pratiques** de réalisation des examens :
 - *Acquérir et utiliser les caches au bismuth*
 - *Respecter les limites de couvertures anatomiques protocolées*
 - *Établir une charte des couvertures anatomiques*
 - *Positionner correctement le patient*
 - *Anguler le statif pour éviter d'irradier le cristallin*
 - *Rappeler aux technologues l'importance de porter leur dosimètre*
- ✓ **Formuler** clairement les recommandations dans un rapport
- ✓ **Nommer** un responsable pour suivre la mise en application des recommandations

Approche de la tournée en TDM

Recommandations portant sur les contrôles de qualité :

- ✓ *Détecter la dégradation des performances de la chaîne d'acquisition*
- ✓ *Prévenir les défaillances fortuites*
- ✓ *Prévenir les artéfacts pouvant nuire au diagnostic*

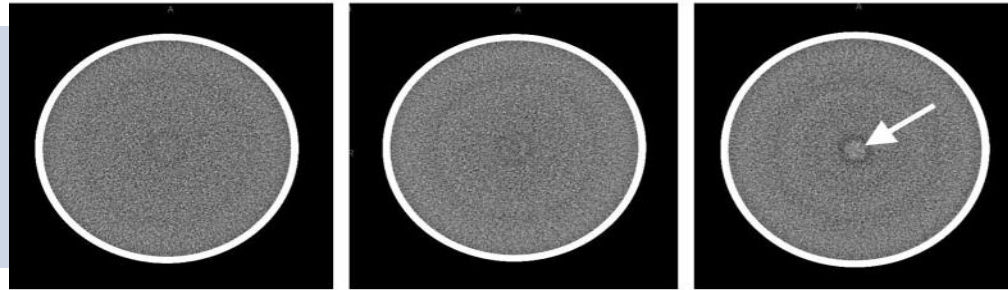
- ✓ **Implanter** un programme de contrôle de qualité complet basé sur le Module TDM du Guide québécois de contrôle de qualité et de radioprotection en imagerie médicale



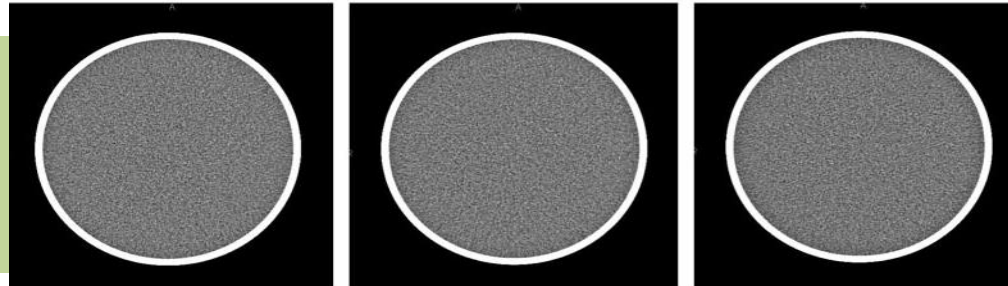
Approche de la tournée en TDM

Exemples d'artéfacts détectables lors du test de calibration et stabilité du TDM

AVANT
calibrage



APRÈS
calibrage



Approche de la tournée en TDM

Recommandations sur l'optimisation des protocoles en tenant compte de :

- ✓ *Dose moyenne estimée sur les cas cliniques analysés*
- ✓ *Performances des TDM*
- ✓ *Niveaux du bruit dans les images cliniques*
- ✓ *Besoins des radiologistes en qualité d'images*

