

UNE EXPOSITION DU CNRS/IN2P3

COMBATTRE LE CANCER : NOUVELLES APPROCHES, NOUVEAUX OUTILS

L'héritage de la physique nucléaire



IN2P3
Institut national de physique nucléaire
et de physique des particules

© Conception et réalisation : CNRS/IN2P3 - © Conception graphique : Anne Tschopp/Le Monde - Juin 2011 - Photographie : Christophe Gaudin/Le Monde

COMBATTRE LE CANCER : NOUVELLES APPROCHES, NOUVEAUX OUTILS

L'héritage de la physique nucléaire

PRODUCTION : CNRS/IN2P3

CONSEILLERS SCIENTIFIQUES : Yannick Arnoud (LPSC), Ziad El Bitar (IPHC), David Brasse (IPHC), Christelle Bruni (LAL), Irène Buvat (IMNC), Jean-François Chatal (Centre René Gauducheau - C.H.U. Nantes), Jean Colin (LPC Caen), Denis Dauvergne (IPNL), Isabelle Fontelle (LPSC), Daniel Gardès (IPNO), Sébastien Incerti (CENBG), Marc Labalme (LPC Caen), Philippe Lanièce (IMNC), Bernard Launé (IPNO), Jacques Martino (CNRS/IN2P3), Laurent Ménard (IMNC), Gérard Montarou (LPC Clermont), Gilles Montavon (Subatech), Christian Morel (CPPM), Alex Mueller (CNRS/IN2P3), Cédric Ray (IPNL), Hervé Seznec (CENBG), Dominique Thers (Subatech)

CONSEILLERS COMMUNICATION : Nicolas Arnaud (LAL), Magali Damoiseaux (CPPM), Arnaud Marsollier (CNRS/IN2P3)

CONCEPTION ET RÉALISATION : Anna Thibeau (CNRS/IN2P3)

CONCEPTION GRAPHIQUE : Anne Tsvétoukhine

CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES : CEA-DSV, CENBG, CNRS/IN2P3, CNRS Photothèque (Yves-Édouard Herpe, Yacine Laabi, Laurence Medard, Hubert Raguet, Benoît Rajau), CPPM, EPSIM VBC Production, HUS, IBA, IMNC, IPHC, LAL, A. Lescure/Iconographie/Institut Curie, LLR, P. Lombardi/Institut Curie, LPC Caen, LPSC, European Journal of Radiology, Camille Moirenc, Radiotherapy and Oncology, Région Pays de la Loire, Subatech, Varian Medical Systems

IMPRESSION : VIACarta

FILMS ET ANIMATIONS :

« ARRONAX à Nantes » - Production : Région Pays de la Loire - Réalisation : EPSIM VBC Production

« La radioactivité sur le vivant : Quels effets ? » - Production : CENBG, CNRS/IN2P3, Université Bordeaux 1, Cap Sciences - Réalisation : Objectif Prod'

« Voir la réponse au traitement » - Production et réalisation : IMNC

REMERCIEMENTS : Corinne Bérat (LPSC), Laurence Biron (Varian Medical Systems), Nicolas Busser (IPHC), Jean-François Chatal (Centre René Gauducheau - C.H.U. Nantes), Héléne Kerec (LAL), Bernard Kubica (Subatech), Christine Lemaître (GANIL), Olivier Lopez (LPC Caen), Nathalie Olivier (IPNL), Isabelle Testard (LARIA), François Vazeille (LPC Clermont), EPSIM VBC Production, Institut Curie, Région Pays de la Loire

LABORATOIRES AFFILIÉS AU CNRS/IN2P3 IMPLIQUÉS DANS LES PROJETS SCIENTIFIQUES CITÉS DANS L'EXPOSITION

CENBG : Université Bordeaux 1 - CNRS/IN2P3

CPPM : Université de la Méditerranée - CNRS/IN2P3

GANIL : CEA/DSM - CNRS/IN2P3

IMNC : Universités Paris 7 et Paris 11 - CNRS/IN2P3

IPHC : Université de Strasbourg - CNRS/IN2P3/INC/INEE

IPNL : Université Lyon 1 - CNRS/IN2P3

IPNO : Université Paris 11 - CNRS/IN2P3

LAL : Université Paris 11 - CNRS/IN2P3

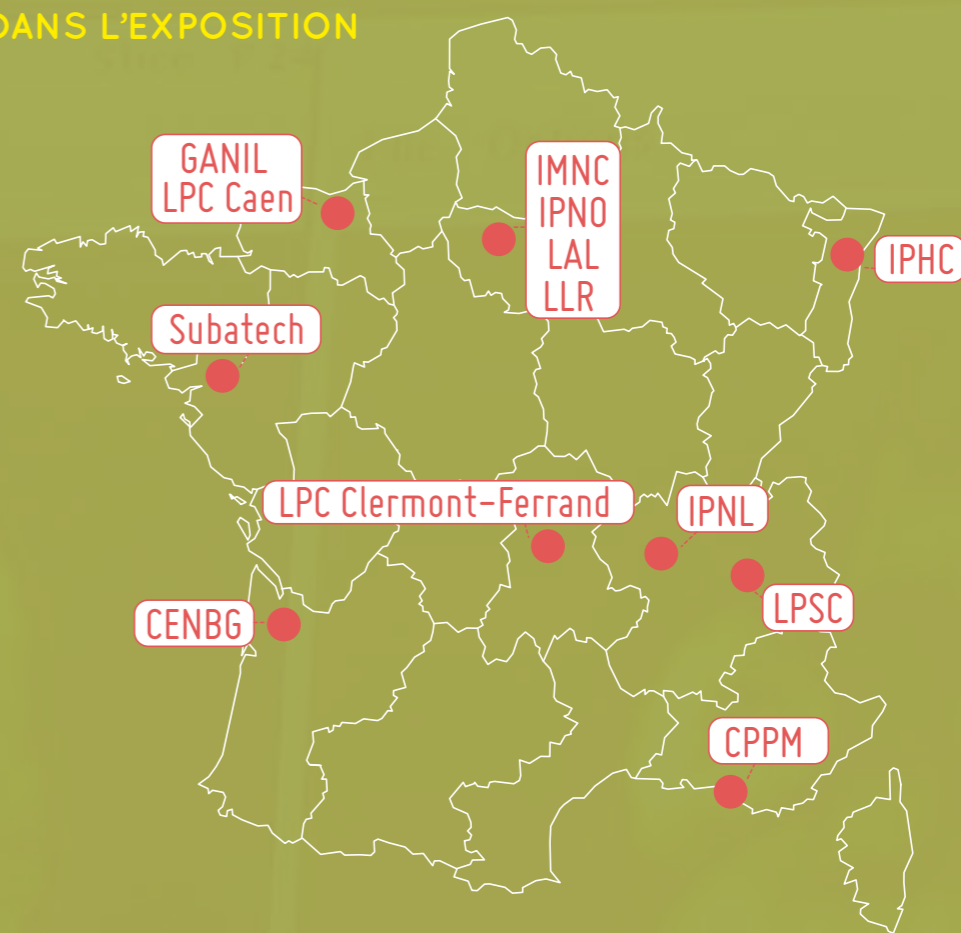
LLR : École Polytechnique - CNRS/IN2P3

LPC Caen : Université de Caen Basse-Normandie - ENSICAEN - CNRS/IN2P3

LPC Clermont-Ferrand : Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand - CNRS/IN2P3

LPSC : Université Joseph Fourier - Grenoble INP - CNRS/IN2P3

Subatech : École des Mines de Nantes - Université de Nantes - CNRS/IN2P3



PARTENAIRES DU CNRS/IN2P3 IMPLIQUÉS DANS LES PROJETS SCIENTIFIQUES CITÉS DANS L'EXPOSITION : Angers Loire Métropole, ANR, ARC, ARCHADE, BIOSPACE, Cancéropôle PACA, CEA, CEED, CERMEP, CLARA, CHU de Caen, CHU de Grenoble, CHU de Lyon, CHU de Nantes, CHU de Saint-Etienne, CHU de Strasbourg, CIMAP, CNAO, CNPS, CNRS, CPO/Institut Curie, CLCC François Baclesse, CLCC Henri Becquerel, CLCC Léon Bérard, CLCC Paul Strauss, CLCC René Gauducheau, Commission Européenne (FP7), Conseil Général de la Gironde, Conseil Général de Loire-Atlantique, Conseil Général du Maine-et-Loire, Conseil Général du Rhône, CREATIS, CYCERON, École des Mines de Nantes, École Polytechnique, ENSICAEN, ETOILE, Faculté de Pharmacie de Strasbourg, GANIL, GEANT4, GIN / ESRF, Grand Lyon, GRECAN, Grenoble INP, GSI-Darmstadt, HIA Val de Grâce, HIT-Heidelberg, Hôpitaux de Paris, HUS, IBA, ICL, ICORE, IFIR, IGBMC, INCA, INSA-Lyon, INSB, INSERM, Institut Jules Bordet, Institut NÉEL, IRSN, LARIA, LBP, L2CRMF, LINC, Medicen, Ministère de l'Éducation Nationale, Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, Ministère de la Santé, de la Jeunesse et des Sports, MNHN, Nantes Métropole, OpenGATE, OSEO, PPF RIO Physique de Lyon, PRRH, Région Aquitaine, Région Basse-Normandie, Région Bretagne, Région PACA, Région Pays de la Loire, Région Poitou-Charentes, Région Rhône-Alpes, République Française, SÔLEIL, THALES TED, TYL, UDIL, Union Européenne, Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand, Université Bordeaux 1, Université de Caen Basse-Normandie, Université Joseph Fourier Grenoble, Université Lyon 1, Université de la Méditerranée, Université de Nantes, Universités Paris 7 et Paris 11, Université de Strasbourg, Université du Wisconsin, Urolead, Ville de Gradignan



