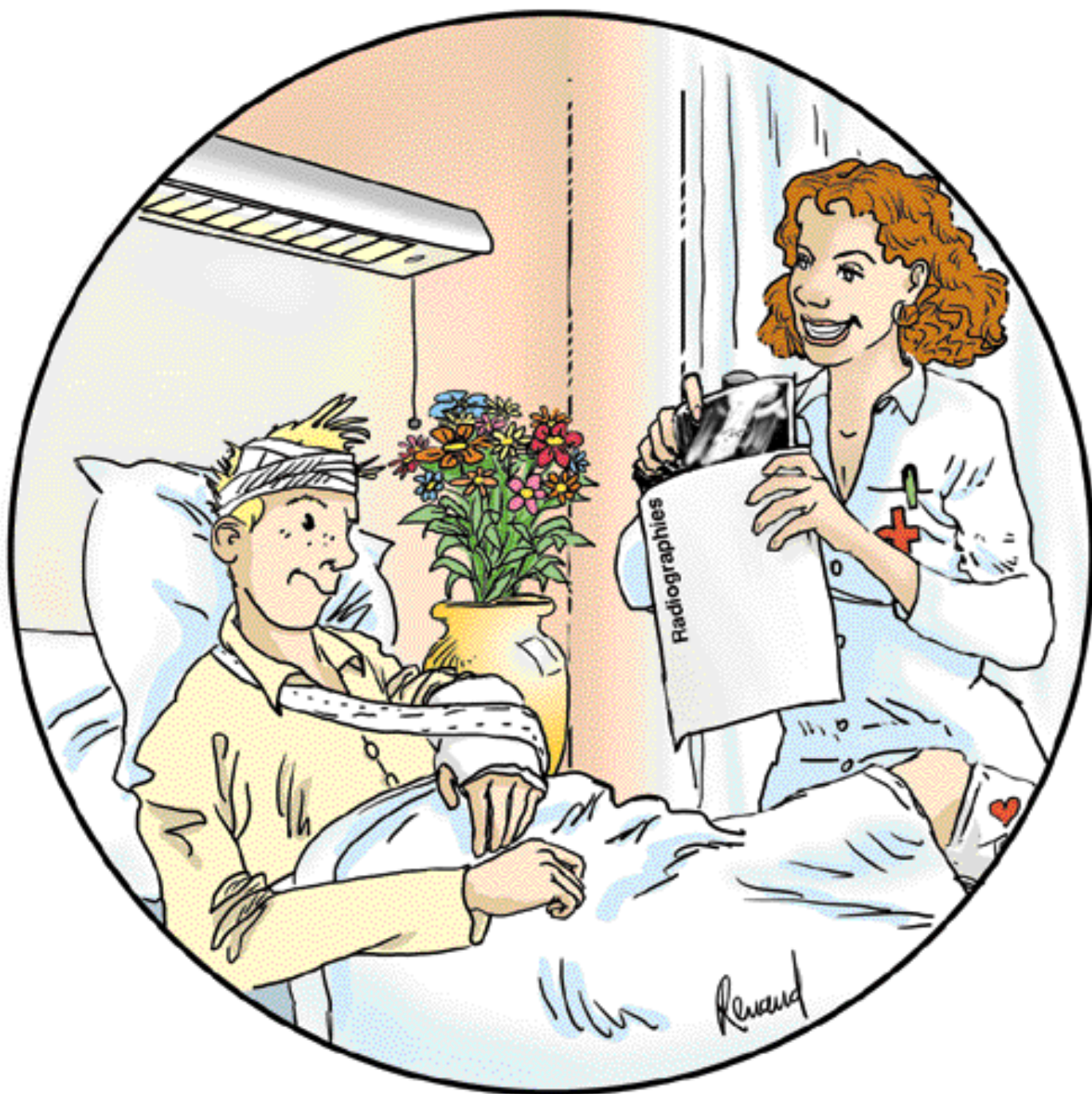
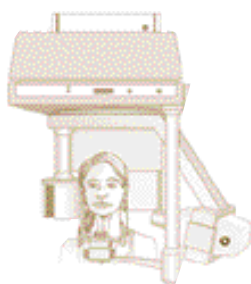


L'irradiation médicale en 10 épisodes

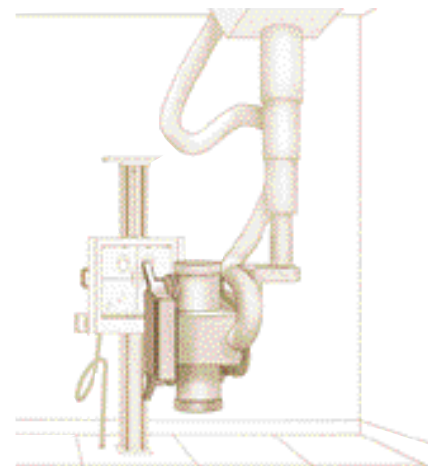
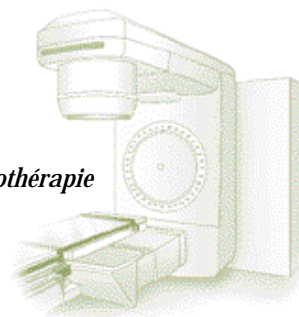


L'irradiation médicale



Radiographie dentaire

Radiothérapie



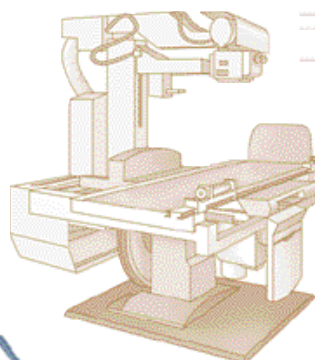
Radiographie pulmonaire



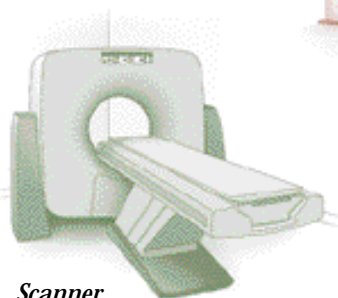
Échographie



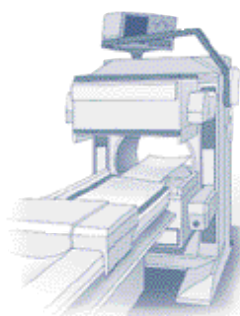
Mammographie



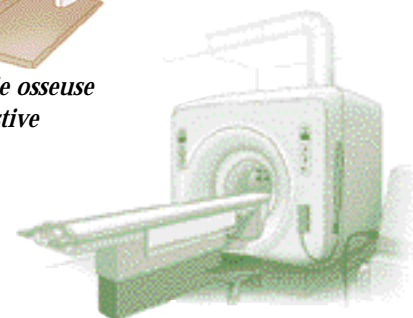
*Radiographie osseuse
et digestive*



Scanner



Scintigraphie



Imagerie par Résonance Magnétique

BONJOUR !
HEUREUX DE VOUS RETROUVER
DANS CETTE NOUVELLE BD !
VOUS VOYEZ SUR CETTE PAGE
BEAUCOUP D'APPAREILS MÉDICAUX...
TOUS UTILES POUR LE DIAGNOSTIC
OU LE TRAITEMENT
DE MALADIES.

CERTAINS UTILISENT
LES RAYONNEMENTS IONISANTS.
PRÉSENTENT-ILS DES RISQUES POUR
LE PATIENT EXPOSÉ ? FAUT-IL PRENDRE
DES PRÉCAUTIONS ? POUR EN SAVOIR PLUS,
JE VOUS CONVIE À LA VISITE D'UN
SERVICE DE RADIOLOGIE...



Yves-Sébastien Cordoliani
Chef du Service Radiologie de l'Hôpital du Val-de-Grâce

Gabriel Kalifa
Chef du Service Radiologie de l'Hôpital Saint-Vincent-de-Paul

Christian Lefaure
Chef de projet,
Centre d'étude sur l'Évaluation de la Protection dans le domaine Nucléaire
Fontenay-aux-Roses

Jacques Lochard
Directeur,
Centre d'étude sur l'Évaluation de la Protection dans le domaine Nucléaire
Fontenay-aux-Roses

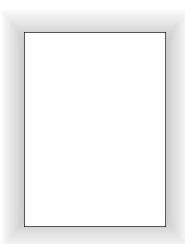
Médiation scientifique :
Jean-Yves Pipaud - Rians

Illustrations :
Renaud Poulard - Marseille

Conception graphique, mise en page, mise en couleurs :
Martine Beugin - Marseille

Cette brochure est éditée par la Société Française de Radioprotection.
Existe dans la même collection :

La radioactivité naturelle en 10 épisodes



Une radio, pour quoi faire ?



Deux attardés s'en souviendront...
Une fourche de vélo cassée
pour l'un, une épaule pour l'autre.

- "Le forgeron est à 100 mètres.
Vous, le docteur est en face. Il vient de recevoir
un nouvel appareil, pour voir les os."



- "J't'accompagne, j'veux voir l'appareil."



- "Trois mois pour ressouder mon omoplate,
il a dit.
- Une heure, pour ressouder ma fourche."



"Bonne chance,
rendez-vous à l'arrivée!"

ON FAIT UNE RADIO
À UN PATIENT QUAND ON A BESOIN
DE VOIR À L'INTÉRIEUR DU CORPS.
C'EST UN MOYEN D'EXPLORATION TRÈS
EFFICACE POUR VOIR CERTAINES PARTIES
DU CORPS PAR TRANSPARENCE

APPARUS EN 1896,
LES EXAMENS RADIOLOGIQUES
ONT PROFONDÉMENT TRANSFORMÉ LA
MÉDECINE. CHAQUE JOUR, ILS FOURNISSENT
AUX MÉDECINS DES INFORMATIONS IRREPLA-
ÇABLES QUI LEUR PERMETTENT DE METTRE EN
ŒUVRE LES TRAITEMENTS APPROPRIÉS. DEPUIS
UN SIÈCLE DES MILLIONS D'INDIVIDUS
EN ONT TIRÉ UN BÉNÉFICE
CONSIDÉRABLE.



a

Voir l'invisible



Wilhelm Conrad Röntgen

Le 8 novembre 1895, le savant allemand *Wilhelm Conrad Röntgen* observe un phénomène remarquable : quand des électrons accélérés frappent une plaque de métal dans une ampoule en verre vide d'air, l'écran fluorescent situé à proximité s'illumine, même si l'ampoule est entourée de papier noir.

Il en déduit que l'ampoule émet des rayons, qu'il nomme rayons X, capables de traverser le verre, le papier, l'air... et le corps humain : lorsqu'il interpose *sa main sur le passage des rayons X*, il reconnaît sur la plaque photographique l'ombre des os de la main. La photographie fait le tour de l'Europe en quelques semaines. A Paris, Henri Poincaré émet l'hypothèse que les rayons X sont dus à la phosphorescence du verre.



