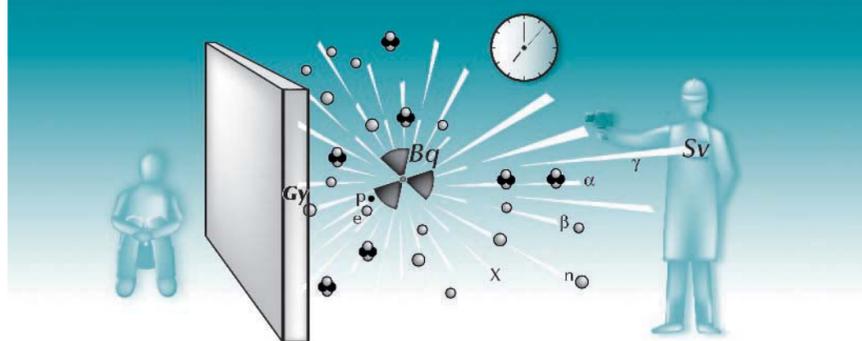




GRANDEURS ET UNITÉS EN RADIOPROTECTION



“ BIEN CONNAÎTRE LES GRANDEURS RELATIVES AUX RAYONNEMENTS IONISANTS OU À LA RADIOACTIVITÉ ET LEUR SPÉCIFICITÉ POUR QUANTIFIER LES RISQUES ASSOCIÉS ”

Emis ou non par une source radioactive, les rayonnements sont dits ionisants lorsque leur énergie est suffisante pour éjecter un ou plusieurs électrons des atomes de la matière qu'ils rencontrent. Ce phénomène est à l'origine de leurs effets biologiques sur les cellules vivantes dont ils peuvent altérer les structures moléculaires.

La mesure de l'activité d'une source émettrice de rayonnements ionisants, de l'énergie de ceux-ci, des doses susceptibles d'être absorbées par l'organisme et l'évaluation par le calcul de leur impact sur la santé constituent des données essentielles. Elles permettent, en effet, de quantifier les risques associés à la radioactivité et aux expositions aux rayonnements ionisants, pour lesquels la réglementation fixe, à des fins de prévention, différentes valeurs limites ou indicatives.

C'est sur cette base que sont mis en œuvre les moyens appropriés de la radioprotection, dont le contrôle est assuré par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN).





» Comment les rayonnements ionisants sont-ils caractérisés ?

Les rayonnements ionisants se distinguent par leur nature, leur origine et leur énergie. Ils se présentent soit sous forme de particules tels les rayonnements alpha (α)⁽¹⁾, les rayonnements bêta (β)⁽²⁾, des neutrons (n) ou des protons (p), soit sous forme d'ondes électromagnétiques tels les rayons X et gamma (γ)⁽³⁾.

Ils peuvent être émis spontanément par les noyaux instables des matières radioactives naturelles ou artificielles (rayonnements α , β , γ ,) ou lors de la fission ou de la fusion de noyaux de certains atomes (rayonnements neutroniques et protoniques). Dans certaines conditions, ils peuvent également être émis hors du cortège électronique de certains atomes non radioactifs (rayons X des appareils de radiologie et électrons des accélérateurs de particules par exemple)⁽⁴⁾.

Ils se distinguent enfin par leur gamme d'énergie. Par ordre croissant d'énergie, on les classe ainsi : X, γ , β , p, n, α , électrons accélérés utilisés en radiothérapie.

Leur caractéristique commune est de posséder une énergie suffisante pour arracher des électrons aux atomes de la matière qu'ils rencontrent. Ces atomes, qui ont perdu ainsi leur neutralité électrique, sont alors qualifiés d'ions. Lorsque ces rayonnements ionisent les atomes des molécules constituant les cellules vivantes, ils y provoquent des altérations pouvant conduire soit à leur destruction soit à des modifications de leur fonctionnement.

Ils sont totalement imperceptibles à nos sens. Différents appareils sont capables d'enregistrer les effets électriques, chimiques ou lumineux résultant de l'ionisation du gaz, du liquide, du cristal ou du film photographique qu'ils contiennent. Ils permettent ainsi de détecter facilement ces rayonnements et d'en effectuer des mesures précises.



Travailleur du nucléaire effectuant une mesure de contrôle en radioprotection.