IN2P3

Institut national de physique nucléaire
et de physique des particules

COMBATTRE LE CANCER : NOUVELLES APPROCHES, NOUVEAUX OUTILS

L'héritage de la physique nucléaire

Avec plus de 350 000 nouveaux cas en 2010*, le cancer est la première cause de mortalité en France. **Comment la science peut-elle vaincre ce problème majeur de santé publique ?**

* d'après les estimations de l'Institut de Veille Sanitaire

Cancer : des défis pour la science

Pour combattre le cancer, il faut parvenir à :

- **Soigner mieux** tout en minimisant les effets secondaires
- **Voir plus précisément les cellules cancéreuses** : pour les identifier plus tôt, suivre leur évolution et mieux comprendre ce qui s'y passe à l'échelle moléculaire
- **Mieux comprendre les effets sur nos cellules des radiations** utilisées pour détecter ou traiter un cancer

...> **THÉRAPIE**

...> **IMAGERIE**

...> **RADIOBIOLOGIE***

*étude des effets de radiations sur le vivant

La contribution de la physique

De nombreux **médecins, biologistes et chimistes** sont engagés dans la **lutte contre le cancer**. Des **physiciens** se sont alliés à eux. Ceux de l'**Institut national de physique nucléaire et de physique des particules** (IN2P3, institut du CNRS) s'intéressent à la fois à la **Thérapie**, à l'**Imagerie** et à la **Radiobiologie** : ils mettent au point de **nouvelles approches** et de **nouveaux outils** issus des recherches sur le noyau atomique.

Quel est l'apport de ces développements pour la lutte contre le cancer ?

DE LA PHYSIQUE NUCLÉAIRE À LA SANTÉ...

Pour étudier le **noyau des atomes** qui nous constituent et nous entourent, des méthodes et outils dits « **nucléaires*** » sont développés.

objectifs de la physique nucléaire

Ils servent :

- à **produire** les noyaux et les particules (radiations) émises par ces derniers,
- à les **détecter**,
- à **comprendre** comment ils interagissent avec la matière.

Aujourd'hui, ces développements trouvent des applications dans bien d'**autres domaines** comme celui de la Santé.

* Le terme « nucléaire » provient du latin « nucleus » qui signifie « noyau ».



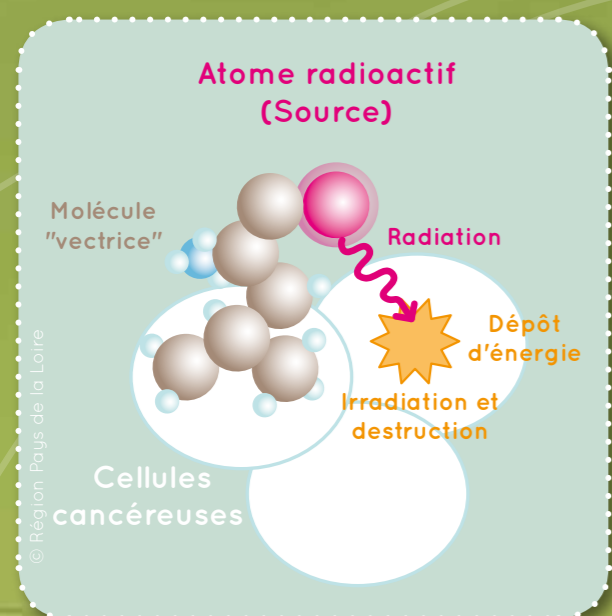
Atome. Au centre, le noyau composé de neutrons et de protons. Autour, les électrons qui gravitent.

THÉRAPIE : Des radiations pour soigner le cancer

Un cancer est une prolifération incontrôlée de cellules au sein d'un organe (poumon, sein, cerveau...). Pour le soigner, il existe plusieurs possibilités. L'une d'elles consiste à utiliser des radiations comme projectiles pour détruire les cellules cancéreuses. Plus de la moitié des patients sont traités avec cette technique qui peut être employée seule ou combinée à d'autres méthodes comme l'utilisation de molécules chimiques (chimiothérapie) ou l'extraction des cellules malades (ablation chirurgicale).

Zoom sur la radiothérapie

Il existe différents types de radiothérapie. En voici deux exemples :

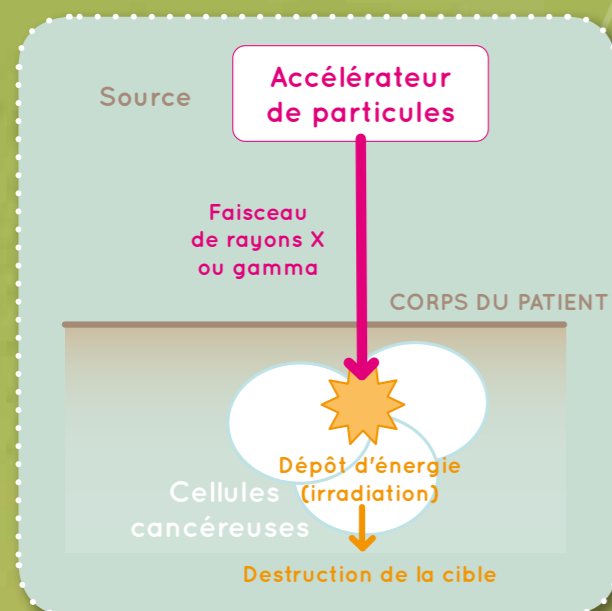


› LA RADIOTHÉRAPIE INTERNE « VECTORISÉE »

La **source de radiations** (un atome radioactif*) est **dirigée directement** vers la tumeur grâce à une molécule « vectrice » qui la transporte jusqu'à la **cible**. Les radiations y déposent leur énergie (= irradiation), ce qui endommage et détruit les cellules cancéreuses.

Radiations utilisées : Rayons alpha ou bêta

*atome qui émet des radiations de type alpha, bêta ou gamma



› LA RADIOTHÉRAPIE EXTERNE

Les radiations sont envoyées à partir d'un **accélérateur de particules**.

Radiations utilisées : Rayons X ou Rayons Gamma.

QUE SONT LES RADIATIONS ?

Les **radiations** sont de l'**énergie**. La lumière visible, par exemple, est une radiation. Les radiations utilisées en radiothérapie ont une énergie bien plus importante, c'est le cas des **rayons X** (produits par un accélérateur d'électrons) et des **rayons alpha, bêta et gamma** (émis par les atomes radioactifs).

Thérapie alternative

La **difficulté** en radiothérapie externe est de **limiter la zone irradiée** aux seules cellules cancéreuses. De plus, certaines tumeurs **résistent aux radiations**. Une **solution alternative** consiste à utiliser d'autres projectiles : des particules appelées **protons** ou des ions* comme le **carbone**. C'est l'**hadronthérapie**.

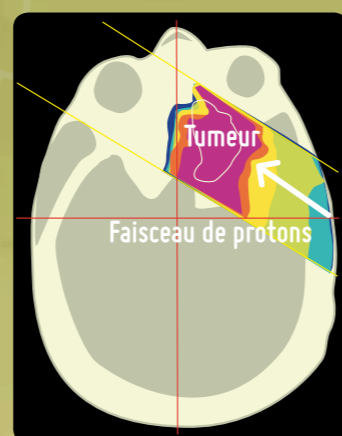
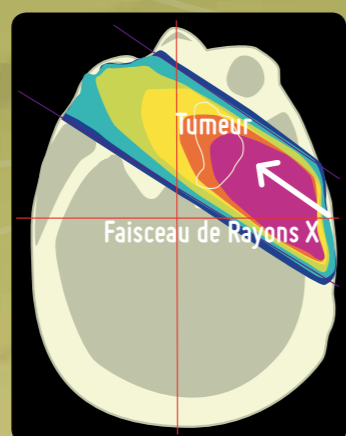
* atomes ayant perdu des électrons périphériques

Avec ces particules, l'énergie est déposée très **localement** :

- + de précision balistique
- + d'efficacité sur les cellules cancéreuses
- d'effets secondaires sur les tissus sains

COMPARAISON RADIOTHÉRAPIE « CLASSIQUE » ET HADRONTHERAPIE DANS LE CAS D'UNE TUMEUR À L'OEIL

Le faisceau de rayons X traverse le patient et l'énergie est déposée sur toute la trajectoire.



Le faisceau de protons s'arrête après la tumeur et le maximum d'énergie est déposé au niveau de la tumeur.

Dépôt d'énergie



Accélérateur de particules émetteur de rayons X pour la radiothérapie externe.

THÉRAPIE : Vers un contrôle optimal ! #01

Pleines d'énergie, les particules employées en radiothérapie et en hadronthérapie doivent être utilisées avec beaucoup de précaution. L'objectif pour demain est d'assurer une qualité et une sûreté maximales. Pour aider les médecins à atteindre ce but, les physiciens travaillent sur la qualité du faisceau de particules et le contrôle de l'énergie* délivrée au patient.