Henri Becquerel

Début 1896, le français *Henri Becquerel* entreprend des expériences sur le sujet : il expose au soleil des échantillons phosphorescents, les enveloppe dans du papier noir et les pose sur une plaque photographique ; seuls les sels d'uranium impressionnent cette plaque.

Il en conclut que la phosphorescence s'accompagne parfois d'émission de rayons (de rayons X?). Le 26 février 1896, alors que le temps est pluvieux depuis plusieurs jours, il constate que des sels d'uranium rangés dans un tiroir à l'abri de toute lumière ont voilé une plaque photographique. Le 2 mars, il annonce que l'uranium émet naturellement un rayonnement "sans cause extérieure".



Pierre Curie

En 1898, *Pierre et Marie Curie* réussissent à extraire du minerai d'uranium deux nouveaux éléments, le polonium et le radium, qui émettent encore plus de rayonnements que l'uranium. Ils montrent que ces rayonnements sont liés aux propriétés mêmes de l'atome et appellent ce phénomène "*radioactivité*".



Marie Curie

Dans les années suivantes, de nombreux éléments radioactifs, ou radioéléments, sont découverts et l'anglais *Ernest Rutherford* identifie les *trois rayonnements de la radioactivité : alpha, bêta et gamma*.

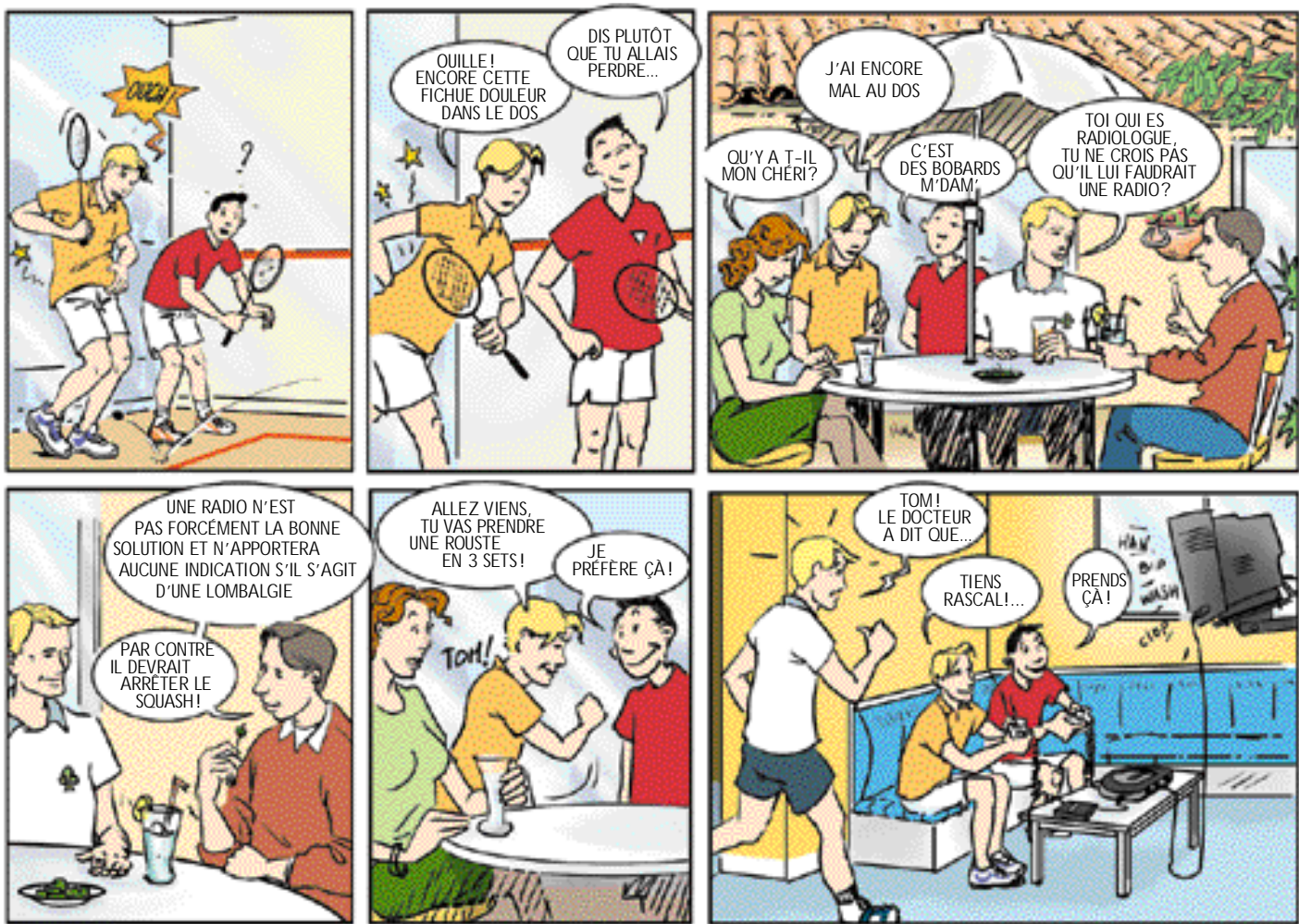


Ernest Rutherford

L'utilisation médicale des rayonnements se développe immédiatement après leur découverte : les rayons X pour la radiologie dès 1896, les rayons gamma du radium pour le traitement des cancers en 1903. Ils permettent de faire des progrès décisifs en matière de diagnostic et de traitement des affections.

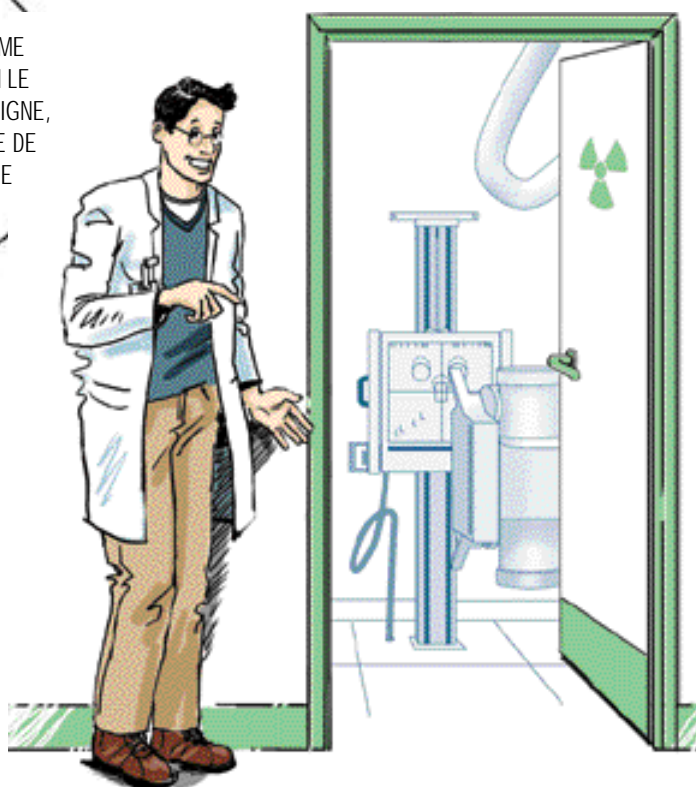
Et si les techniques se sont diversifiées depuis un siècle, la radiologie reste aujourd'hui la méthode de base pour voir les os et le poumon.

Pas de radio, mais pourquoi ?

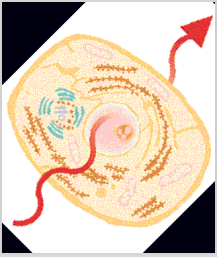


ON VOIT SOUVENT ARRIVER EN URGENGE DES PERSONNES QUI RÉCLAMENT UNE RADIO : UNE MAMAN INQUIÈTE POUR SON BÉBÉ TOMBÉ DE LA TABLE À LANGER, UN HOMME BLOQUÉ DU DOS LE LENDEMAIN D'UN DÉMÉNAGEMENT... SI LE BÉBÉ VA BIEN ET NE PRÉSENTE, À L'OBSERVATION, AUCUN SIGNE, AUCUN TROUBLE DE COMPORTEMENT, IL N'EST PAS UTILE DE LUI FAIRE UNE RADIO DU CRÂNE. DE MÊME SI L'HOMME A MANIFESTÉ UN LUMBAGO, IL N'Y A PAS DE RAISON DE LUI FAIRE UNE RADIO DE LA COLONNE VERTÉBRALE.

ON NE FAIT PAS D'EXAMEN RADIOLOGIQUE À UN PATIENT QUI N'EN A PAS BESOIN! UNE RADIO QUI NE CHANGERA RIEN, NI AU DIAGNOSTIC, NI AU TRAITEMENT, EST D'AUTANT PLUS INUTILE QU'ELLE PRÉSENTE UN RISQUE POUR LE PATIENT ET QU'ELLE A UN COÛT.



Le revers de la médaille



Les rayonnements traversent les cellules.

En 1900, *Henri Becquerel* qui venait de transporter dans la poche de son gilet un tube contenant du radium observe sur sa peau une tache rouge de la forme du tube. Averti, Pierre Curie vérifie le phénomène en posant sur son bras un fragment de radium pendant plusieurs heures. Il constate une brûlure suivie d'une plaie qui met presque deux mois à guérir. A cette époque, les médecins prennent conscience que *les rayons ont une action physiologique qui peut détruire les tissus*.

Le premier cancer "radio induit" est décrit en 1902 chez un employé qui, depuis plusieurs années, vérifiait sur sa main le fonctionnement des tubes à rayons X. Ce cancer est suivi de nombreux autres chez les radiologues, médecins, physiciens, qui font un usage intensif et sans précaution des rayons X. En 1928, devant la multiplication des accidents, les radiologues créent la "*Commission internationale de protection radiologique*" (CIPR) pour définir des règles de protection contre les rayonnements. Ces règles seront révisées périodiquement au cours du siècle, toujours dans le sens de la prudence.



Dans la cellule, les rayonnements peuvent briser la chaîne d'ADN.

Les *rayonnements* traversent la matière en heurtant les atomes. Au passage, ils arrachent des électrons* et cèdent de l'énergie. Dans les cellules de la matière vivante, les dégâts biologiques engendrés sont directement liés à la quantité d'énergie cédée, appelée dose. *L'effet des rayonnements dépend de l'importance de la dose*.

Les doses reçues par les patients lors d'examen radiologiques sont faibles et n'ont jamais amené à observer d'effets secondaires, ce qui n'est pas suffisant pour affirmer que ces effets n'existent pas. En pratique, cette absence de certitude scientifique conduit à adopter une attitude prudente et à faire "comme si" les effets existaient à faible dose. En d'autres termes, on admet que *toute exposition présente un risque*. Il faut donc réduire au plus bas niveau les doses administrées aux patients pour réduire le risque.

Bien sûr, il ne s'agit pas de supprimer des actes radiologiques utiles ou de diminuer leur qualité en réduisant à tout prix les doses. La gestion du risque doit se faire de manière raisonnable en s'appuyant sur les deux principes fondamentaux de la radioprotection du patient :

- un acte médical impliquant des rayonnements doit apporter un bénéfice supérieur au risque supposé ; *c'est le principe de justification*.
- pour chaque diagnostic médical impliquant des rayonnements, il faut savoir utiliser juste la dose nécessaire pour obtenir l'information souhaitée ; *c'est le principe d'optimisation*.

* En arrachant des électrons, les rayonnements transforment les atomes en "ions", c'est pourquoi on les appelle "*rayonnements ionisants*".

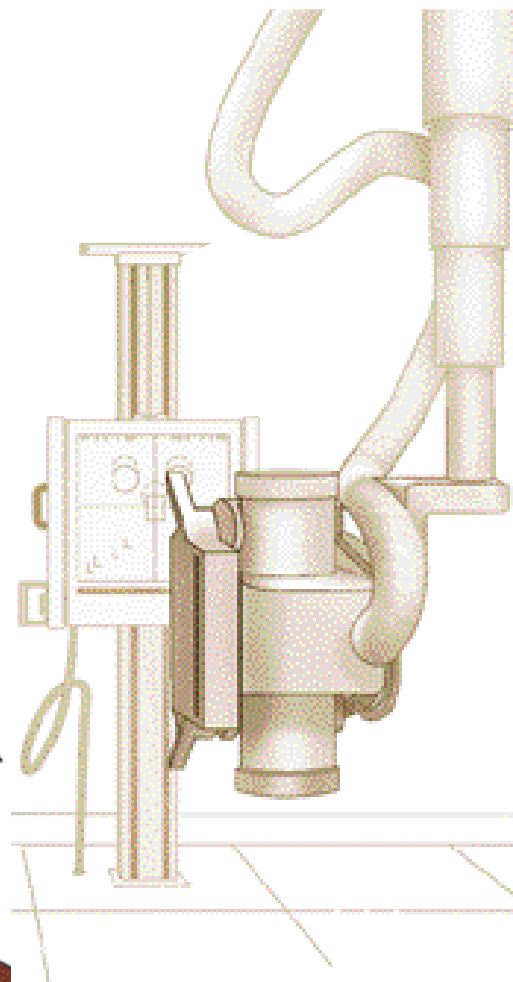


C'est quoi le danger ?



PRENDRE UN BAIN DE SOLEIL, C'EST AGRÉABLE. MAIS ATTENTION, TROP D'EXPOSITION PEUT CONDUIRE À DES CANCERS DE LA PEAU. DE MÊME, LES RAYONS X PEUVENT COMPORTER DES RISQUES DANS CERTAINES CIRCONSTANCES, COMME DES ÉRYTHÈMES, DES BRÛLURES, VOIRE DES CANCERS.

LE RISQUE D'APPARITION DE MALADIES RADIO INDUITES EST FAIBLE, VU LE NIVEAU DES DOSES DÉLIVRÉES PAR LES EXAMENS RADIOLOGIQUES. CEPENDANT, IL FAUT SE PROTÉGER. COMME ON S'ABRITE DU SOLEIL SOUS UN PARASOL, ON ÉVITE LES RADIOS INUTILES. COMME ON APPLIQUE DE LA CRÈME SOLAIRE SUR LA PEAU, ON RÈGLE LES APPAREILS RADIOLOGIQUES POUR RÉDUIRE LES DOSES AU PLUS BAS NIVEAU POSSIBLE.



Le principe de précaution



Irradiation naturelle

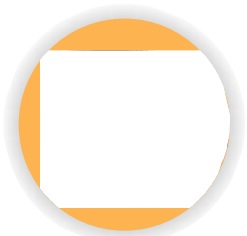
L'homme n'a pas attendu le XXe siècle pour être exposé aux rayonnements ionisants.

L'irradiation naturelle existe depuis que le monde est monde.*

Via l'exposition aux rayons cosmiques, l'inhalation de radon, l'ingestion de radionucléides naturels comme le potassium 40, l'homme reçoit une dose annuelle qui varie de 2 à 15 millisieverts selon le pays, la région, l'altitude, le mode de vie, l'activité professionnelle.

Un Français reçoit en moyenne 2,4 millisieverts par an. À cette dose, s'ajoute depuis un siècle l'irradiation artificielle d'origines médicale et industrielle.

Par exemple, une radiographie des poumons (0,1 millisievert) revient à ajouter l'équivalent de 15 jours d'irradiation naturelle à son "compteur personnel".

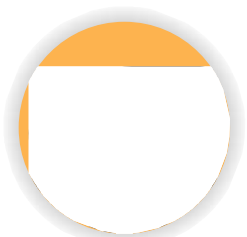


Irradiation médicale

Les irradiations peuvent entraîner des mutations génétiques et des cancers. Cependant, ces maladies sont difficiles à mettre en évidence car elles apparaissent tardivement (plusieurs années voire dizaines d'années après l'irradiation) et ne se distinguent pas des affections naturelles. De plus, dans une population où chaque individu a reçu la même dose de rayonnements, certains sont susceptibles d'en développer et d'autres pas.

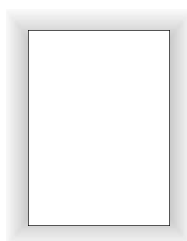
Seule une enquête épidémiologique portant sur un très grand nombre de personnes est capable de déterminer si un supplément d'irradiation entraîne un excès de cancers; par contre elle ne peut pas identifier qui a été atteint.

Jusqu'à présent, les enquêtes épidémiologiques n'ont mis en évidence un excès de cancers radio induits que pour des doses supérieures à 100 ans d'irradiation naturelle. En deçà, il faudrait surveiller pendant plusieurs dizaines d'années des millions de personnes ayant subi des examens radiologiques (comparées à une population de même type n'en ayant pas subi), pour observer un effet, s'il existe.



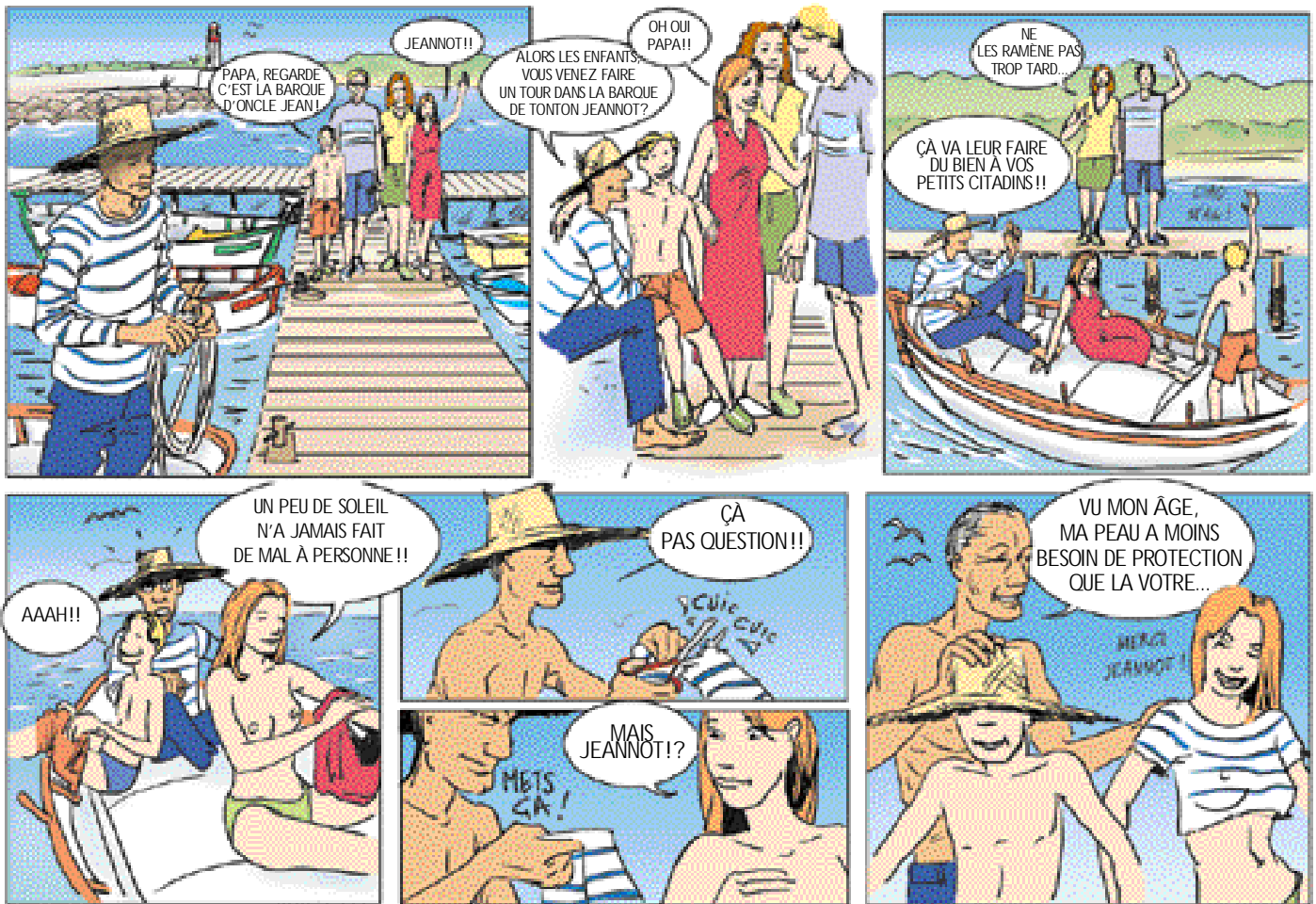
Irradiation industrielle

En l'absence de résultats mesurables, le *principe de précaution* s'applique. Il consiste à considérer l'absence d'un seuil d'innocuité : le risque existe dès qu'il y a une exposition aux rayonnements. Pour faire une comparaison, c'est admettre, par exemple, que le risque lié au tabac apparaît dès la première cigarette.



* Pour en savoir plus, vous pouvez consulter la brochure SFRP sur la radioactivité naturelle.

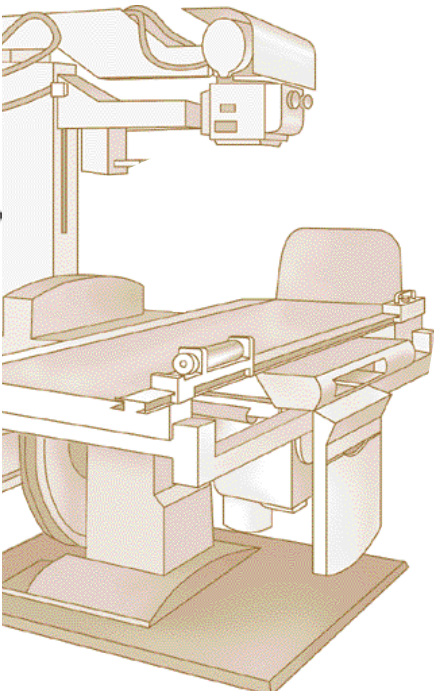
Est-ce plus dangereux chez les enfants ?