Formuler clairement les modifications proposées dans un tableau

Approche de la tournée en TDM

		Protocoles standards pour patient entre 60kg et 80 kg												
		Tête				Thorax				Abdomen-Pelvis				
		C+		C-		C+		C-		C+		C-		
Nom du protocole		TÊTE C+		TÊTE C-		THORAX C+		THORAX C-		ABD-PELV.C+		ABD-PELV.C-		
		Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
ACQUISITION	Mode Séquentiel (S) / Hélicoïdal (H)	H		H										
	Tension (kVp)	135	120	135	120	120	P&M : 100			120	P&M : 100			
	Temps de rotation (s)	1	0.75	1	0.75									
	Modulation (O/N)	N		N	RAPIDIT É									
	Sans modulation	mA fixe (réel)	180	230	180	230								
		mAs/slice ou mAs effectif												
	Avec modulation	SD					13	P&M : 16 G :18	13	P&M : 15 G :18	13	15	13	15
		mAmin					100	80	100	80	100	80	100	80
		mAmax												
	Conformation du détecteur	Nombre de détecteurs à utiliser	32											
		Largeur d'un détecteur (mm)	0.5											
		Pitch d'acquisition	21 (0.656)											
	Filtres physiques utilisés (ex: égaliseur)													
RECONSTRUCTION	Épaisseur de la coupe reconstruite (mm)	3	5	3	5									
	Filtre de reconstruction (Kernel)	FC23		FC23										
	Paramètre de reconstruction itérative													
	Fenêtrage	Niveau (WL)												
		Largeur (WW)												

Approche de la tournée en TDM

- ✓ **Implémentation** des protocoles optimisés
- ✓ **Évaluation** de la qualité des images par le ou les radiologistes
- ✓ **Ajustement** les paramètres du protocole pour répondre aux besoins des radiologistes

- ✓ **Implémenter** des nouveaux protocoles et **garder** les anciens protocoles
- ✓ **Effectuer** les tests cliniques avec les radiologistes
- ✓ **Ajuster** les paramètres pour répondre aux besoins des radiologistes

Approche de la tournée en TDM

- ✓ Fichier de qualification thorax pour évaluer la qualité des images :

<http://www.chus.qc.ca/academique-ruis/centre-dexpertise-clinique-en-radioprotection/>

2.2 Protocole « Thorax standard » - Qualification des images cliniques¹

Numéro d'accèsion de la requête :

1 = Non-visible 2 = Difficilement visible 3 = Visible 4 = Clairement visible 5 = Très clairement visible

	Qualification des éléments				
	1	2	3	4	5
<i>Éléments généraux à visualiser</i>					
Deux champs pulmonaires (incluant les languettes pulmonaires postérobasales) :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Paroi thoracique (incluant le rachis, les creux sus-claviculaires et axillaires) :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Détails critiques</i>					
Médiastin et vaisseaux :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Glande thymique ou résidus :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Thyroïde dans sa portion thoracique :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Œsophage, cœur et péricarde :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Trachée, carène, bronches souches et tissu péritracheal :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ganglions médiastinaux et hilaires :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Diaphragme et angles costophréniques :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nodules de plus de 4 mm :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Commentaires : <input type="text"/>					
<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
Nom du radiologiste	Signature	Date de l'évaluation			

¹ Les critères utilisés pour cette analyse d'images cliniques sont tirés des recommandations publiées par la Société française de radiologie (SFR).

Approche de la tournée en TDM

- ✓ Équipes multidisciplinaires
 - ✓ Évaluation des performances des équipements et des pratiques
 - ✓ Optimisation en fonction des :
 - Performances des TDM
 - Besoins cliniques des radiologistes
- ✓ Approche originale suscitant l'intérêt des autres provinces et pays



Approche de la tournée en TDM

- ✓ Autres approches d'optimisation :
 - ✓ **Respecter** les niveaux de référence diagnostiques (NRD)
 - ✓ **Publier** des protocoles optimisés pour chaque modèle de TDM : AAPM, Ctisus, etc.
- ✓ L'approche CECR intègre les deux méthodologies tout en tenant compte des performances des TDM et des besoins des radiologistes

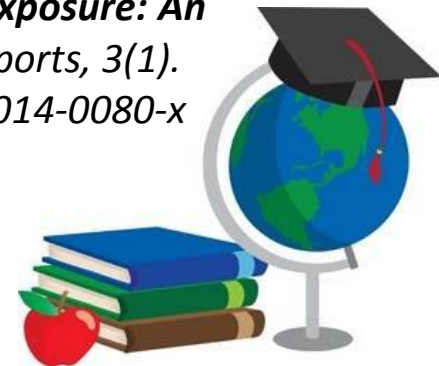
Présentation basée essentiellement sur les articles :