* L'énergie déposée par une radiation dans un tissu vivant est appelée « dose physique » (exprimée en Gray = Joule/Kg).



Des faisceaux passés au crible...

Assurer la **qualité d'un faisceau** de particules, c'est contrôler **ses caractéristiques** :

Énergie

Forme

Intensité

Lors du traitement, il faut connaître avec précision les **caractéristiques du faisceau** que l'on envoie sur le patient, et ce, en direct. Dans cette optique, de **nouveaux dispositifs** sont développés :

- pour contrôler **au niveau de la tumeur** la dose déposée à chaque profondeur par le faisceau (en hadronthérapie)
- ou pour suivre **en amont du patient** la forme et l'intensité du faisceau en temps réel (en radiothérapie* ou en hadronthérapie).

L'un de ces appareils est actuellement utilisé dans un centre de traitement par Hadronthérapie (CNAO en Italie).

* dite « conformationnelle » à modulation d'intensité : la forme du faisceau épouse au mieux celle de la tumeur.



Dispositif développé pour le Centre de Traitement par Hadronthérapie CNAO.



Accélérateur donné par l'IN2P3 au Centre de Protonthérapie d'Orsay.



UN PEU D'HISTOIRE...

L'implication des physiciens pour soigner le cancer ne date pas d'hier : depuis les **années 90**, un **accélérateur de particules** conçu par l'IN2P3 a permis de traiter **plusieurs milliers de patients** au Centre de Protonthérapie d'Orsay.

THÉRAPIE : Vers un contrôle optimal ! #02

Dépôt d'énergie : vers une précision maximale...

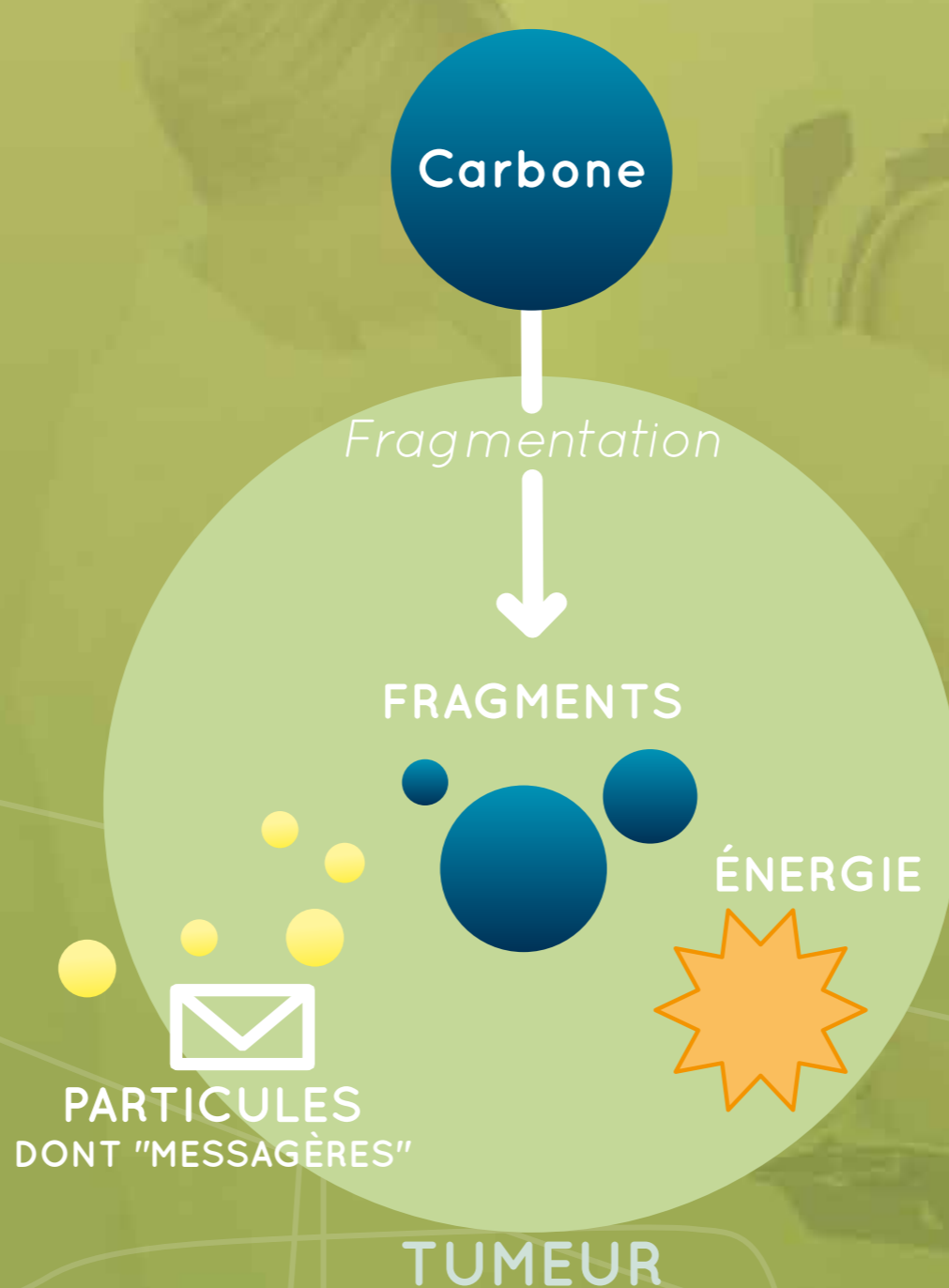
En hadronthérapie, l'énergie libérée par les protons ou les ions carbone est **très localisée**. Ce dépôt d'énergie doit donc être **très précis** : pour éviter des sous-dosages dans la tumeur et des surdosages dans les tissus sains avoisinants. Les physiciens aident à obtenir ce niveau de précision. Comme tout se passe à l'intérieur du corps, **comment procèdent-ils ?**

CONTRÔLER LA DOSE EN TEMPS RÉEL :

Quand le carbone perd son énergie dans les tissus, il peut se fragmenter et émettre des **particules***. Certaines parviennent jusqu'à nous et, tels de petits « **messagers** », elles renseignent sur le dépôt d'énergie des ions carbone (localisation...).

** Rayons gamma, protons, neutrons*

Pour **détecter encore mieux** ces particules, même les plus rapides, de **nouveaux appareils** sont conçus : pour un **contrôle de dose plus précis** et en **temps réel** !



CONNAÎTRE À L'AVANCE LA DOSE EXACTE QU'IL FAUT DÉLIVRER AU PATIENT :

En alliant **mesures expérimentales*** et **simulations numériques**, les scientifiques vont également parvenir à **prédire le dépôt d'énergie des ions carbone** dans les tissus.

** mesures notamment des probabilités pour que la fragmentation ait lieu*

SIMULATIONS NUMÉRIQUES

Elles permettent de représenter et de **reproduire un évènement*** pour mieux le comprendre et le prédire.

** Exemple : les interactions entre les radiations et les cellules vivantes.*

Applications directes : pour les futurs centres d'hadronthérapie

Partout dans le monde, de nombreux scientifiques travaillent sur l'**hadronthérapie**.

La France n'est pas en reste : **deux centres cliniques de Protonthérapie** fonctionnent depuis des années à Nice et à Orsay. Et **deux projets de centres dédiés à l'Hadronthérapie** par ions carbone sont à l'étude :

- **ETOILE à Lyon, pour le traitement de patients**
- **ARCHADE à Caen, pour la Recherche et Développement**

Les développements des physiciens pour le contrôle et la qualité des traitements en hadronthérapie seront mis à profit dans ces deux futurs centres.



Traitement au Centre de Protonthérapie d'Orsay.

IMAGERIE : Quand les radiations nous éclairent...

Les radiations sont utiles pour explorer l'intérieur du corps en 3D.

Les **rayons X** permettent en effet de voir l'**anatomie** des organes et de visualiser la **taille** ou la **localisation** d'une tumeur : c'est la fonction du scanner à rayons X (le tomodensitomètre ou TDM).

Grâce aux **rayons gamma**, on peut aussi observer le fonctionnement des organes et voir la **consommation de sucre** d'une tumeur : c'est le rôle des caméras gamma (TEP et TEMP*).

* TEP = Tomographie par Emission de Positons, TEMP = Tomographie Monophotonique



Vue d'une Caméra TEP, couplée à un scanner à rayons X.

L'imagerie dans la lutte contre le cancer

Ces techniques d'imagerie apportent une aide précieuse à tous les niveaux :

- **DIAGNOSTIC** : pour détecter la maladie
- **THÉRAPIE** : pour affiner le traitement
- **ÉTUDES FONDAMENTALES** : pour comprendre les modifications induites par un cancer sur le fonctionnement de l'organisme.

Cependant, aucun système d'imagerie n'est parfait : ils ont tous leurs **limites** (en termes de sensibilité, précision...). Pour les repousser, de **nouveaux défis** sont relevés...

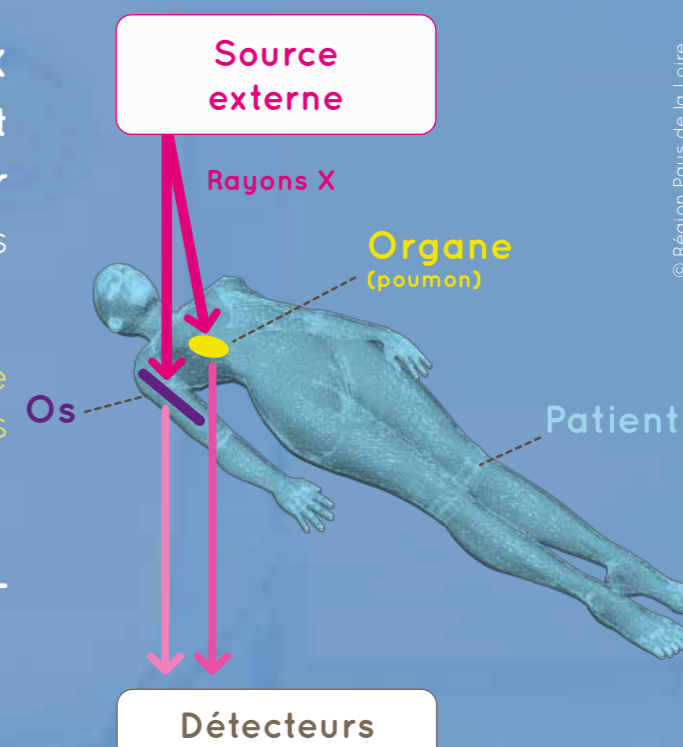
VOIR L'ANATOMIE DES ORGANES : COMMENT ÇA MARCHE ?

On utilise une source externe de rayons X.

Les faisceaux de rayons X traversent le patient et sont absorbés par les **tissus**, plus ou moins suivant la nature du tissu.

Par exemple, l'os absorbe plus les rayons X que les poumons.

Les rayons X non absorbés sont détectés.



© Région Pays de la Loire

On obtient une image.

Sur celle-ci, on distingue les différents tissus du thorax (coupe transversale) :

les os (en gris/blanc), les poumons (en noir), les muscles (en gris).

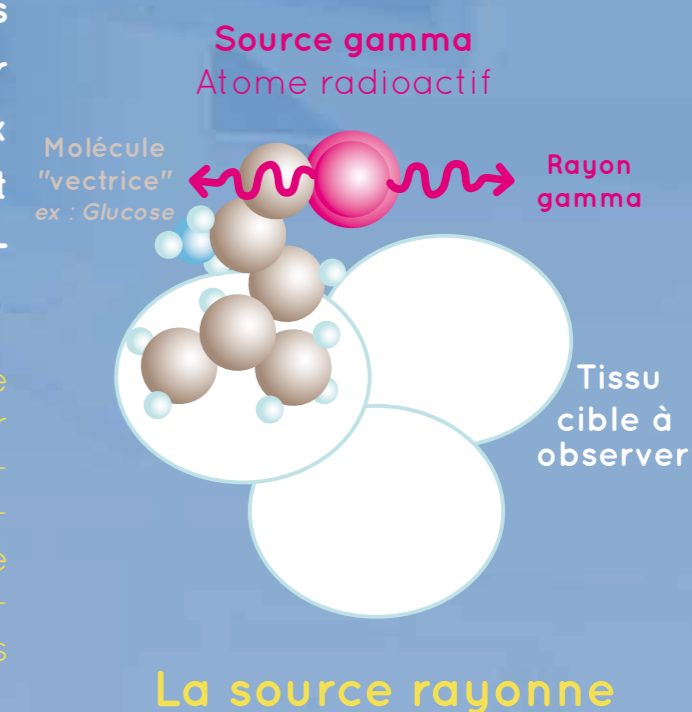


© IMMC

COMMENT VOIR LE FONCTIONNEMENT DES ORGANES ?

Une source de rayons gamma est véhiculée par une molécule jusqu'aux tissus à observer et sert de « marqueur » pour repérer ces tissus.

Une molécule comme le glucose va s'accumuler dans les cellules cancéreuses qui consomment beaucoup de sucre. La source gamma associée au glucose permettra de voir ces cellules.



La source rayonne

la caméra détecte les rayons...

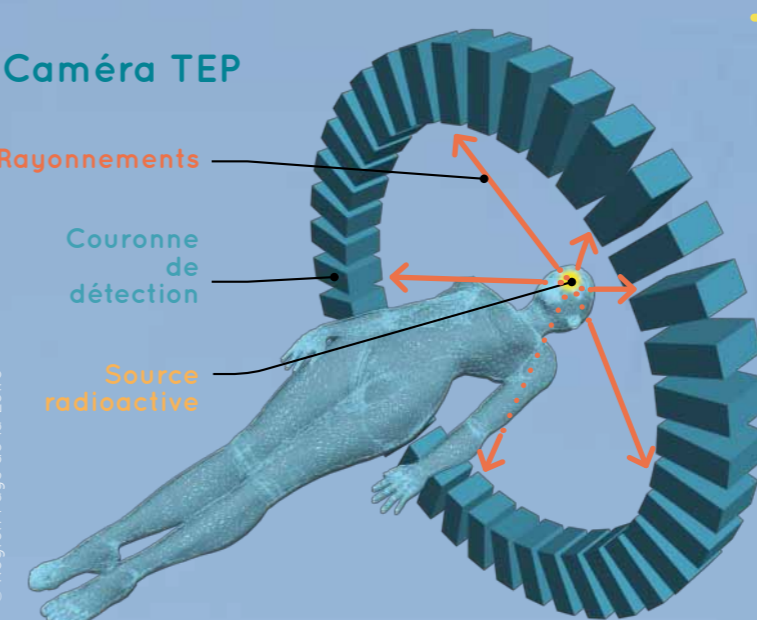
Caméra TEP

Rayonnements

Couronne de détection

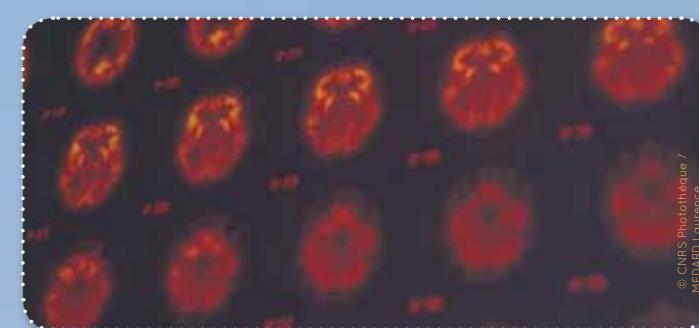
Source radioactive

© Région Pays de la Loire



... et permet de reconstruire une image décrivant l'activité métabolique de l'organe (ici du cerveau).

Images de la consommation de sucre par le cerveau, obtenues avec une caméra TEP (les couleurs sont artificielles).



© CNRS/Photothèque / RAJAU Benoit

IMAGERIE : Mieux voir pour mieux comprendre...

Pour comprendre les modifications induites par des maladies comme le cancer, il faut observer le comportement des molécules impliquées dans le fonctionnement de l'organisme. Mais cette observation nécessite des techniques complexes !

Alors avant de les appliquer directement sur l'homme, ces méthodes sont mises au point et testées sur les petits animaux (souris, rats).

Zoom sur quelques avancées dans ce domaine...

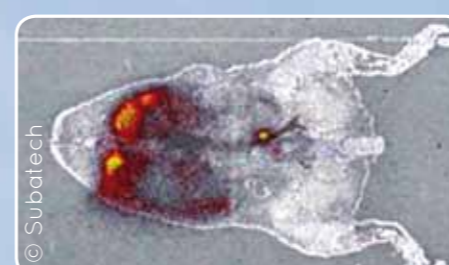


Installation d'une souris sur les dispositifs d'imagerie de la plateforme AMISSA.

Sondes et détecteurs innovants

Un **détecteur** vient d'être conçu pour améliorer la **visualisation des molécules** préalablement marquées par des atomes radioactifs (= radiomarquées).

Une **nouvelle sonde** permet de mesurer la **concentration des molécules** radiomarquées **dans le cerveau** d'un animal éveillé et libre de ses mouvements.



Images de la distribution d'une molécule radiomarquée dans un rat : avec un appareil d'imagerie « classique » (au-dessus) et avec le nouveau détecteur (au-dessous).



Animal éveillé portant sur son dos une partie de l'électronique de la sonde.

Anatomie et métabolisme sur une seule image !

Deux **plateformes d'imagerie** dédiées à l'imagerie des petits animaux vivants sont mises en place : **AMISSA** à Strasbourg et **PIXSCAN** à Marseille. Elles comportent des **dispositifs** capables de détecter simultanément **les rayons X et les rayons gamma***.

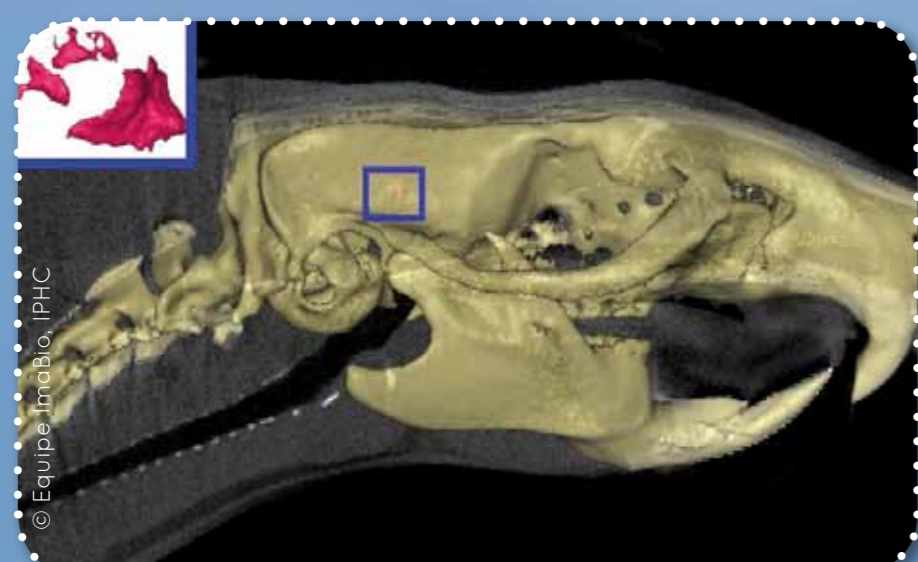
*Il s'agit de combiner plusieurs techniques d'imagerie (scanner X et caméras gamma TEP ou TEMP).

Objectif : LE « 2 EN 1 »

Ces dispositifs permettent d'observer **sur une seule image l'anatomie et le fonctionnement** des organes en **trois dimensions** !



Le détecteur de rayons X sur PIXSCAN. Cet appareil innovant détecte les rayons X un à un et permettra d'imager simultanément l'anatomie et le fonctionnement d'un organe.



Mise en évidence de micro dépôts de calcaire anormaux (en rose) au niveau du cerveau d'un rat, sur AMISSA. L'image fonctionnelle du cerveau est superposée à l'image anatomique du crâne du rat.

Déjà des applications !

AMISSA est déjà utilisée par de nombreux biologistes pour l'étude de différentes maladies dont certains cancers.



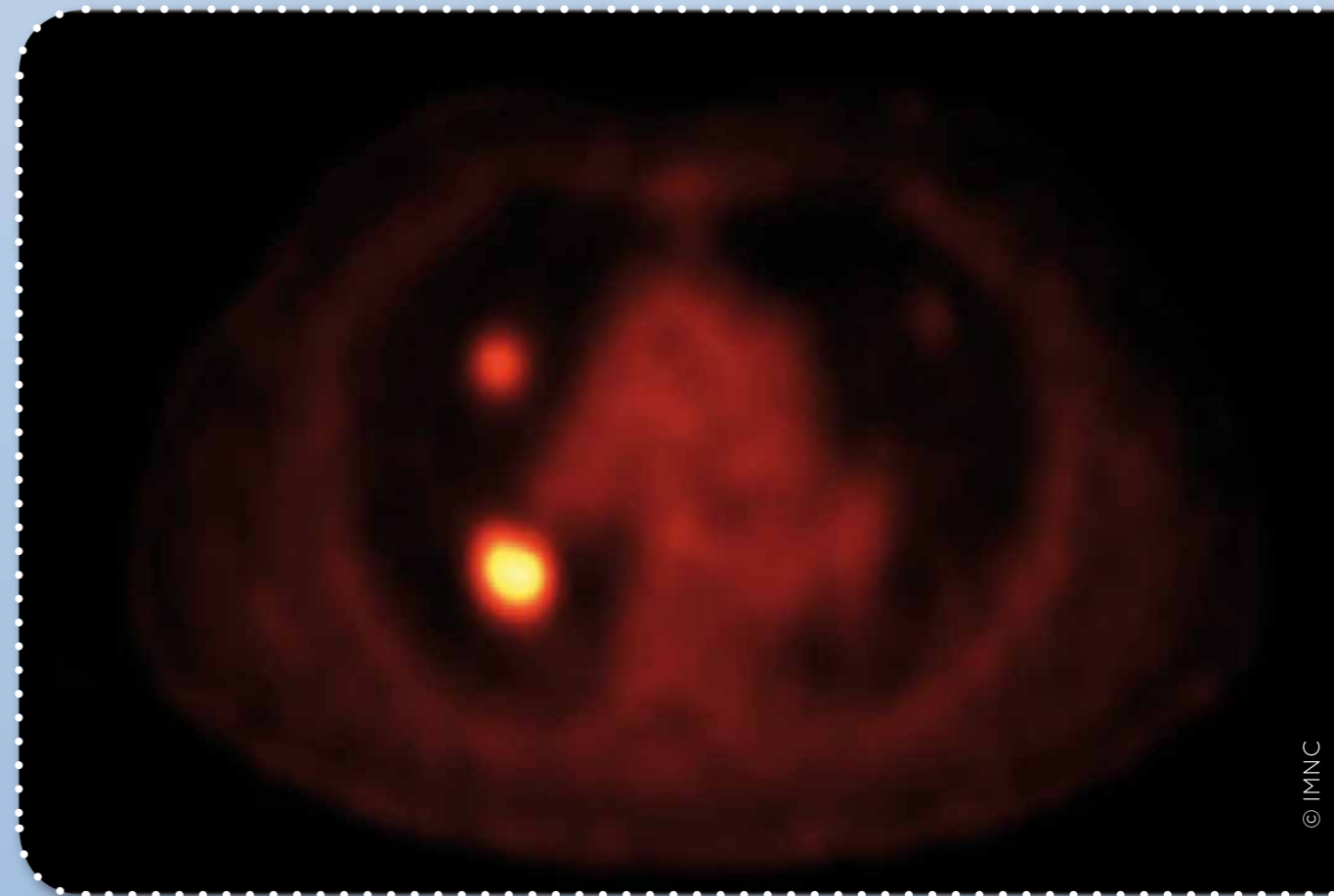
L'AVIS DES BIOLOGISTES

« AMISSA permet également l'étude de **fonctions biologiques** comme la biodistribution de métabolites dans différentes situations nutritionnelles, telles que l'obésité ».

Dr Caroline HABOLD, Biologiste

IMAGERIE : Quoi de neuf pour détecter le cancer ?

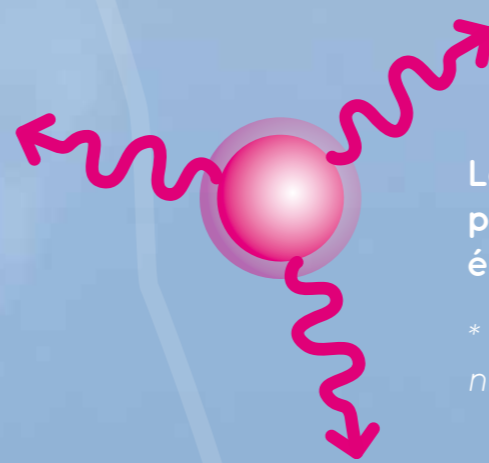
Les enjeux actuels consistent à dépister encore plus tôt le cancer et à déterminer plus précisément son stade d'évolution. Pour y parvenir, il faut améliorer les performances des systèmes d'imagerie et l'interprétation des images...



Diagnostic par imagerie (caméra gamma TEP) : sur cette coupe transversale du thorax d'un patient, les deux points lumineux à gauche indiquent deux tumeurs (zones de consommation anarchique de glucose).

Une caméra gamma encore plus sensible !

C'est dans cette optique que les physiciens « fabriquent » une **caméra gamma inédite**. L'innovation ? Elle est double : c'est un **marqueur** qui émet plus de signaux que les atomes classiques et un **détecteur** capable de voir tous ces signaux, grâce au composé liquide qu'il contient : du Xénon à -100°C ! Le marqueur devrait ainsi être localisé beaucoup **plus précisément**.



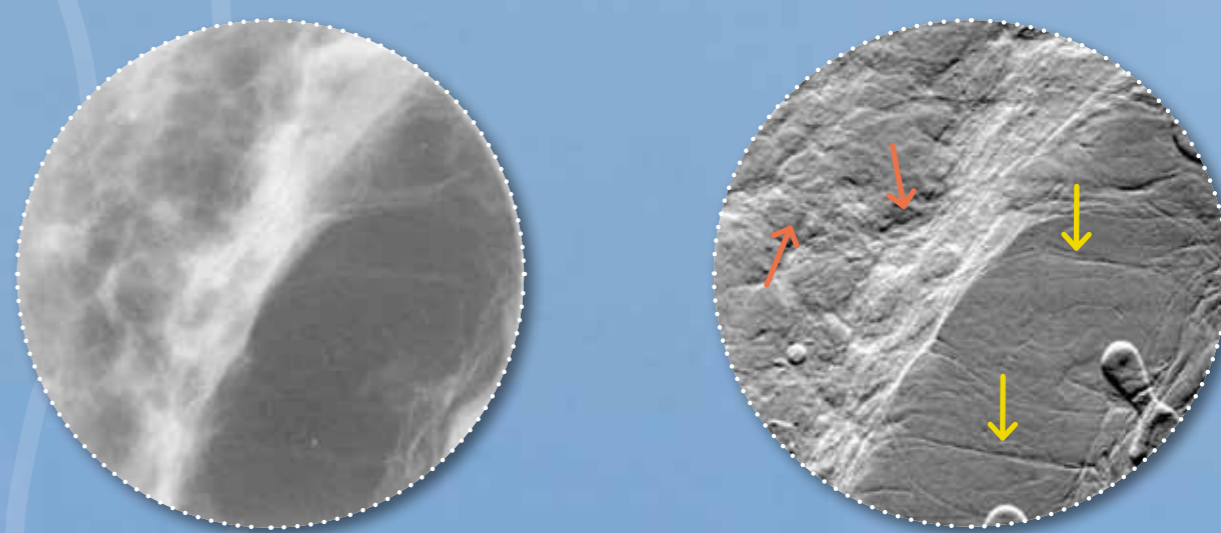
Le nouveau marqueur (Scandium-44, produit par l'accélérateur ARRONAX*) émet 3 gamma au lieu de 2.

* Voir poster : « Nouveaux médicaments, nouveaux marqueurs »

Nouvelle source de rayons X : zoomer encore plus loin...

Ce n'est pas tout... Une **source de rayons X** très innovante, « ThomX », fera bientôt son entrée dans le monde de l'imagerie. **Compacte** comparée aux technologies actuelles, elle pourra être installée directement dans un hôpital.

Son **objectif** = donner des **images de haute qualité** avec une extraordinaire précision pour **voir une tumeur dans ses moindres détails** !



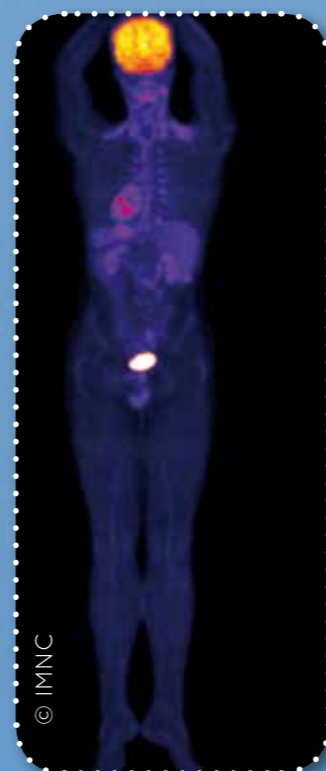
Images d'un cancer du sein. À gauche : image obtenue avec une mammographie classique. À droite : illustration de la qualité qui sera atteinte avec ThomX. Elle met en évidence des dépôts anormaux de calcaire (flèches orange) et des brins de collagène très fins (flèches jaunes) particulièrement difficiles à observer.

© Keyriläinen et al., European Journal of Radiology 53 (2005).

Et pour l'analyse des images ?

Enfin, une image, il faut aussi savoir **l'interpréter**. Or ce n'est pas une mince affaire...

Pour aider les médecins, de **nouvelles méthodes** sont mises au point. Il s'agit d'extraire des images des **paramètres quantitatifs** faciles à interpréter : pour déterminer, par exemple, **l'agressivité des tumeurs** à partir d'images TEP.



DES SIMULATIONS AUSSI...

La **simulation numérique** est un outil précieux pour reproduire des **examens d'imagerie**.

Intérêts : mieux interpréter les images et repousser les limites des appareils d'imagerie actuels.

Simulation de l'examen d'imagerie (TEP) d'un patient : la distribution du glucose dans l'organisme et sa mesure par l'appareil sont modélisées de manière très précise.

IMAGERIE : Quand les images guident la thérapie...

L'imagerie est aussi une alliée pour renforcer la qualité du traitement du cancer. Pour permettre aux médecins d'exploiter au mieux cet outil, de nouvelles méthodes et de nouveaux instruments arrivent...

Suivre l'évolution du traitement

Chaque tumeur, chaque individu répond différemment à une thérapie donnée. Il est donc indispensable de vérifier l'**efficacité du traitement** en cours et **le plus tôt possible**. Une **méthode originale** vient d'être testée*. Elle consiste à effectuer un **examen d'imagerie** (TEP/TDM) :

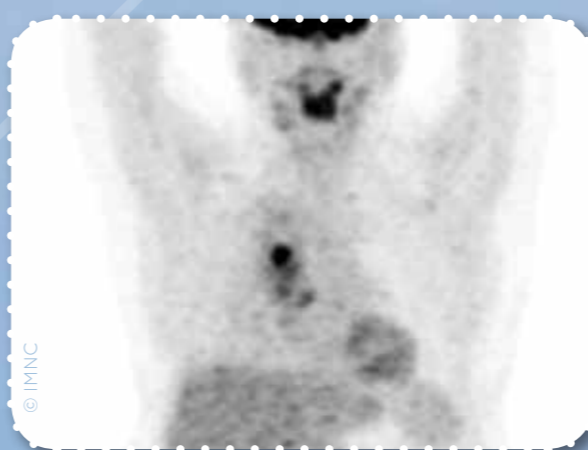
*sur une trentaine de patients

en début de chimiothérapie



Les taches noires au niveau du thorax indiquent les cellules cancéreuses.

... et huit semaines après



De nombreuses cellules cancéreuses ont disparu : la thérapie est donc efficace.

On peut ainsi voir dès les **deux premiers mois** si la tumeur se résorbe ou non = s'il faut poursuivre ou changer le traitement.

Guider le chirurgien

Le cancer peut être soigné en **ôtant les tissus cancéreux** = **CHIRURGIE**.

Cet acte chirurgical nécessite une **précision extrême**. De **nouveaux appareils d'imagerie miniatures** permettent aux chirurgiens de **localiser** très précisément les tissus tumoraux* et **guident leurs gestes** en temps réel !

*marqués radioactivement



L'AVIS DES CHIRURGIENS

« Le développement d'instruments per-opératoires permet de mieux cibler les tissus tumoraux tout en augmentant le confort des patients ».

Pr Carole Mathelin, Chirurgienne



Évaluation clinique de la mini caméra « POCI » pour guider l'ablation des cancers du sein (hôpital Tenon).



Utilisation de la mini caméra « CarolIRes » accompagnée de sa sonde-stylo au bloc opératoire, pour l'opération du cancer du sein (Hôpitaux Universitaires de Strasbourg).



Couplage entre la mini sonde « TRIOP » et l'outil chirurgical (aspirateur ultrasonore) pour les tumeurs cérébrales.

MINI TAILLE, MAXI PERFORMANCE !

Compacts

Faciles à manier

Très performants

Ces appareils sont adaptés à une **utilisation rapide et efficace** directement en salle d'opération !

NOUVEAUX MÉDICAMENTS, NOUVEAUX MARQUEURS

Tantôt « médicaments » pour soigner le cancer (radiothérapie vectorisée), tantôt marqueurs pour voir dans notre corps (imagerie), les atomes radioactifs sont de précieux alliés pour vaincre le cancer. Certains sont cependant très difficiles à produire en quantité suffisante pour répondre aux besoins de la médecine.



Acquisitions d'images (par caméra TEP) du cerveau d'un patient après injection d'une molécule radioactive.

Une nouvelle source d'atomes radioactifs pour la médecine

Tout neuf et fin prêt, l'accélérateur circulaire ou **cyclotron** « **ARRONAX** » permettra de fabriquer :



L'accélérateur ARRONAX et une ligne de faisceau de particules pour produire des atomes radioactifs à usage médical.

une quantité importante d'atomes radioactifs à usage médical

... et même de **nouveaux atomes radioactifs** très prometteurs pour l'avenir du diagnostic et du traitement du cancer.

Dans ce projet de grande ampleur, la contribution des **physiciens** n'est pas des moindres. Ils aident en effet à la fabrication d'atomes définis comme prioritaires pour l'imagerie et la thérapie (comme le Cuivre-64 et 67, le Rubidium-82 ou l'Astate-211).

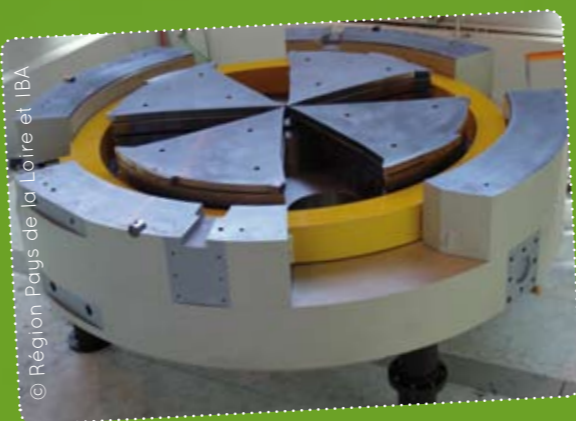
ARRONAX VU PAR LES MÉDECINS

« C'est un prototype, unique au monde, d'une puissance deux fois supérieure à ceux qui existent ailleurs. »

Jean-François Chatal, Professeur de médecine nucléaire.

La recherche continue...

La recherche sur la **production par accélérateur d'atomes radioactifs à usage médical** n'est pas encore terminée. Par exemple, un axe important concerne la fabrication d'un atome très utilisé pour les diagnostics médicaux : le technétium-99m.



Cyclotron ARRONAX

Qu'est-ce qu'un cyclotron ?