TOUS LES HOMMES NE SONT PAS ÉGAUX DEVANT L'IRRADIATION. UN BÉBÉ POSSÈDE DES CELLULES EN PLEINE MULTIPLICATION, PLUS SENSIBLES AUX RAYONNEMENTS QUE CELLES D'UN ADULTE. ON PREND DONC UN SURCROÏT DE PRÉCAUTION POUR LES NOURRISSONS. FAUT-IL POUR AUTANT CONTRE-INDIQUER TOUS LES ACTES RADIOLOGIQUES CHEZ LA FEMME ENCEINTE ?

NON, IL Y A DES CAS OÙ ILS SONT JUSTIFIÉS CAR ILS CONSTITUENT LA SEULE TECHNIQUE DIAGNOSTIQUE PERMETTANT AU MÉDECIN DE PRESCRIRE LE TRAITEMENT ADAPTÉ. CETTE FEMME ENCEINTE TOUSSE DE MANIÈRE PRÉOCCUPANTE ? UNE RADIO DES POUMONS INDICHERA S'IL S'AGIT D'UNE PNEUMONIE.

POUR UNE MÊME PERSONNE, LA SENSIBILITÉ AUX RAYONNEMENTS VARIE AUSSI D'UN ORGANE À L'AUTRE. EN GÉNÉRAL, ON ÉVITE D'IRRADIER LES SEINS, LES TESTICULES ET LES OVAIRES.



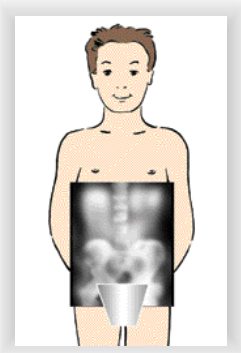
L'enfant in utero est censé être particulièrement sensible, en vertu d'une loi énoncée dès le début du siècle par Bergonié et Tribondeau : un tissu ou organe est d'autant plus sensible aux rayonnements ionisants que ses cellules se divisent souvent et sur une plus longue période, ce qui est le cas pendant la croissance.



Le risque à prendre en compte n'est pas le risque de malformations, qui n'a jamais été observé pour des doses délivrées en diagnostic, contrairement à une croyance tenace. Par contre, une augmentation du risque de cancer pour l'enfant a été observée dans les années cinquante après des pelvimétries (radiographies effectuées chez les mères en fin de grossesse pour savoir si les dimensions du bassin permettent un accouchement naturel). *Il faut donc éviter au maximum pendant cette période toute irradiation qui n'est pas justifiée par un risque majeur chez la mère* (qui ferait alors courir un risque au bébé). On pourra recourir selon les cas à des techniques non irradiantes (échographie, IRM) ou à des techniques permettant d'obtenir des informations avec un niveau d'irradiation très faible (pelvimétrie par scanner par exemple).



Les explorations radiologiques peuvent être *modulées en fonction de l'âge et du sexe pour des pathologies apparemment identiques* : le diagnostic de luxation congénitale de la hanche chez le nourrisson est actuellement fait par l'échographie plutôt que par la radiographie. En revanche, chez l'adulte, la pathologie de la hanche (souvent l'arthrose) sera utilement, rapidement et économiquement suivie par radiographie, sans risque significatif, et il n'y a aucune raison de substituer à cette exploration une autre plus irradiante et plus coûteuse (scanner) ou non irradiante mais encore plus coûteuse (IRM).



Lorsque l'information radiologique est attendue d'une partie du corps, il est inutile d'irradier les parties voisines, même si le risque est infime. C'est pourquoi *les appareils de radiologie comportent des volets plombés qui permettent de n'irradier que la zone que l'on veut explorer*, en laissant "dans l'ombre" les régions voisines. Il est utile de masquer par un cache plombé certains organes : par exemple les testicules d'un garçon à qui l'on effectue un cliché d'abdomen (on ne peut masquer les ovaires d'une fille en raison de leur situation dans le pelvis, ce qui pourrait empêcher une interprétation correcte de l'examen). Cependant ces protections absorbent une partie du rayonnement utile au diagnostic et créent des parasites sur l'image (artefacts) qui peuvent nuire à la précision du diagnostic.



Il convient donc dans chaque cas de trouver le bon équilibre entre le souci de radioprotection et la qualité du diagnostic.

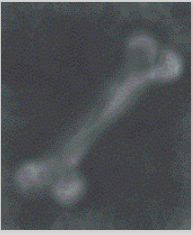
Qu'est-ce qu'une bonne radio ?



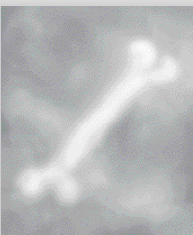
UNE BONNE RADIO EST UNE RADIO UTILE, QUI DONNE LES MOYENS DE RÉPONDRE À LA QUESTION QUE L'ON SE POSE.

UNE BONNE RADIO N'EST PAS UNE BELLE RADIO. JE SAIS, ON AIME TOUS LES BELLES IMAGES. MAIS POUR CELA, IL FAUT IRRADIER LE PATIENT PLUS QUE NÉCESSAIRE. D'AILLEURS, UN MAUVAIS CLICHE N'EST PAS FORCÉMENT À REFAIRE, S'IL RÉPOND À LA QUESTION POSÉE.

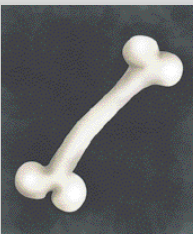




Non!



Non!



*Superbe,
mais pas indispensable !*



Suffisante !

Une radiographie est comme un examen de laboratoire, un examen dit “complémentaire”. Lorsque le médecin ne peut pas répondre à la question posée uniquement en auscultant, palpant, ou en examinant le malade, il fait appel à la technique et aux machines.

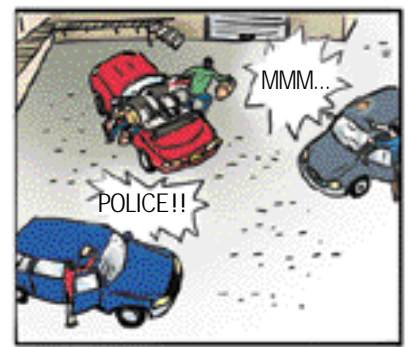
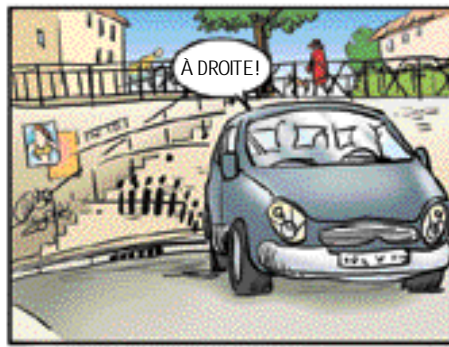
Une bonne radiographie doit satisfaire aux besoins du patient mais aussi du médecin qui l’a prescrite. Elle *doit bien répondre à la question soulevée par les symptômes que présente le malade* : devant un traumatisme, y a-t-il ou non une fracture ? Les bonnes incidences ont-elles été pratiquées ? On sait, par exemple, que certaines fractures ne seront visibles que de profil, aussi fait-on souvent deux incidences. Par ailleurs, la zone malade a-t-elle été bien couverte par la radiographie. Par exemple, une douleur du mollet peut correspondre à une atteinte de la colonne vertébrale basse (sciatique) et dans ce cas, le bon examen sera celui qui s’intéressera au rachis et pas simplement au mollet.

Une bonne radiographie doit être, comme une photographie, ni trop noire, ni trop claire, suffisamment nette. Ainsi, afin d’éviter le flou lié aux mouvements, on utilise des temps de pose courts et parfois des systèmes d’immobilisation, notamment chez l’enfant.

Une bonne radiographie doit donc répondre le mieux possible à la question clinique posée, et ce sans faire prendre des risques inutiles au malade. *C’est donc toujours un compromis entre la qualité de l’information médicale recherchée et les risques encourus.* C’est la base du principe de justification. Une bonne radiographie peut être d’excellente qualité mais elle n’a pas besoin d’être belle, elle doit être informative. L’esthétisme n’est pas l’objectif d’une bonne radiographie. Par exemple, un scanner peut répondre simplement à la question posée, sans que l’on ait recours aux images tridimensionnelles reconstruites. Ces images sont souvent beaucoup plus flatteuses pour l’œil que réellement utiles au diagnostic. *Il ne faut pas confondre imagerie médicale et “œuvre d’art”.* Là encore, ce qui importe c’est ce dont le malade a besoin.

Enfin, une bonne radiographie doit faire appel à des techniques non seulement à risque minimum pour le patient mais aussi à un coût raisonnable, c’est à dire la moins coûteuse possible par rapport à l’information recherchée. Il ne faut jamais oublier devant un dossier médical individuel les problèmes globaux de la santé publique car tout est intimement lié. Ainsi, l’IRM qui est une technique merveilleuse n’est pas une panacée, ses indications doivent être posées avec discernement. *Il faut toujours choisir en priorité l’examen qui sait concilier la simplicité et l’efficacité.*

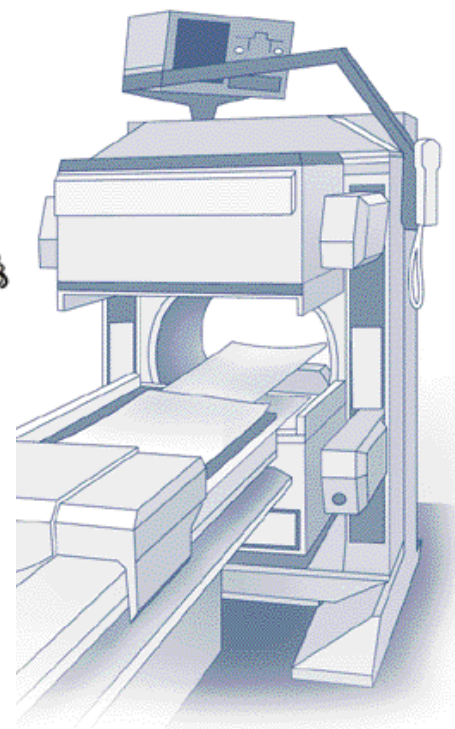
C'est quoi la médecine nucléaire ?

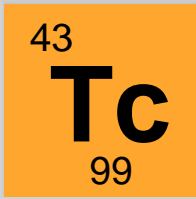


EN MÉDECINE NUCLÉAIRE, ON PEUT FAIRE DES SCINTIGRAPHIES DU CŒUR, DE LA THYROÏDE ET DES OS. ON MARQUE, AVEC UN TRACEUR RADIOACTIF UNE MOLÉCULE AYANT UNE AFFINITÉ PARTICULIÈRE POUR L'ORGANE À EXPLORER. ON FAIT UNE INJECTION INTRAVEINEUSE. L'ORGANE DEVIENT SOURCE DE RAYONNEMENTS ET RENVOIE SON IMAGE SUR LA CAMERA.

AUJOURD'HUI, LES SCINTIGRAPHIES DÉLIVRENT DES DOSES TRÈS FAIBLES CAR ON CHOISIT DES TRACEURS RADIOACTIFS À DURÉE DE VIE TRÈS COURTE (À PEINE PLUS QUE LE TEMPS DE L'EXAMEN). ON DISPOSE AUSSI DE CAMERAS PLUS SENSIBLES.

LE PRINCIPE D'OPTIMISATION IMPLIQUE DE DISCUTER DES TECHNIQUES ET DE PRÉFÉRER LA MOINS IRRADIANTE : RADIOLOGIE OU MÉDECINE NUCLÉAIRE ? AINSI, POUR CERTAINES EXPLORATIONS, LA SCINTIGRAPHIE EST PLUS PERFORMANTE ET MOINS IRRADIANTE QUE LA RADIOGRAPHIE.

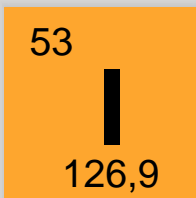




Technétium

En bombardant de l'aluminium avec des particules alpha, Irène et Frédéric Joliot-Curie produisirent, en 1934, un isotope radioactif du phosphore qui n'existait pas dans la nature : le phosphore 30.38 ans après la découverte de la radioactivité naturelle par Henri Becquerel, ils venaient de découvrir la radioactivité artificielle. Depuis lors, *plus de 1500 isotopes artificiels, tous radioactifs*, ont été créés dans les laboratoires, les accélérateurs de particules et les réacteurs nucléaires.

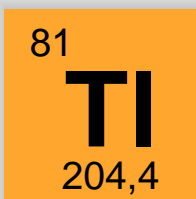
Tous les isotopes naturels ou artificiels d'un élément chimique ont les mêmes propriétés chimiques, celles de l'élément. Par exemple l'iode 127, isotope naturel stable et l'iode 131, isotope artificiel radioactif ont la propriété caractéristique de l'iode de se concentrer dans la glande thyroïde. Mais en plus, l'iode 131 se désintègre en émettant un rayonnement β et un rayonnement gamma facile à détecter. *En s'introduisant dans l'organe, l'iode 131 peut donc servir d'indicateur ou de traceur.*



Iode

C'est avec l'exploration de la glande thyroïde par l'iode 131 que *la médecine nucléaire a pris naissance dans les années quarante*. Vingt ans plus tard, elle a pris son véritable essor avec l'introduction de la gamma-caméra et l'utilisation d'un nouvel isotope, le technétium 99.

La médecine nucléaire repose sur le choix d'un produit radio-pharmaceutique (une molécule marquée par un isotope radioactif) qui possède une affinité pour l'organe à explorer. Après injection intraveineuse, le produit se concentre dans l'organe, où il est détecté par une gamma-caméra. Celle-ci fournit une image appelée scintigraphie. Alors que la radiographie donne une image anatomique, la scintigraphie *fournit des informations sur le fonctionnement de l'organe.*



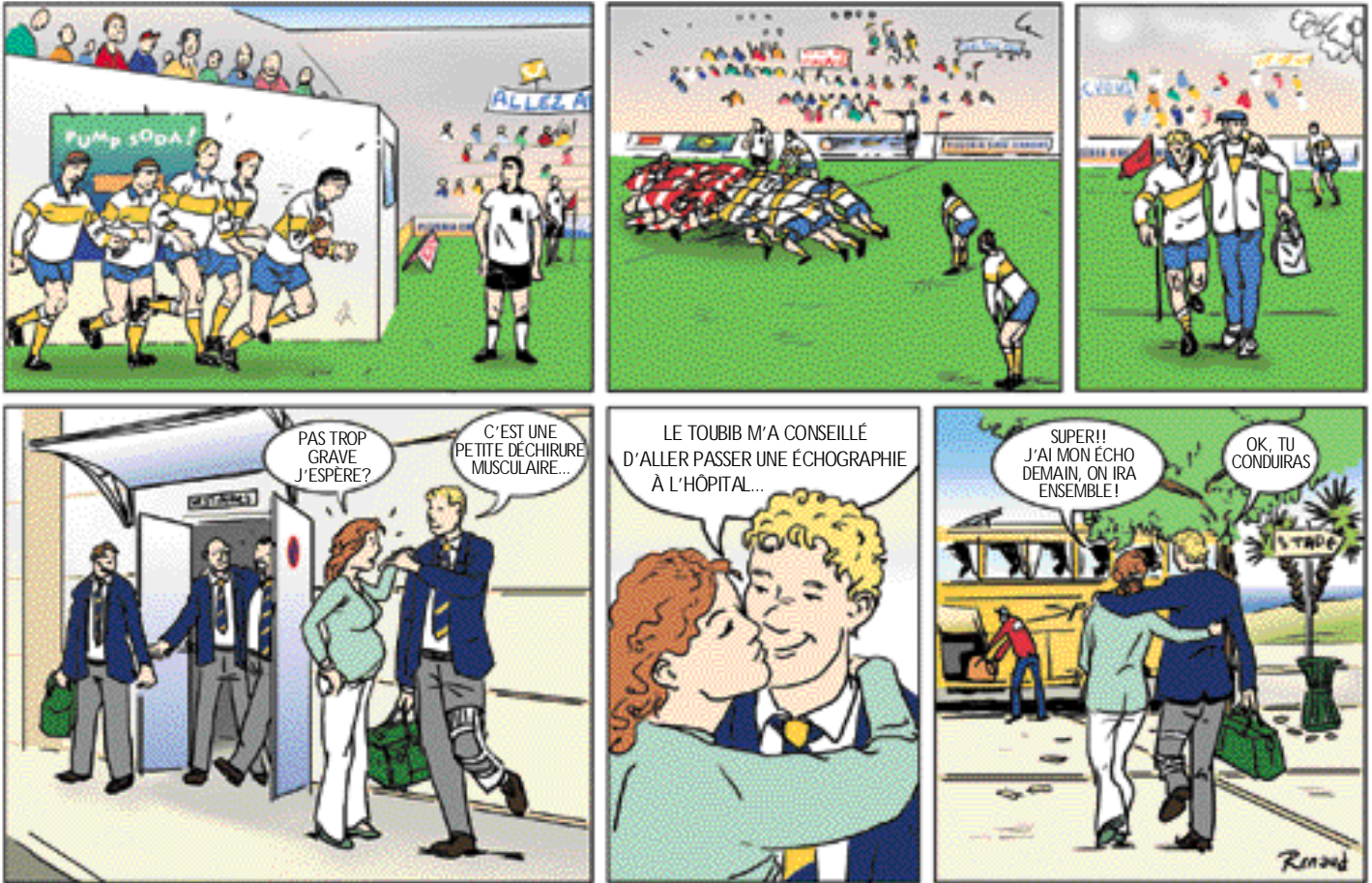
Thallium

Le *technétium 99* est l'isotope le plus utilisé en médecine nucléaire. D'une part sa durée de vie est courte et réduit l'irradiation du patient tout en étant compatible avec la durée de l'examen; d'autre part, il peut être conjugué à des molécules permettant des études morphologiques et fonctionnelles de nombreux organes (poumon, foie, sang, thyroïde, os...). D'autres isotopes apportent des informations fondamentales sur certaines pathologies. Par exemple, *le thallium 201* pour le cœur et *l'iode 123* pour la thyroïde.

Classification
périodique
des éléments,
élaborée en 1869
par le chimiste russe
Dimitri Mendéléïev

1	H																	2	He																												
3	Li	4	Be											5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne																						
11	Na	12	Mg											13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar																						
19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr												
37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe												
55	Cs	56	Ba	57 a 71	Hf	72	Ta	73	W	74	Re	75	Os	76	Ir	77	Pt	78	Au	79	Hg	80	Tl	81	Pb	82	Bi	83	Po	84	At	85	Rn														
87	Fr	88	Ra	89 a 103													104	Rf	105	Db	106	Sg	107	Bh	108	Hs	109	Mt	110			111	Cn	112	Nh	113	Fl	114	Mc	115	Lv	116	Tl	117	Cs	118	Og
57	La	58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu																		
89	Ac	90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lr																		

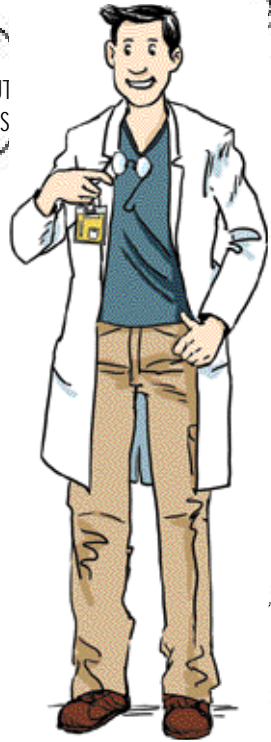
Peut-on voir les organes sans rayons X ?



ON PEUT OBTENIR DES IMAGES DE L'INTÉRIEUR DU CORPS SANS RAYONS X ! L'ÉCHOGRAPHIE ET L'IMAGERIE PAR RÉSONANCE MAGNÉTIQUE (IRM) SONT DES TECHNIQUES NON IRRADIANTES.

L'ÉCHOGRAPHIE EST UNE TECHNIQUE SANS DANGER ET PEU COÛTEUSE, PARTICULIÈREMENT INDIQUÉE POUR L'ENFANT ET LA FEMME ENCEINTE. MAIS ON NE PEUT PAS VOIR CERTAINS ORGANES COMME LES POUMONS CAR LES ULTRASONS SE PROPAGENT MAL DANS L'AIR.

L'IRM MONTRE MIEUX L'ANATOMIE QUE LE SCANNER. ELLE EST CONTRE-INDIQUÉE AUX PORTEURS DE PACEMAKER, ET PARFOIS AUX PORTEURS DE MATÉRIELS MÉTALLIQUES, À CAUSE DU CHAMP MAGNÉTIQUE INTENSE QUI RÉGNE DANS ET AUTOUR DE L'APPAREIL.

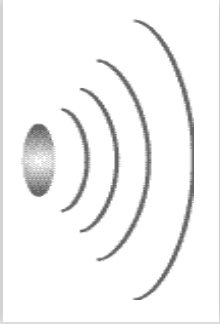


CETTE TECHNIQUE EST EN PLEIN DÉVELOPPEMENT : ON A COMMENCÉ PAR LE CERVEAU ET LA MOELLE, PUIS LES OS ET LES ARTICULATIONS. ON EN EST ACTUELLEMENT AU CŒUR ET AUX VAISSEAUX, AINSI QU'AUX ORGANES PLEINS DE L'ABDOMEN

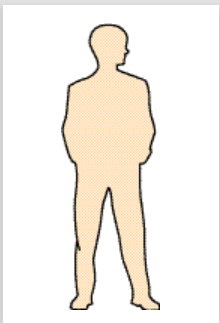
Le principe de substitution

Il est parfois possible de remplacer le radio-diagnostic par une technique non irradiante. C'est le principe de substitution.

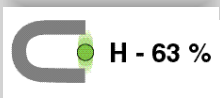
L'*échographie* explore les organes grâce aux ultrasons. On reprend en fait le principe du radar. Une sonde émet des ultrasons et recueille les échos, c'est à dire les sons réfléchis par l'organe, et ceux-ci sont analysés par ordinateur pour reproduire l'image de l'organe. La peau est enduite de gel pour mieux conduire les ultrasons et améliorer l'acoustique. Certaines zones ne conduisent pas les ultrasons, celles qui contiennent de l'air, les os. Par contre, certains tissus sont parfaitement adaptés aux ultrasons comme le foie, les reins, la cavité pelvienne. On peut étudier le cerveau de l'enfant tant que la fontanelle n'est pas fermée car il n'y a pas de barrière osseuse. Cette technique des ultrasons s'est maintenant généralisée. *Elle est très adaptée à l'enfant, d'accès facile et sans danger.* Elle est très connue en obstétrique pour surveiller les grossesses, bien voir la croissance et la morphologie du bébé, dépister d'éventuelles malformations. Par exemple, pour le dépistage de la luxation congénitale de la hanche chez le tout jeune nourrisson, elle met bien en évidence le tissu cartilagineux, invisible à la radiographie conventionnelle. Il n'y a pas d'effet néfaste connu des ultrasons dans les fréquences utilisées en imagerie médicale. Enfin, l'échographie, par sa facilité d'utilisation et son faible coût, est parfaitement adaptée à la plupart des conditions d'exercice médical dans tous les pays du monde, quel que soit leur niveau sanitaire.



L'échographie utilise les ultrasons.



L'homme est composé principalement d'hydrogène (63%), d'oxygène (25%), de carbone (10%).

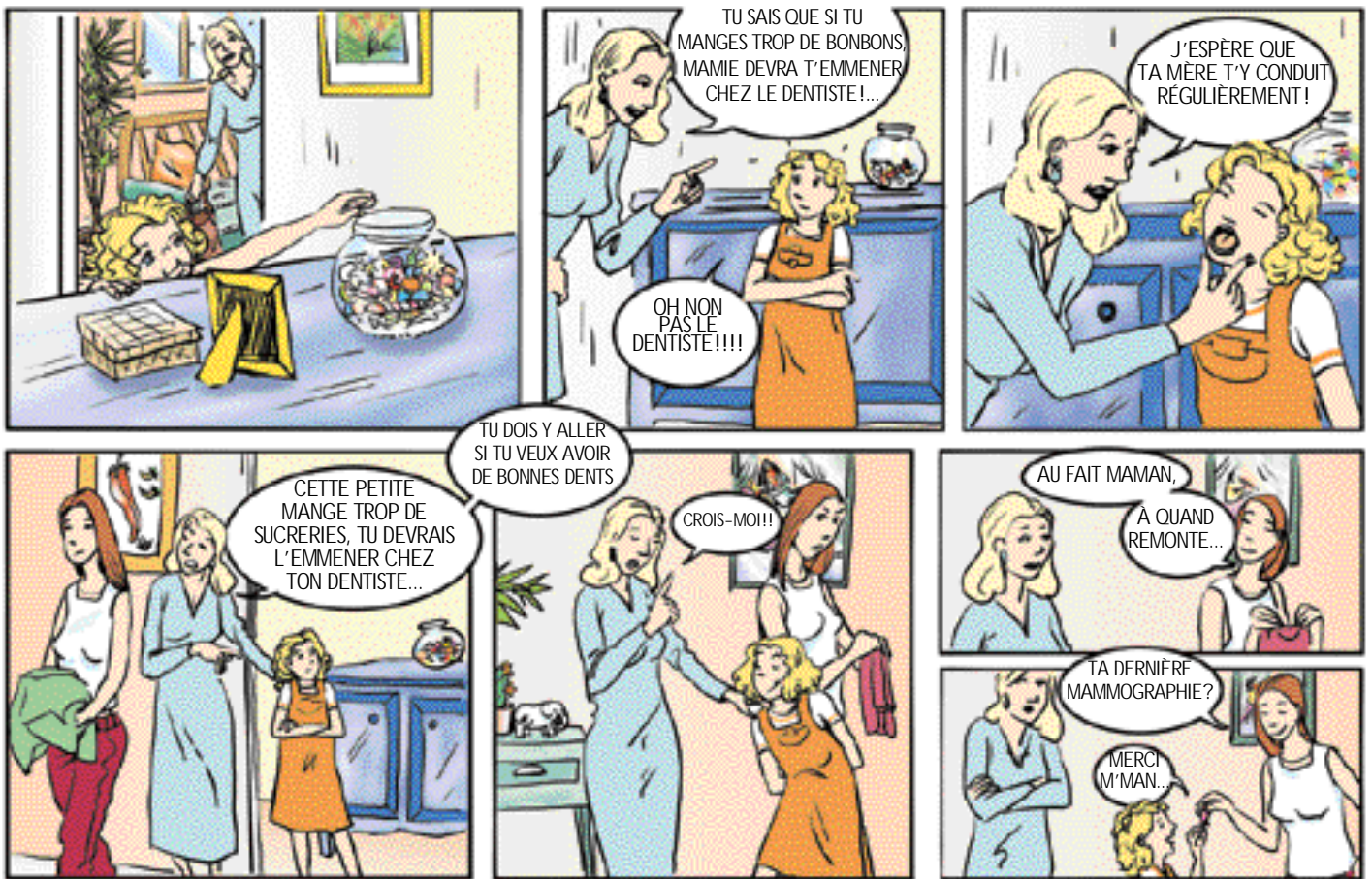


En IRM, les noyaux d'hydrogène du corps humain constituent autant de petits aimants.

L'*imagerie par résonance magnétique (IRM)* est une technique connue depuis 1950. Mais il a fallu attendre 1970 et l'arrivée des ordinateurs puissants pour voir la technique se développer. Ce n'est qu'au début des années 1980 que les centres médicaux commencèrent à s'équiper d'appareils. La technique consiste à utiliser la propriété des atomes d'hydrogène contenus dans le corps humain dont les noyaux constituent autant de petits aimants. L'examen se fait en trois étapes. Dans un premier temps, on place le corps dans un champ magnétique très puissant (plusieurs milliers de fois celui de la Terre) qui aligne les axes de rotation des noyaux d'hydrogène dans la même direction. Ensuite, les noyaux d'hydrogène sont excités par des ondes radio. Quand l'excitation est interrompue, les noyaux restituent leur énergie sous forme d'une onde de "résonance". Ce signal est analysé par un ordinateur qui reconstitue les images des organes en utilisant des méthodes mathématiques de traitement du signal.

L'IRM *permet d'obtenir des images très précises de tous les organes comportant suffisamment d'hydrogène*; seuls certains tissus peu hydratés (os compact, poumon) sont mal visualisés. Les images sont obtenues d'emblée dans n'importe quel plan. Le contraste des tissus (particulièrement la différence entre tissus normaux et tissus lésés) dépasse celui des meilleurs scanners X. L'examen est sans danger, mais ne peut être pratiqué chez les porteurs de pacemaker et parfois d'objets métalliques, clips chirurgicaux,... tous ces éléments risquant d'être modifiés ou déplacés par le champ magnétique. Il est souvent difficile chez les patients claustrophobes ou obèses, mais les appareils modernes sont plus larges et moins longs et les durées d'examen sont actuellement beaucoup plus courtes (un quart d'heure à trois quarts d'heure, selon la complexité de la pathologie explorée). Enfin, *l'IRM permet d'étudier non seulement l'anatomie, mais aussi le fonctionnement de certains organes (cerveau, cœur).*

Pourquoi des radios quand on va bien ?



IL PEUT ÊTRE UTILE DE FAIRE DES EXAMENS RADIOLOGIQUES À DES PERSONNES QUI NE SONT PAS MALADES! C'EST LE CAS DES MAMMOGRAPHIES CHEZ LES FEMMES À PARTIR D'UN CERTAIN ÂGE, POUR DÉPISTER DE FAÇON PRÉCOCE LES CANCERS DU SEIN.

MAIS L'UTILITÉ DES EXAMENS SYSTÉMATIQUES MÉRITE D'ÊTRE REMISE EN CAUSE RÉGULIÈREMENT. CERTAINS DÉPISTAGES ONT ÉTÉ SUPPRIMÉS CAR LES ÉTUDES RÉALISÉES APRÈS DE NOMBREUSES ANNÉES DE PRATIQUES CONCLUAIENT À LEUR INEFFICACITÉ : DÉPISTAGE DE LA TUBERCULOSE, AVANT UNE ANESTHÉSIE GÉNÉRALE, POUR L'EXAMEN PRÉNUPTIAL,...

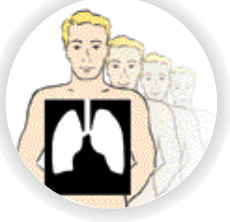
ENFIN, IL EST DISCUTABLE DE RÉALISER DES RADIOS, EXIGÉES PAR CERTAINES FÉDÉRATIONS SPORTIVES, LORS DE L'INSCRIPTION À DES COMPÉTITIONS, SI L'EXAMEN CLINIQUE SOIGNEUX NE MONTRE PAS D'ANOMALIES.



*“Aujourd'hui je suis malade ;
je puis mourir
de cette maladie.
Ma mère est morte
de la poitrine et la façon
dont j'ai vécu jusqu'à présent
n'a pu qu'empirer
cette affection, le seul héritage
qu'elle m'ait laissé.”*

Extrait de

*“La Dame aux camélias”,
roman d'Alexandre Dumas fils (1848)
adapté quelques années plus tard
à l'opéra par Verdi
("La Traviata").*

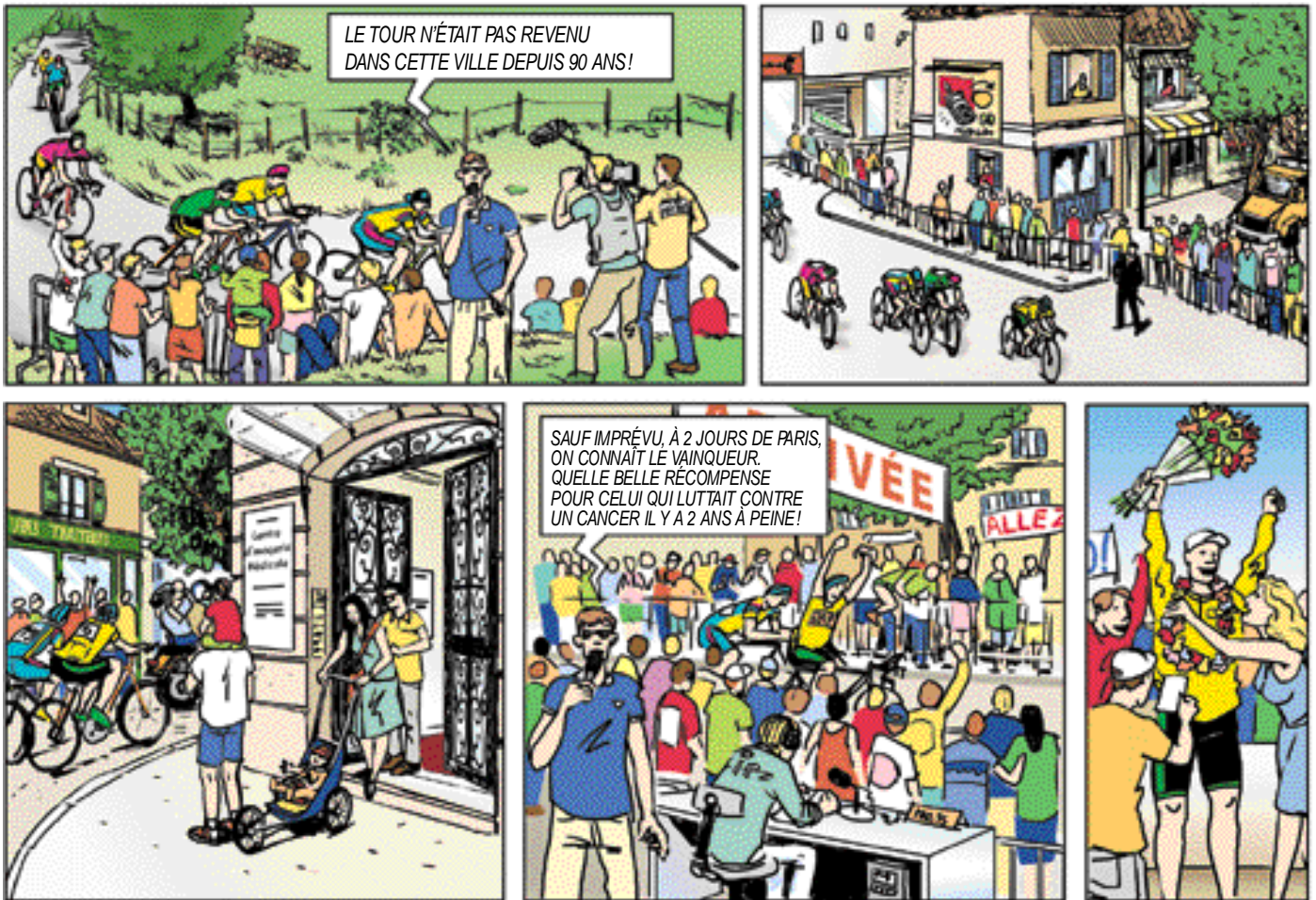


La pratique d'examens radiographiques chez des sujets qui ne présentent aucun symptôme relève de circonstances diverses :

- Le dépistage. C'est le cas notamment des mammographies systématiques chez les femmes à partir d'un certain âge, pour dépister des cancers à un stade très précoce, où ils ne sont pas encore palpables, ce qui *permet de mettre en route très rapidement un traitement, et améliore la survie après le diagnostic.*
- *La surveillance de professions exposées est également un domaine où la radiographie met en évidence des lésions à un stade où elles ne s'expriment pas cliniquement, permettant une prise en charge précoce* et, éventuellement, une indemnisation. C'est le cas des affections pulmonaires dues à l'inhalation de particules (silicose chez les mineurs, asbestose chez les ouvriers d'industrie ayant employé l'amiante comme matériau d'isolation ou d'ignifugation).
- La recherche de maladie chez des sujets exposés à une contamination, par exemple radiographies pulmonaires de l'entourage d'une personne chez qui l'on vient de découvrir une tuberculose.
La phtisie ou consommation, noms donnés autrefois à la tuberculose, a fait des ravages jusqu'au milieu du XXe siècle. Les radiographies des poumons systématiques ne sont plus pratiquées aujourd'hui car la proportion de sujets atteints dans la population est trop faible.

Les radiographies de poumons systématiques chez des sujets sans risques particuliers ne sont pas réellement utiles si ces personnes n'ont aucun symptôme. D'ailleurs elles ne sont plus obligatoires. C'était le cas des radiographies lors des visites d'embauche ou des visites annuelles, des visites pré-nuptiales ou pré-natales. De même, dans la plupart des hôpitaux, on ne réalise plus de clichés systématiques d'entrée pour les personnes hospitalisées ou devant être opérées, car de multiples études en ont montré l'inutilité. Bien sûr ces clichés restent pratiqués quand un patient est hospitalisé pour une pathologie pulmonaire ou cardiaque et restent utiles et pratiqués quand un patient présentant ce type de troubles doit être opéré d'une autre affection, car il faut alors évaluer la fonction respiratoire et cardiaque pour préparer l'anesthésie. *De même, la réalisation de clichés systématiques (notamment la colonne vertébrale), demandés pour permettre la pratique de certains sports, ne sont pas justifiés si l'examen clinique soigneux ne montre pas d'anomalies.*

Les rayons peuvent-ils servir à soigner ?



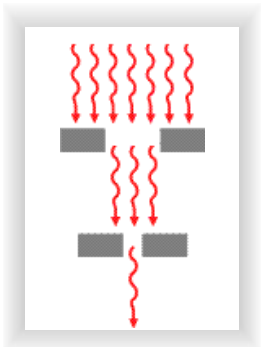
MAIS DANS LA GUERRE CONTRE LES MAUVAISES CELLULES, IL EN EST DE L'IRRADIATION COMME D'UN BOMBARDEMENT À HAUTE ALTITUDE : DIFFICILE D'ATTEINDRE LA CIBLE SANS TOUCHER LES CELLULES INNOCENTES. LE PROBLÈME EST VEILLER À DÉTRUIRE TOUTES LES CELLULES MALIGNES LE MOINS POSSIBLE DE CELLULES SAINES. IL FAUT OFFRIR LE MAXIMUM DE CHANCE DE GUÉRISON AU PATIENT EN LIMITANT LES EFFETS SECONDAIRES.

ON DOIT TOUJOURS PRENDRE EN COMPTE L'ÂGE DU PATIENT, LES ALTERNATIVES OU LES COMPLÉMENTS THÉRAPEUTIQUES. LORSQU'ON RECORTE À LA RADIOTHÉRAPIE, ON APPLIQUE LE PRINCIPE D'OPTIMISATION EN CHOISSANT LE BON CHAMP D'IRRADIATION ET LE RAYONNEMENT LE MIEUX ADAPTE À LA TUMEUR.

UNE FORTE DOSE DE RAYONNEMENTS, DÉLIVRÉE À UN ORGANES EN UN TEMPS TRÈS COURT, DÉTRUIT LES CELLULES. ON CONÇOIT QUE CETTE DOSE, DANGÉREUSE POUR LES TISSUS SAINS, DEVIENNE CURATIVE POUR LES TISSUS MALADES : C'EST LE PRINCIPE DE LA RADIOTHÉRAPIE.

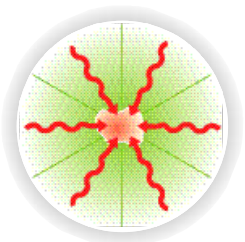


Les effets biologiques attribuables aux rayonnements ionisants ne sont mis en évidence que pour des doses supérieures à 100 ans d'irradiation naturelle (voir l'épisode 3 "Principe de précaution"). Au-delà, plus les doses sont fortes et délivrées en un temps court, plus les effets sont graves, précoces et systématiques. Par exemple, une irradiation concentrée sur des tissus vivants, délivrée en quelques minutes et équivalente à 1 000 ans d'irradiation naturelle, détruit une partie des cellules. La proportion de cellules détruites est d'autant plus importante que le tissu est jeune et se renouvelle fréquemment. *On conçoit que cette dose, dangereuse pour les tissus sains, devienne curatrice pour les tissus cancéreux : c'est le principe de la radiothérapie.*



Technique du collimatage pour focaliser les rayonnements.

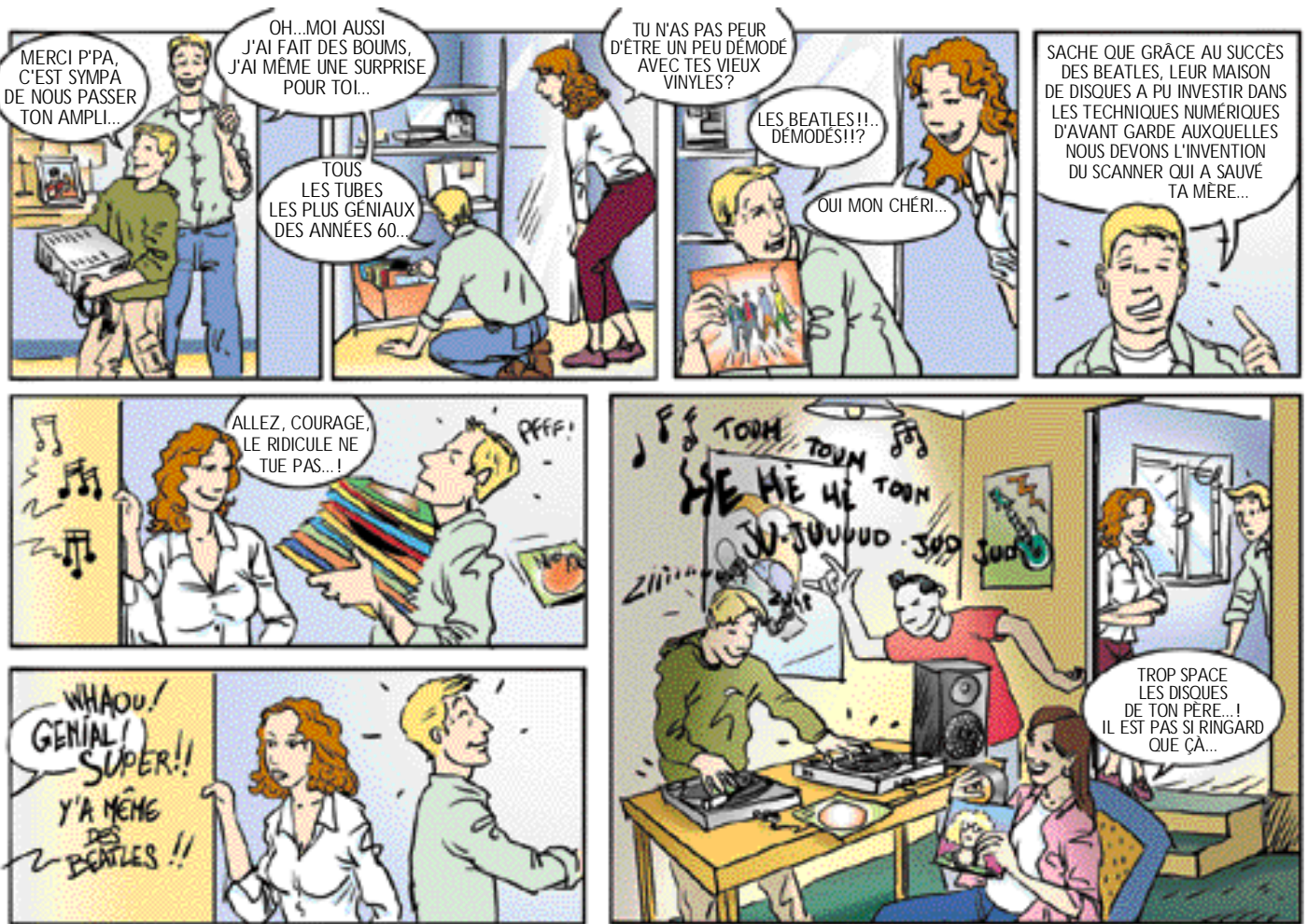
La radiothérapie *permet de détruire tout ou partie d'une tumeur située dans l'organisme.* Mais pour atteindre les tissus cancéreux, le faisceau de rayonnements doit traverser les tissus sains. Comment ne pas les léser? Le problème pourrait être insoluble s'il n'existait une différence de comportement entre tissus sains et tissus cancéreux : les premiers ont des capacités de réparation beaucoup plus efficaces que les seconds ; encore faut-il qu'il reste suffisamment de cellules survivantes dans les tissus sains pour proliférer et remplacer les cellules mortes. C'est la raison pour laquelle on étale le traitement radiothérapique dans le temps en fractionnant l'irradiation. *A chaque séance, on détermine la "dose optimale", compromis entre la dose minimale requise pour détruire le plus grand nombre de cellules cancéreuses et la dose maximale admissible par le plus grand nombre de cellules saines. L'intervalle entre chaque séance est calculé pour permettre aux cellules saines de se régénérer.* D'autre part les techniques modernes d'irradiation utilisent plusieurs faisceaux ou plusieurs portes d'entrée, calculés de telle sorte que la zone à traiter reçoive le maximum d'irradiation, selon le principe des tirs croisés, alors que la dose dans les tissus sains traversés reste limitée. Ces techniques de radiothérapie "conformationnelle" et une dosimétrie précise permettent d'augmenter l'efficacité curative des irradiations en réduisant les risques d'induction d'un second cancer. Aussi s'inscrivent-elles pleinement dans la démarche de radioprotection.



Tir croisé des rayons

Le principe de justification n'est pas toujours simple à mettre en œuvre. Les alternatives ou les compléments thérapeutiques (chirurgie, chimiothérapie), l'âge du patient, le pronostic de la maladie, sont autant d'éléments à prendre en compte. *Il faut offrir le maximum de chances de guérison sans faire courir de risque inconsidéré au patient.* Pendant tout traitement actif comporte un risque thérapeutique. Ce risque doit rester proportionné à la gravité de la maladie.

Quels sont les progrès attendus ?



LES PROGRÈS ATTENDUS DANS L'IMAGERIE MÉDICALE DOIVENT INCONTESTABLEMENT CONDUIRE À LA DIMINUTION DES DOSES, ET DONC À LA RÉDUCTION DES RISQUES LIÉS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS. C'EST ENCORE UNE FOIS L'INFORMATIQUE QUI VA PERMETTRE CETTE AVANCÉE.

LES INFORMATIONS NÉCESSAIRES SERONT OBTENUES EN IRRADIANT MOINS LES PATIENTS, GRÂCE À DES DÉTECTEURS PLUS SENSIBLES ET DES SYSTÈMES DE RECONSTRUCTION D'IMAGES. STOCKÉES EN ARCHIVES ÉLECTRONIQUES, ELLES SERONT ACCESSIBLES EN QUELQUES MINUTES PAR TÉLÉCHARGEMENT. LE RADIOLOGUE POURRA AINSI COMPARER DES EXAMENS RÉALISÉS À DIFFÉRENTES ÉPOQUES OU CONSULTER UN SPÉCIALISTE POUR UN AVIS COMPLÉMENTAIRE.

L'INFORMATIQUE PERMETTRA AUSSI D'AMÉLIORER LES TECHNIQUES NON IRRADIANTES. LE GRAND PROGRÈS ESPÉRÉ CONCERNE L'IRM. SES PRINCIPAUX INCONVÉNIENTS ACTUELS (COÛT TRÈS ÉLEVÉ, TEMPS D'ACQUISITION ASSEZ LONG), DEVRAIENT PROGRESSIVEMENT DISPARAÎTRE.



Pour les techniques utilisant les rayonnements ionisants, les principaux progrès viennent de la mise au point de systèmes de détection des rayons X plus sensibles, plus précis, qui permettront ainsi d'abaisser les doses nécessaires. Un exemple est fourni par *les détecteurs dits "numériques" qui permettent d'utiliser des doses bien inférieures à ce qui était justifié* par les films et les écrans classiques analogiques. Ces progrès des détecteurs concernent aussi le scanner dont la rapidité et les capacités d'exploration ont augmenté beaucoup plus vite que l'irradiation nécessaire à l'examen.



Saisie de l'information

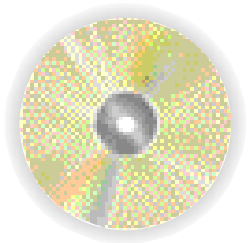
Parallèlement aux détecteurs, *les avancées de l'informatique permettent des reconstructions d'images plus aisées*. Les informations sont obtenues à partir de données beaucoup plus simples, *en irradiant encore moins les patients*.



Élaboration des images numériques

On espère aussi beaucoup des techniques non irradiantes. *Les progrès en ultrasons tiennent à la qualité des appareillages et à la généralisation de l'informatique sur les échographes. Le grand progrès espéré est celui de l'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) car les coûts vont diminuer*. La conception des appareils devraient permettre de réduire les temps d'obtention de l'image, de pratiquer des examens sur des appareils dits "ouverts" et non plus dans le tunnel qui conduit parfois à une claustrophobie. L'informatique, dans ce domaine aussi améliorera la qualité et la rapidité d'obtention des images.

On s'est intéressé jusque là, hormis en médecine nucléaire, essentiellement à l'aspect anatomique des organes examinés. Mais, de plus en plus, apparaît la possibilité d'étudier la fonction de ces organes. Ceci est particulièrement vrai pour l'échographie, le scanner et surtout l'Imagerie par Résonance Magnétique. On pourra bientôt établir la cartographie des fonctions cérébrales grâce à l'IRM, mieux mesurer la fonction du myocarde etc.



Archivage électronique

Autre progrès, celui des réseaux d'images : *les images obtenues pourront être stockées sur des archives électroniques et non plus sur des films dans des archives encombrées et d'accès souvent difficile*. Les examens, mêmes les plus anciens, pourront être comparés; le radiologue, dans un avenir relativement proche, travaillera de plus en plus sur une console d'ordinateur, de manière interactive, pour élaborer les images les mieux adaptées aux besoins du diagnostic. *Les possibilités de transmission d'images permettront de consulter des spécialistes à distance et en temps réel, pour les cas nécessitant un avis complémentaire*.

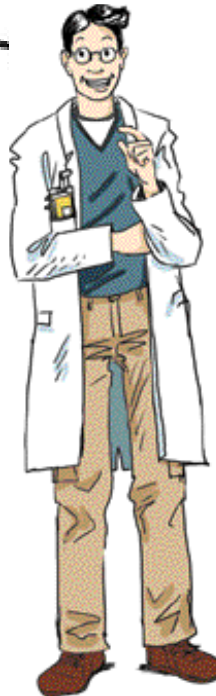
On peut dire, en résumé, que l'imagerie moderne sera plus simple, plus précise et plus accessible avec un risque diminué pour le patient.

L'irradiation médicale

L'HOMME REÇOIT UNE DOSE INDIVIDUELLE ANNUELLE DUE AUX RAYONNEMENTS D'ORIGINE NATURELLE QUI VARIE DE 2 À 15 MILLISIEVERTS (mSv) SELON LE PAYS, LA RÉGION, L'ALTITUDE, LE MODE DE VIE, L'ACTIVITÉ PROFESSIONNELLE. UN FRANÇAIS REÇOIT EN MOYENNE 2,4 mSv PAR AN. À CETTE DOSE S'AJOUTE DEPUIS UN SIÈCLE L'IRRADIATION MÉDICALE ET INDUSTRIELLE.

CES 2,4 mSv VONT NOUS SERVIR D'ÉTALON : C'EST UNE ANNÉE D'IRRADIATION NATURELLE. UN EXAMEN RADIOLOGIQUE REVIENT DONC À AJOUTER L'ÉQUIVALENT DE QUELQUES JOURS, QUELQUES MOIS OU QUELQUES ANNÉES D'IRRADIATION NATURELLE À SON COMPTEUR PERSONNEL.

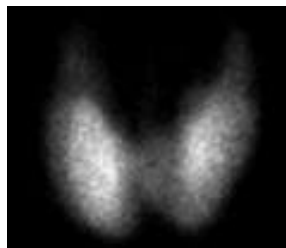
VOUS ALLEZ CONSTATER QUE LES "SUPPLÉMENTS" VARIENT BEAUCOUP AVEC LE TYPE D'EXAMEN.



Panoramique dentaire =
1 jour d'irradiation naturelle



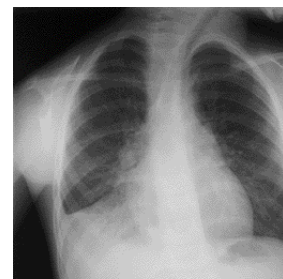
Rachis lombaire =
6 mois d'irradiation naturelle



Scintigraphie thyroïdienne =
1 mois d'irradiation naturelle



Scanner hélicoïdal abdomino-pelvien =
5 ans d'irradiation naturelle



Radiographie des poumons =
15 jours d'irradiation naturelle