CT dose reduction: approaches, strategies and results from a province-wide program in Quebec

Moulay Ali Nassiri^{1,2}, Manon Rouleau^{1,2}
and Philippe Després^{1,3,4}

Accepté pour publication dans *Journal of Radiologic Protection*

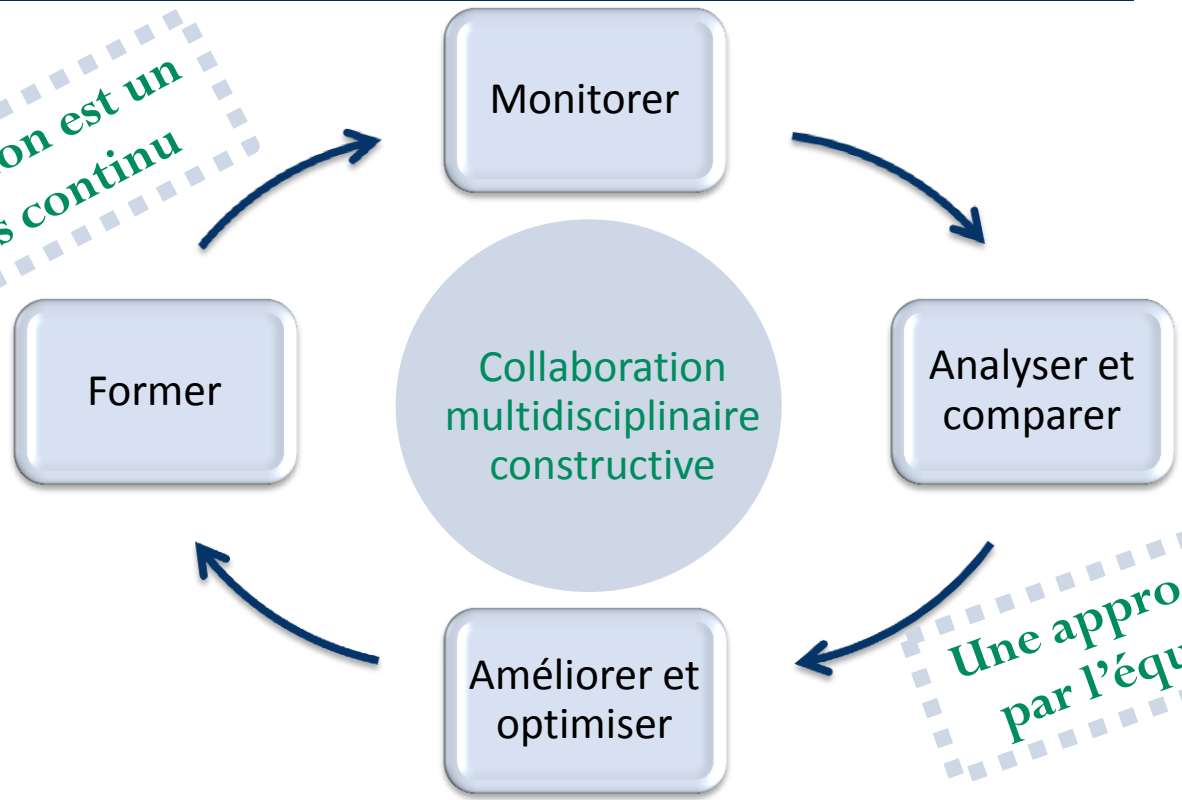
Huda, W. (2014). **CT Radiation Exposure: An Overview**. *Current Radiology Reports*, 3(1).
<http://doi.org/10.1007/s40134-014-0080-x>






À méditer et intégrer dans les pratiques

L'optimisation est un processus continu




Une approche éprouvée par l'équipe du CECR

Pour nous rejoindre

 Par téléphone : 819 348-3842 ou 1 877 839-1217

 Par télécopieur : 819 822-6700

 Par courriel : cecr.chus@ssss.gouv.qc.ca

 Par courrier :
CECR
500, rue Murray, case postale 1
Sherbrooke (Québec) J1G 2K6

Page Internet : www.chus.qc.ca/cecr