> Si la connaissance de l'énergie⁽⁵⁾ des rayonnements ionisants émis peut constituer une indication du risque potentiel qu'ils représentent, seules trois grandeurs sont utilisées en radioprotection :

- quand ils proviennent d'une source radioactive, **l'ampleur de leur émission** mesurée au rythme des désintégrations nucléaires (activité) qui sont à leur origine ;
- et dans tous les cas,
 - **la quantité d'énergie absorbée** par unité de masse du corps irradié ;
 - **l'évaluation calculée de son impact biologique.**

(1) Particules de charge électrique positive constituées de noyaux d'hélium (He^+).

(2) Particules équivalentes à des électrons (e) à charge électrique négative (β^-) ou à charge positive (β^+ , encore appelés positons).

(3) Encore appelés photons X et γ , lorsqu'on considère ces rayonnements sous leur aspect corpusculaire.

(4) Voir dans la même collection la fiche ASN n° 3 "Nucléaire ou radiologique : quel terme utiliser ?".

(5) Si l'unité d'énergie classique est le joule (J), les énergies des rayonnements sont traditionnellement rapportées à la valeur de l'énergie acquise par un électron sous une tension électrique de 1 volt (V), unité de très petite dimension, dite électronvolt (eV), égale à $1,6.10^{-19}$ J.



Sources d'iode 125 utilisées en curiethérapie de la prostate.



Containers de stockage de déchets radioactifs.



Emballage de combustible nucléaire MOX.

» Comment mesurer l'ampleur d'une émission de rayonnements ionisants par une source radioactive ?

Le becquerel, Bq : l'unité de mesure de l'activité

L'activité d'une source radioactive se caractérise par le nombre de transformations (anciennement appelées désintégrations) de noyaux atomiques instables qui s'y produisent par seconde. Son unité de mesure, appelée becquerel (Bq) du nom du physicien français et prix Nobel de physique Henri Becquerel (1852-1908) qui découvrit le phénomène de la radioactivité, correspond à une transformation nucléaire par seconde.

- La connaissance de cette grandeur constitue un bon indicateur de l'importance d'une émission de rayonnements ionisants, puisque chaque transformation nucléaire est accompagnée de l'émission

d'un ou de plusieurs types de rayonnements ionisants, particules et ondes électromagnétiques. Cependant, elle est insuffisante pour en évaluer le risque. Deux sources radioactives de même activité, mais de composition, de forme ou de taille différentes, pouvant émettre des rayonnements de natures différentes et ne pas rayonner la même quantité d'énergie, n'exposent pas, en effet, nécessairement au même risque. De plus, la mesure de l'activité ne peut être appliquée aux sources non radioactives (comme les électrogénérateurs et tubes à rayons X), mais émettrices de rayonnements ionisants (non nucléaires).

➤ Afin de pouvoir comparer entre elles des sources de différentes natures mais de même activité, et pour des raisons de commodité pratique, l'activité est souvent rapportée à la masse ou au volume de la source radioactive selon que celle-ci est solide, liquide ou gazeuse. L'activité est alors exprimée par unité de masse (g, kg, t) ou de volume (l, m³). On parle alors d'activité massique ou volumique. De plus, le becquerel étant une petite unité, ses multiples sont très souvent utilisés : le millier de becquerels ou kilobecquerel (kBq), le million de becquerels ou mégabecquerel (MBq), le milliard de becquerels ou gigabecquerel (GBq) et le millier de milliards de becquerels ou térabecquerel (TBq).

Ordre de grandeur de l'activité de différentes sources radioactives naturelles et artificielles.

Eau de pluie :	0,5 Bq/l	Uranium 238 :	37,2 millions de Bq/kg (37,2 MBq/kg)
Eau de mer :	14 Bq/l	Plutonium 239 :	2 300 milliards de Bq/kg (2,3 TBq/kg)
Lait :	70 Bq/l	Radium 226 :	330 000 milliards de Bq/kg (330 TBq/kg)
Poisson :	100 Bq/kg	Césium 137 :	3,2 millions de milliards de Bq/kg (3 200 TBq/kg)
Corps humain :	120 Bq/kg		
Pommes de terre :	150 Bq/kg		
Terre sédimentaire :	400 Bq/kg		
Engrais phosphatés :	3 000 Bq/kg		
Terre granitique :	8 000 Bq/kg		



>> Comment mesurer l'énergie des rayonnements ionisants absorbée par l'organisme ?