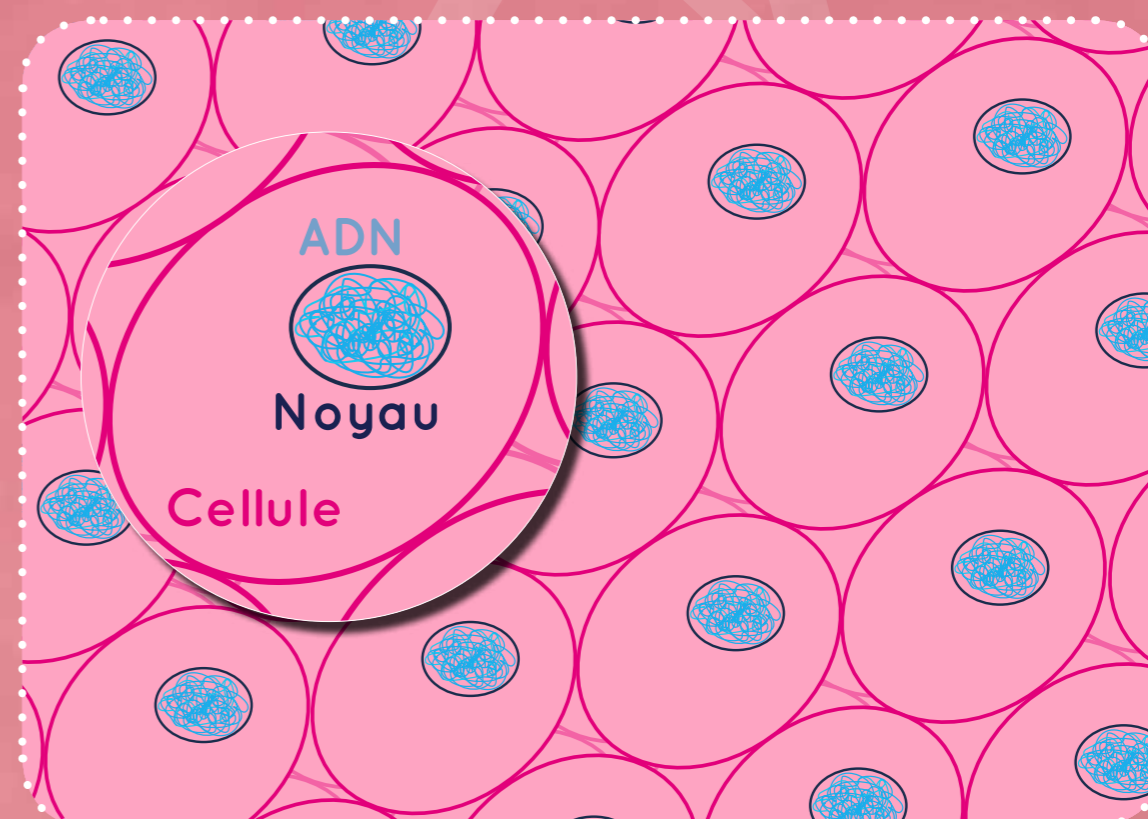
Un cyclotron est un **gros aimant circulaire** qui **accélère des particules**. L'interaction **des particules accélérées** avec une **cible** spécifique produit **des atomes radioactifs**.

Voir film « ARRONAX à Nantes »

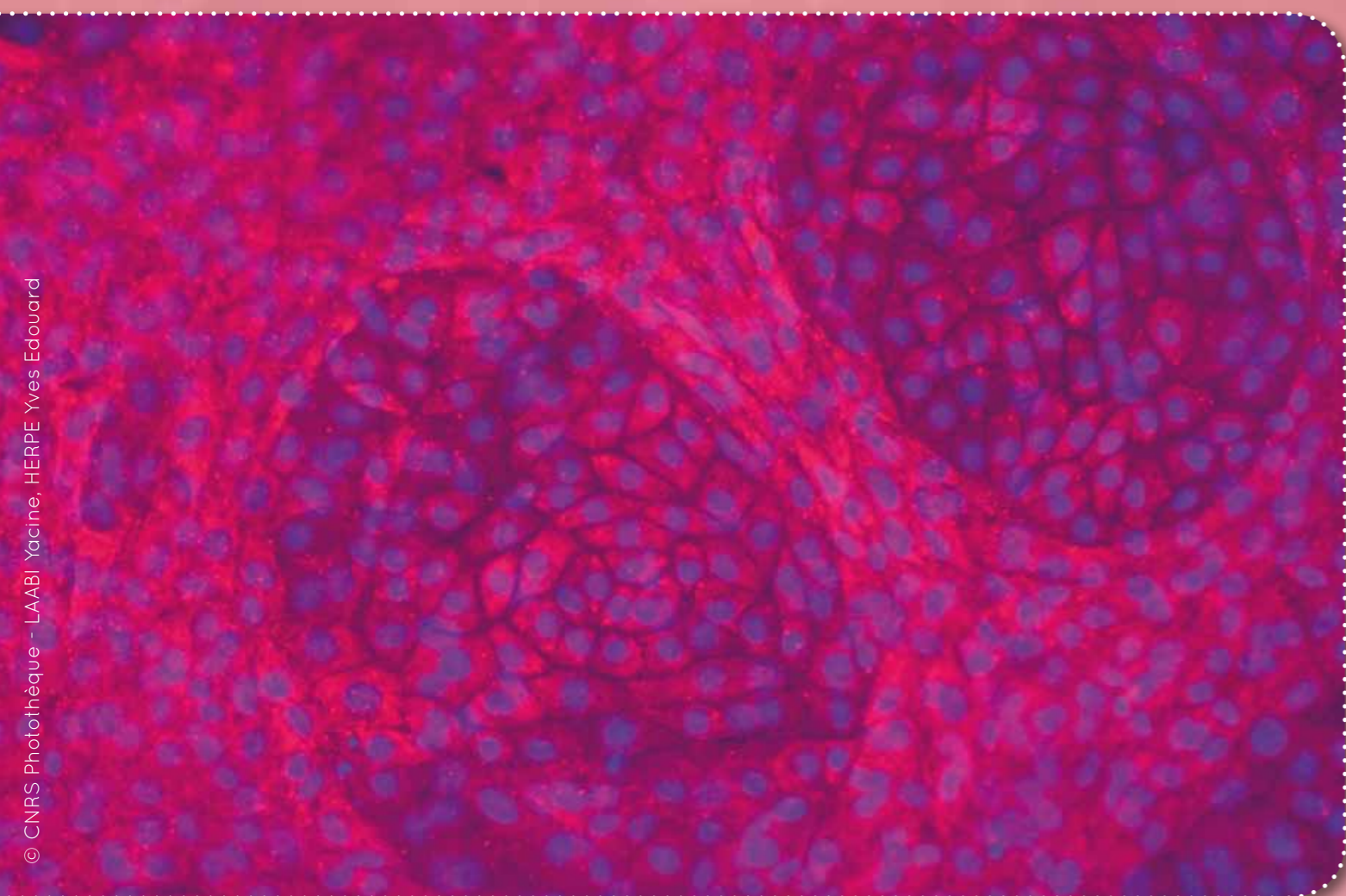
RADIATIONS SUR LE VIVANT : Quels effets ?

Au cœur de la matière vivante

La **matière vivante** est un ensemble de briques : les **cellules**. Chaque cellule comporte un **noyau** : il renferme la molécule qui porte l'information génétique = **ADN** (carte d'identité de chaque individu).



Radiations et matière vivante : le rôle de la radiobiologie



Cellules humaines colorées en rose, l'ADN de chaque cellule est en bleu (couleurs artificielles).

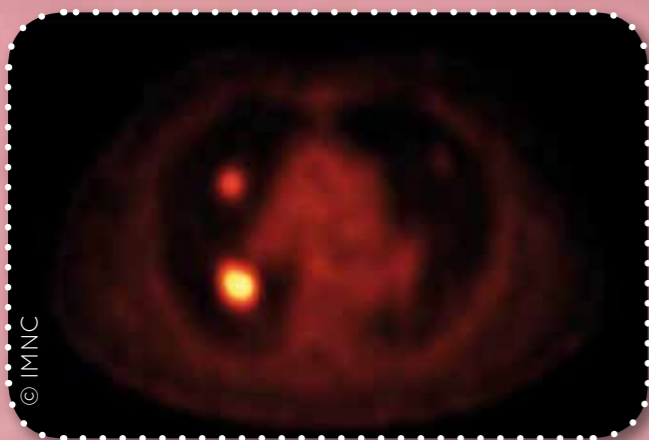
Les **radiations** endommagent les **cellules vivantes** : leurs constituants et plus particulièrement leur **ADN**.

C'est un **atout** pour détruire les cellules cancéreuses, mais un **danger** pour les cellules saines.

Comment la cellule réagit-elle à une irradiation ? Quels **mécanismes fondamentaux** entrent en jeu ? Quelles sont les conséquences pour les cellules, les tissus et l'organisme ? Comment se **préserver** des effets néfastes des radiations ?

La **radiobiologie** s'intéresse à ces questions.

La radiobiologie dans la lutte contre le cancer :



Imagerie



Thérapie

Les **radiations** sont utilisées pour **détecter** et **soigner** le cancer. La radiobiologie sert à **comprendre** ce qui peut se passer au niveau de la cellule et de son **ADN** quand le patient est soumis à ces radiations.

RADIATIONS SUR LE VIVANT : Des outils pour mieux comprendre

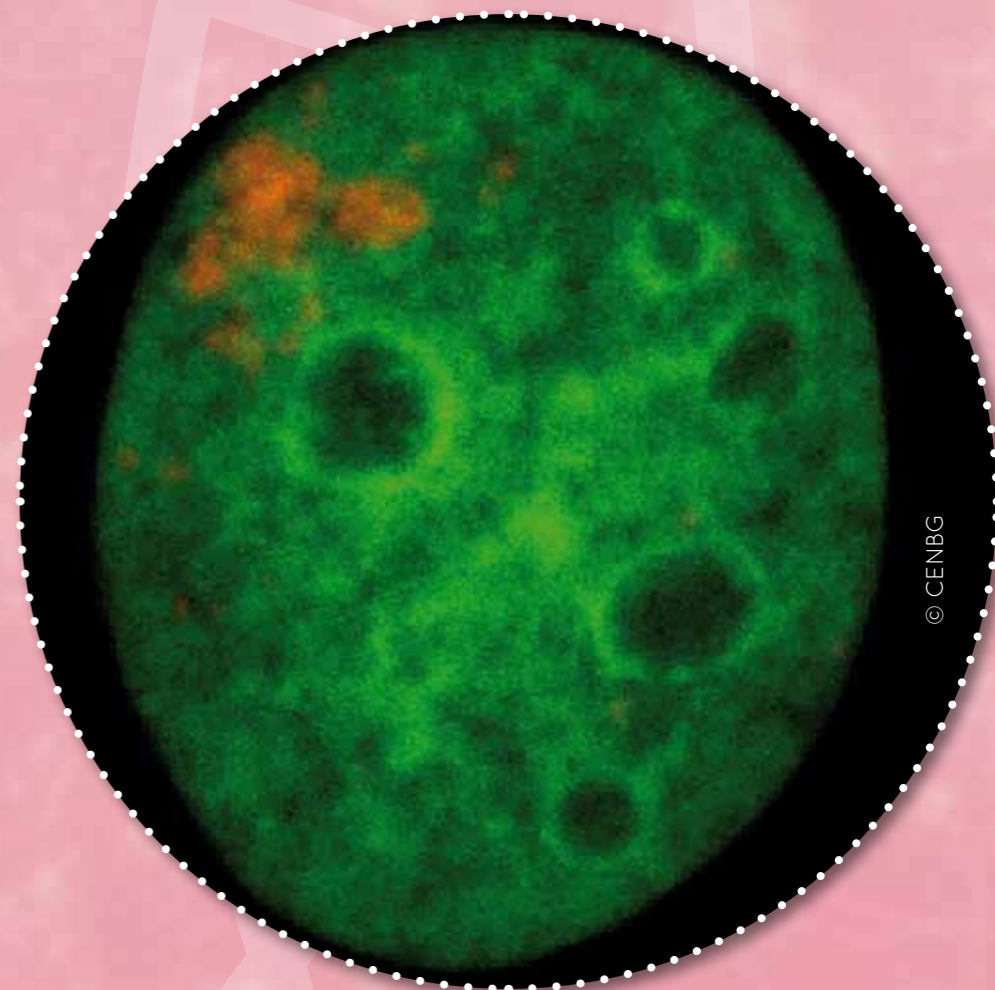
Voir et comprendre ce qui se passe à l'échelle d'une molécule est loin d'être simple... Radiobiologistes et physiciens doivent unir leurs forces pour surmonter cette difficulté de taille et étudier les effets des radiations sur la molécule d'ADN.

Des expériences d'irradiation

Les physiciens mettent en place des installations* capables de produire des **faisceaux de particules** (alpha, protons, ions lourds...). Ces faisceaux sont utilisés par les radiobiologistes pour **irradier des cellules** et reproduire expérimentalement les effets des radiations sur l'ADN.

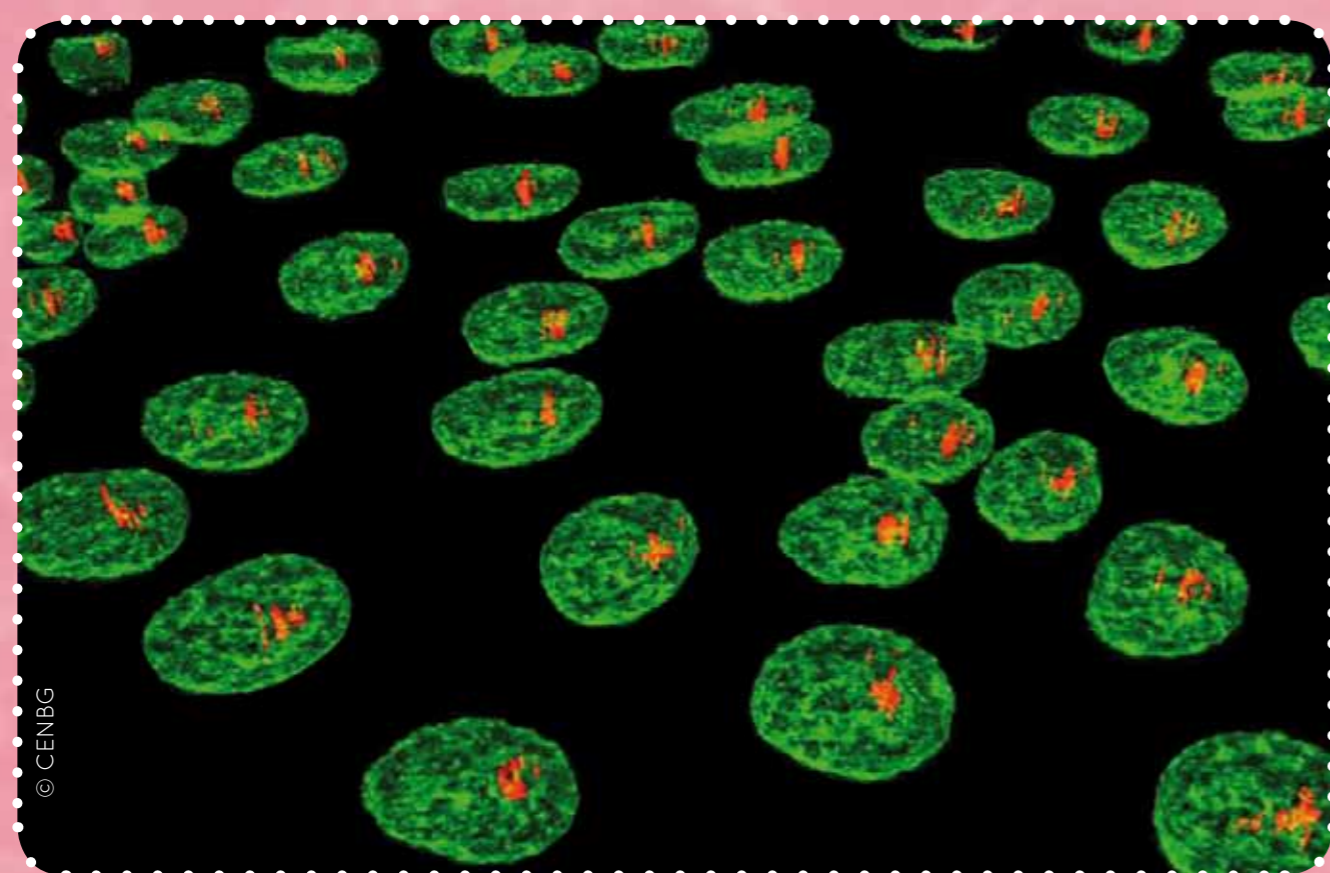
**plateformes « AIFIRA » à Bordeaux, « GANIL » à Caen, et bientôt « PAVIRMA » à Clermont-Ferrand et « RADIOGRAFF » à Lyon.*

Il est même devenu possible d'irradier **une seule cellule** avec **une seule particule** : performance jamais atteinte jusqu'alors !



Cellule vivante de peau humaine irradiée expérimentalement. En vert : l'ADN cellulaire ; en rouge : les cassures de l'ADN suite à l'irradiation.

et des simulations...



Pour compléter ces expériences, des **simulations** permettent « d'imiter » numériquement les **dommages** (biophysiques) engendrés par les radiations **sur l'ADN**.

Simulation d'irradiations de cellules de peau humaine avec l'outil de simulation « Monte Carlo Geant4 ». En vert : le noyau cellulaire contenant l'ADN ; en rouge : les radiations.

... à la prédiction

Toutes les observations, quantifications et modèles issus de ces expériences et simulations ont un objectif : **prédire les dommages sur l'ADN** en fonction de la dose de radiations délivrée. Ces prédictions sont d'un grand intérêt pour le **traitement du cancer**. Pour définir, avec la meilleure précision possible, la **dose** qui détruira la tumeur sans endommager les tissus voisins.



EXEMPLE D'UNE ÉTUDE : COMMENT LA CELLULE RÉPARE SON ADN IRRADIÉ ?

Une étude montre que des cellules irradiées avec **50 particules*** présentent des indices de **mort cellulaire**. Mais avec **5 particules** les **dommages semblent disparaître**. Cette réparation est-elle efficace ?

Des altérations pouvant conduire à l'apparition d'un cancer ne persistent-elles pas ? C'est à ces questions cruciales que les expériences d'irradiation tentent de répondre.

** faible dose de particules alpha*

Voir film : « La radioactivité sur le vivant : Quels effets ? »