Le gray, Gy : l'unité de mesure de la dose absorbée

Pour se protéger des effets des rayonnements ionisants, il est plus important de connaître la quantité d'énergie susceptible d'être absorbée par l'organisme que celle qui a été émise : on parle alors de dose absorbée.

La dose absorbée correspond à la quantité d'énergie absorbée par unité de masse exposée. Sa mesure s'exprime en gray (Gy), unité portant le nom du physicien anglais Harold Gray (1905-1965) et correspondant à 1 joule par kilogramme (J/kg).

Cette unité est souvent utilisée pour caractériser les expositions provoquant une destruction des cellules irradiées, induisant des effets biologiques dits

déterministes⁽⁶⁾ (des brûlures par exemple). Ces expositions peuvent être accidentelles ou volontaires, notamment en radiothérapie lorsqu'il s'agit de détruire un tissu cancéreux par exemple.

• Cependant, des expositions conduisant à une même valeur de dose absorbée ne présentent pas nécessairement les mêmes risques, qui sont également liés à la nature des rayonnements, aux conditions de l'exposition et à la sensibilité des organes et tissus irradiés. La connaissance de la dose absorbée n'est donc pas suffisante pour quantifier l'impact biologique d'une exposition.

Exemples d'ordres de grandeur de doses absorbées



> Une même valeur de dose peut être reçue quasi instantanément, de façon continue ou fractionnée. Les effets biologiques produits peuvent alors être différents. Aussi, les doses sont elles souvent rapportées à une unité de temps d'exposition (seconde, minute, heure ou année selon les cas). On parle alors de débit de dose.

Balise IRSN de télésurveillance des débits de dose du rayonnement gamma ambiant.

(6) Voir dans la même collection la fiche ASN n° 2 : "Les principes de la radioprotection".



» Comment quantifier l'impact biologique des rayonnements ionisants selon leur nature ?

Le sievert, Sv : l'unité de dose équivalente

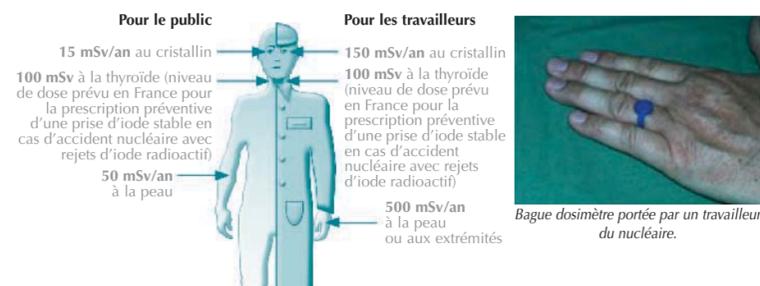
L'impact biologique d'un rayonnement ionisant ne dépend pas seulement de l'énergie absorbée par les cellules vivantes, mais aussi de la nature du rayonnement qui détermine la manière dont cette énergie est déposée tout au long de son parcours.

A énergie absorbée égale, des rayonnements ionisants n'ayant pas les mêmes caractéristiques physiques n'ont pas le même impact biologique.

Pour apprécier l'impact biologique des rayonnements sur un organe ou un tissu lors d'une exposition uniforme, on calcule

une dose dite équivalente, qui est le produit de la dose absorbée par un facteur de pondération radiologique sans dimension⁽⁷⁾ caractéristique du rayonnement. Cette dose est alors exprimée en sievert (Sv)⁽⁸⁾, du nom du radiobiologiste suédois Rolf Sievert (1896 – 1966).

- La dose équivalente ne permet pas pour autant de comparer les risques pour la santé d'expositions différentes en termes de localisation et de cumul.



Niveaux et limites réglementaires de doses équivalentes

> Les rayonnements α , particules à charge électrique positive, sont très peu pénétrants : ils cèdent la totalité de leur énergie sur un très court trajet et ont une forte capacité d'ionisation. Aussi, les substances radioactives émettrices déposées à la surface de la peau ou du tissu qui tapisse les voies respiratoires ou digestives, à la suite d'une contamination externe ou interne par inhalation ou ingestion, sont-elles très nocives (notamment pour les cellules de revêtement de ces organes qui sont les premières à être touchées). Pour se protéger de ces rayonnements, il convient en premier lieu d'éviter les contaminations et de s'éloigner même d'une courte distance des sources émettrices : l'air, dont les molécules absorbent ces rayonnements, constitue à lui seul un écran protecteur. Les rayonnements γ , au contraire, ondes électromagnétiques et donc électriquement neutres, peuvent être très pénétrants : ils ne sont pas arrêtés par l'air et, selon leur énergie, ils peuvent traverser tout le corps et endommager des cellules dans tous les organes rencontrés. Ils cèdent leur énergie tout au long de leur trajet au cours des interactions aléatoires qu'ils ont avec la matière. Pour s'en protéger, il faut donc s'éloigner très nettement de la source émettrice et interposer un écran absorbant en plomb ou une enceinte en béton par exemple (voir schéma page 1).

(7) Le facteur de pondération radiologique est égal à 1 pour les rayonnements β , X et γ , varie de 5 à 20 pour les neutrons et est égal à 20 pour les rayonnements α .

(8) En pratique, c'est le millisievert, millième de sievert (mSv), qui est l'unité la plus souvent utilisée dans le calcul des doses équivalentes et efficaces, notamment parce que les doses moyennes annuelles d'exposition aux rayonnements d'origine naturelle et les limites réglementaires de dose n'excèdent pas quelques mSv.



» Comment évaluer et comparer les risques biologiques liés aux faibles doses ?

Le sievert, Sv : l'unité de dose efficace

Les notions de dose absorbée (exprimée en Gy) et de dose équivalente (exprimée en Sv) ne permettent pas de comparer les risques à long terme dus à des expositions localisées : tous les organes et les tissus biologiques n'ont en effet pas la même sensibilité biologique aux rayonnements ionisants.

Aussi, lorsque l'exposition n'est pas reçue de façon uniforme, pour pouvoir comparer les risques potentiels, notamment en termes d'effets aléatoires⁽⁹⁾ (en particulier des cancers) résultant de transformations génétiques des cellules vivantes exposées, **on calcule une dose qui se rapporte "au corps entier". Cette dose, dite efficace, est également exprimée en sievert.**

Elle est la somme des doses équivalentes reçues par les régions du corps exposées aux rayonnements multipliées par un facteur de pondération tissulaire variant de 0,01 à 0,2 selon la sensibilité des tissus et des organes irradiés. Les doses efficaces résultant d'expositions différentes peuvent s'additionner.

• L'intérêt de la dose efficace est donc, non seulement de "traduire" toute irradiation, quelles que soient sa nature et sa localisation, par une seule et même grandeur, mais aussi, par addition, d'exprimer par un seul chiffre les risques cumulatifs dus à des expositions successives.



➤ L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) veille à faire évoluer la réglementation de la radioprotection et les pratiques industrielles, médicales et de recherche dans le sens de la diminution des doses d'exposition des travailleurs, des patients et des populations. Elle s'appuie pour cela sur une stricte application des trois principes de la radioprotection : la justification, l'optimisation et la limitation des doses⁽⁹⁾.

➤ L'ASN assure, au nom de l'Etat, le contrôle de la radioprotection dans les secteurs d'activités civiles exposant aux rayonnements ionisants⁽¹⁰⁾, en vérifiant, notamment par des inspections, la rigueur avec laquelle la réglementation est mise en œuvre par les utilisateurs de ces rayonnements.

(9) Voir dans la même collection la fiche ASN n° 2 : "Les principes de la radioprotection".

(10) Voir dans la même collection la fiche ASN n° 3 : "Nucléaire ou radiologique : quel terme utiliser ?".

Rédaction & Copyright ASN - Conception & Réalisation Eurographics.fr - Juillet 2005
Crédits photographiques : P. Gilbert/ASN, Hôpital Pitié Salpêtrière, COPRI, CCEA, M. Brigaud GEDF, OAP-HP, ANDRA-SIPA-Press, OCCOEMA, Les films Roger Leenhardt, Rite ©Matir

Pour plus d'informations sur la sûreté nucléaire et la radioprotection, consultez le site Internet :

www.asn.gouv.fr

et contactez le Centre d'information et de documentation du public :

01 40 19 87 23



Direction générale de la sûreté nucléaire et de la radioprotection

6, place du colonel Bourgoin - 75572 Paris Cedex 12

Téléphone : 01 43 19 36 36

Télécopie : 01 40 19 86 69



MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE, DES FINANCES ET DE L'INDUSTRIE
MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DES SOLIDARITÉS
MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE