

# Bilan 2009-2010 de la surveillance de la radioactivité en Nord-Pas-de-Calais



Mars 2011



# Bilan 2009-2010 de la surveillance de la radioactivité en Nord – Pas-de-Calais

Rapport d'étude N° 02-2011-IC

26 pages (hors couvertures)

Parution : Mars 2011

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Nom	Isabelle Coquelle	Arabelle Anquez	Emmanuel Verlinden
Fonction	Ingénieur d'études	Ingénieur d'études	Responsable Etudes

## Conditions de diffusion

Toute utilisation partielle ou totale de ce document doit être signalée par « source d'information Atmo Nord - Pas de Calais, rapport N° 02-2011-IC  
Les données contenues dans ce document restent la propriété d'Atmo Nord - Pas de Calais peuvent être diffusées à d'autres destinataires.  
Atmo Nord - Pas de Calais ne peut en aucune façon être tenue responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses ou de  
toute œuvre utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels l'association n'aura pas donné d'accord préalable.

# Sommaire

Les unités de mesures de la radioactivité .....	7
Les effets biologiques des rayonnements .....	8
Le radon .....	10
L'iode .....	11
Les normes de radioprotection .....	12
<b>La surveillance en Nord-Pas-de-Calais .....</b>	<b>13</b>
La métrologie .....	13
La stratégie de surveillance .....	14
Evolutions annuelles 2009-2010 .....	15
Comparaison pour l'année 2008 et 2009 des résultats fournis par les réseaux de l'IRSN et Atmo Nord – Pas-de-Calais .....	19
<b>Conclusion .....</b>	<b>21</b>
Annexe 1 : Définitions .....	22
Annexe 2 : Ordres de grandeurs moyens en France .....	24
Annexe 3 : Evolution journalière du radon sur les sites de mesure .....	25

# Table des matières

Figure 1 : Table périodique des éléments .....	4
Figure 2 : Rayonnement $\alpha$ .....	5
Figure 3 : Rayonnement $\beta$ (source : publication CEA) .....	5
Figure 4 : Pouvoir de pénétration des rayonnements ionisants (source : publication CEA) .....	6
Figure 5 : Les différents rayonnements (source : publication CEA) .....	6
Figure 6 : Equivalence d'un becquerel (source : Société Française de Radioprotection) .....	7
Figure 7 : Temps de demi-vie de radionucléides (source : publication CEA) .....	8
Figure 9 : Désintégration du radon (source IRSN) .....	10
Figure 10 : Moyenne par département des concentrations en radon dans l'air des habitations (en Bq/m <sup>3</sup> ) (source IRSN) .....	10
Figure 11 : Régions granitiques ou volcaniques émettrices de radon .....	11
Figure 12 : Seuils d'alarme CNPE de Gravelines .....	12
Figure 13 : Principe de fonctionnement de la balise .....	13
Figure 14 : Sites de surveillance .....	14
Figure 15 : Résultats de radioactivité $\alpha$ .....	15
Figure 16 : Résultats de radioactivité $\beta$ .....	15
Figure 17 : Résultats de l'activité <sup>131</sup> I .....	16
Figure 18 : Résultats de l'activité radon .....	16
Figure 19 : Evolution mensuelle de l'activité du radon en 2009 et 2010 .....	17
Figure 20 : Profils journaliers 2009 et 2010 du radon .....	17
Figure 21 : Coefficients de corrélation entre sites pour l'activité Radon .....	18
Figure 22 : Résultats de radioactivité $\gamma$ .....	18
Figure 23 : Débit de dose moyen en 2008 et 2009 en région Nord – Pas-de-Calais .....	20
Figure 24 : Facteurs de pondération des rayonnements .....	22
Figure 25 : Facteurs de pondération des tissus .....	23
Figure 26 : La radioactivité qui nous entoure : ordres de grandeurs moyens pour la France (source : OCDE-AEN et Conseil scientifique des Nations Unies) .....	24



Cette transformation irréversible d'un atome radioactif en un autre atome est appelée désintégration. Elle s'accompagne de l'émission de différents types de rayonnement. Cette transformation avec émission de rayonnements est appelée radioactivité.

## Les rayonnements

L'homme est exposé aux rayonnements depuis son apparition sur terre, notamment aux rayonnements solaires (visible, infrarouges et ultra violets), ondes électromagnétiques comme les ondes radio, les rayons X et les rayons gamma.

### La radioactivité alpha $\alpha$

Le rayonnement  $\alpha$  est constitué d'un noyau d'hélium comprenant 2 protons et 2 neutrons. Il porte deux charges positives. Des atomes dont les noyaux sont trop chargés en protons et en neutrons émettent souvent un rayonnement alpha. Ils se transforment en un autre élément chimique dont le noyau est plus léger. Par exemple, l'uranium 238 est radioactif  $\alpha$  et se transforme en thorium 234.

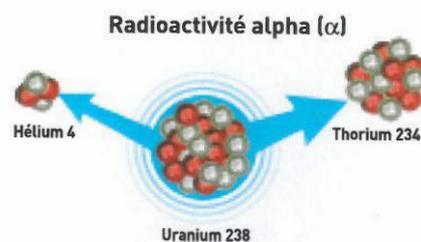


Figure 2 : Rayonnement  $\alpha$  (source : publication CEA)

### La radioactivité bêta $\beta$

Elle peut être de deux sortes : bêta moins et bêta plus

Le rayonnement  $\beta$  moins est constitué d'un électron. Certains atomes, dont les noyaux sont trop chargés en neutrons émettent un rayonnement bêta moins. Un des neutrons au sein du noyau se désintègre en un proton plus un électron, ce dernier étant éjecté. L'atome s'est alors transformé en un autre élément chimique. Par exemple, le thorium 234 est radioactif  $\beta$  moins et se transforme en protactinium 234.

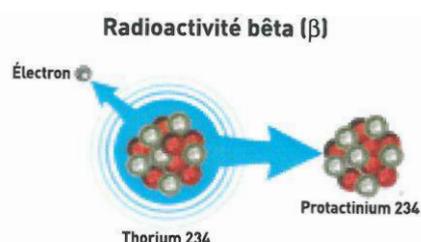


Figure 3 : Rayonnement  $\beta$  (source : publication CEA)

Le rayonnement  $\beta$  plus est constitué d'un positron, anti-particule associée à l'électron. Les atomes dont le noyau est trop chargé en protons émettent un rayonnement  $\beta$  plus. Un des protons du noyau se désintègre en un neutron plus un positron, ce dernier étant éjecté. L'atome s'est ainsi transformé en un autre élément chimique. Par exemple, l'iode 122 est radioactif  $\beta$  plus et se transforme en tellure 122.

Pour les deux types de désintégration  $\beta$ , le noyau garde le même nombre de nucléons, donc la même masse atomique.

### La radioactivité gamma $\gamma$

Le rayonnement  $\gamma$  est une onde électromagnétique comme la lumière visible mais plus énergétique. Ce rayonnement suit souvent une désintégration  $\alpha$  ou  $\beta$ . Après émission de la particule  $\alpha$  ou  $\beta$ , le noyau est encore excité, les protons et neutrons n'ayant pas encore trouvé leur équilibre. Il se libère alors rapidement d'un trop – plein d'énergie par émission d'un rayonnement  $\gamma$ . Par exemple, le cobalt 60 se transforme par désintégration  $\beta$  en nickel 60 qui atteint un état stable en émettant un rayonnement  $\gamma$ .

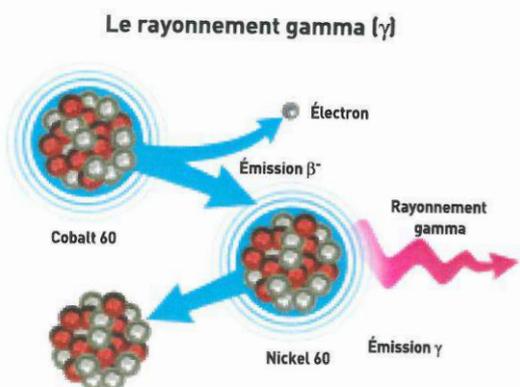


Figure 4 : Rayonnement  $\gamma$  (source : publication CEA)

## Les rayonnements ionisants

Les rayonnements les plus énergétiques transfèrent assez d'énergie aux électrons de la matière pour les arracher de leur atome. Les atomes privés de certains de leurs électrons se chargent positivement, les atomes voisins accueillent les électrons libérés et deviennent donc négatifs. C'est le principe de formation d'un ion. Les rayonnements capables de telles réactions sont dits ionisants. Ils regroupent :

- les rayons cosmiques
- les ondes électromagnétiques telles que les rayons X ou  $\gamma$
- les rayonnements  $\alpha$  ou  $\beta$
- les neutrons libres : indirectement ionisants (capture par noyaux, générant des rayons  $\gamma$ )

surtout présents dans les réacteurs nucléaires ou aux altitudes de vol des avions long courrier et subsoniques. Ils participent à 30% de la dose reçue par le personnel navigant.

Les autres rayonnements sont appelés non ionisants et comprennent les ondes électromagnétiques les moins énergétiques.

Par leur énergie, les rayonnements ionisants sont pénétrants, c'est-à-dire qu'ils peuvent traverser la matière. Le pouvoir de pénétration est cependant différent pour chacun d'entre eux.

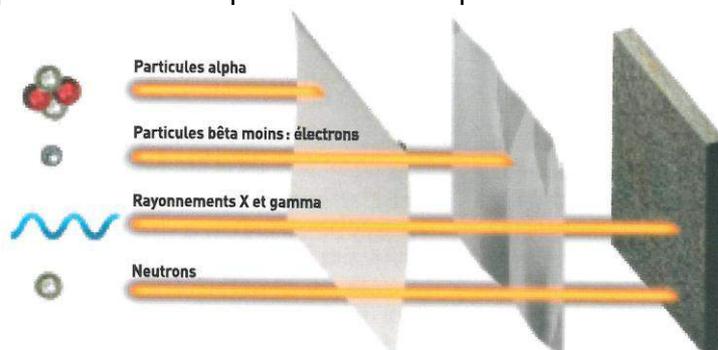


Figure 4 : Pouvoir de pénétration des rayonnements ionisants (source : publication CEA)

Les particules  $\alpha$  ont une très faible pénétration dans l'air, une feuille de papier est suffisante pour arrêter les noyaux d'hélium. Le rayonnement  $\beta$  parcourt quelques mètres dans l'air, une feuille d'aluminium arrête les électrons. Les pouvoirs de pénétration les plus grands sont attribués aux rayons  $\gamma$  ou aux neutrons et dépendent de l'énergie du rayonnement. Une forte épaisseur de béton ou de plomb pour les rayons X ou  $\gamma$ , ou de béton ou de paraffine pour les neutrons permet de s'en protéger.

	Rayonnements ionisants	Rayonnements non ionisants
Particules	Rayonnements cosmiques Neutrons Rayonnements alpha et bêta	-
Rayonnements électromagnétiques	Rayonnements gamma Rayonnements X Rayonnements ultra violets	Ondes radio Micro-ondes Rayonnements infra rouges Lumière visible

Figure 5 : Les différents rayonnements (source : publication CEA)

## Les unités de mesures de la radioactivité

Un échantillon radioactif se caractérise par son activité qui est le nombre de désintégrations de noyaux radioactifs par seconde qui se produisent en son sein. L'unité d'activité est le becquerel, de symbole Bq. Un becquerel équivaut à une désintégration par seconde.

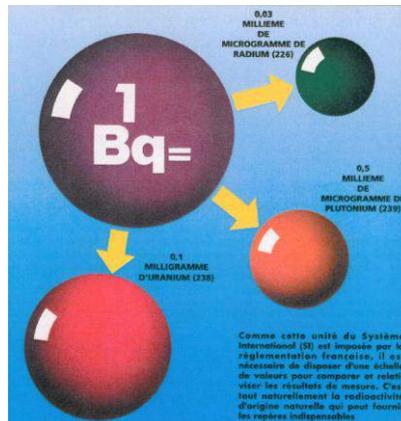


Figure 6 : Equivalence d'un becquerel (source : Société Française de Radioprotection)

Deux mesures sont essentielles en radioprotection : la mesure de la dose de rayonnement absorbée par le corps et l'évaluation du risque associé à cette dose absorbée. Deux unités ont donc été créées : le Sievert et le Gray.

### La dose absorbée :

Lorsqu'ils rencontrent de la matière, les rayonnements ionisants entrent en collision avec les atomes qui la constituent. Au cours de ces interactions, ils déposent une partie ou la totalité de leur énergie. La dose absorbée, exprimée en Gray (Gy), est définie par le rapport de cette énergie déposée sur la masse de la matière. Un Gray correspond à une énergie déposée de un Joule par kilogramme de matière. La dose absorbée ne dépend pas du type de rayonnement.

### La dose équivalente ou équivalent de dose:

Elle permet de prendre en compte l'effet des différents types de radioactivité sur les tissus vivants. La dose équivalente se mesure en Sievert (Sv), c'est la dose absorbée multipliée par un facteur de pondération du rayonnement (voir en annexe 1).

- La dose efficace :

Afin d'exprimer dans une même unité le risque de survenue des effets stochastiques (qui n'apparaissent pas selon le principe d'une cause qui induit toujours le même effet et qui ne sont pas liés à un seuil limite) associés à l'ensemble des situations d'exposition possibles, les physiciens ont développé un indicateur de « dose efficace », dont l'unité de mesure est le sievert (Sv). La dose efficace est calculée à partir de la dose absorbée (exprimée en Gray) par les différents tissus et organes exposés en appliquant des facteurs de pondération qui tiennent compte du type de rayonnement, des modalités d'exposition (interne ou externe) et de la sensibilité spécifique des organes ou tissus. Par définition, la dose efficace ne peut être utilisée que pour évaluer le risque d'apparition d'effets stochastiques chez l'homme et ne peut être employée ni pour les effets aigus ni pour les effets sur la faune et la flore. Les différents facteurs de pondération sont repris en annexe.

- Le débit de dose :

C'est la dose radioactive dans le temps. Elle se mesure en Gray par seconde dans le système international, mais l'unité fréquemment utilisé est le Gy/h.

- Le temps de demi-vie :

L'activité d'un échantillon radioactif diminue avec le temps du fait de la disparition progressive des noyaux instables qu'il contient. La désintégration radioactive d'un noyau donné est un phénomène aléatoire. On peut cependant donner pour chaque isotope radioactif une période radioactive ou demi-vie qui est le temps au bout duquel la moitié des atomes radioactifs initialement présents a disparu par transformation spontanée. Selon les noyaux radioactifs concernés, cette période est très variable : de quelques secondes à plusieurs milliards d'années...

PÉRIODES DE QUELQUES CORPS RADIOACTIFS				
ÉLÉMENTS CHIMIQUES	PÉRIODE RADIOACTIVE	ORIGINE	PRÉSENCE	EXEMPLES D'UTILISATION
Tritium	12,3 ans	Artificielle	–	Fusion thermonucléaire Marquage biologique
Carbone 11	20,4 minutes	Artificielle	–	Imagerie médicale
Carbone 14	5 730 ans	Naturelle	Atmosphère Composés carbonés	Datation
Oxygène 15	2,02 minutes	Artificielle	–	Imagerie médicale
Phosphore 32	14,3 jours	Artificielle	–	Recherche en biologie
Soufre 35	87,4 jours	Artificielle	–	Recherche en biologie
Potassium 40	1,3 milliard d'années	Naturelle	Roches riches en potassium, squelette	–
Cobalt 60	5,27 ans	Artificielle	–	Radiothérapie Irradiation industrielle Gammagraphie
Strontium 90	28,8 ans	Artificielle	Produit des réacteurs nucléaires	Jauges d'épaisseur
Iode 123	13,2 heures	Artificielle	–	Médecine nucléaire
Iode 131	8,05 jours	Artificielle	Produit des réacteurs nucléaires	–
Césium 137	30,2 ans	Artificielle	Produit des réacteurs nucléaires	Curiothérapie
Thallium 201	3,04 jours	Artificielle	–	Médecine nucléaire
Radon 222	3,82 jours	Naturelle	Gaz s'échappant des roches granitiques	–
Radium 226	1 600 ans	Naturelle	Roches terrestres contenant de l'uranium	–
Thorium 232	14 milliards d'années	Naturelle	–	Datation des minéraux Combustible potentiel
Uranium 235	704 millions d'années	Naturelle	Certaines roches terrestres Roches granitiques	Dissuasion nucléaire Combustible
Uranium 238	4,47 milliards d'années	Naturelle	Certaines roches terrestres Roches granitiques	Combustible dans les réacteurs à neutrons rapides
Plutonium 239	24 100 ans	Artificielle	Produit des réacteurs nucléaires	Dissuasion nucléaire Combustible

Figure 7 : Temps de demi-vie de radionucléides (source : publication CEA)

## Les effets biologiques des rayonnements

Les rayonnements ionisants contribuent à une ionisation des molécules présentes dans les organismes vivants. Selon la dose reçue et le type de rayonnement, leurs effets peuvent être plus ou moins néfastes pour la santé. Deux approches sont utilisées pour étudier leurs différents effets biologiques : l'épidémiologie et l'expérimentation sur des molécules ou cellules d'organismes vivants. Elles permettent toutes deux de mieux connaître les effets des rayonnements ionisants afin de définir des règles et des normes de radioprotection et de soigner les personnes ayant subi des irradiations accidentelles.

Une forte irradiation par des rayonnements ionisants provoque des effets immédiats sur les organismes vivants comme des brûlures plus ou moins importantes. Les expositions à des doses plus ou moins élevées de rayonnements ionisants peuvent avoir des effets à long terme sous forme de cancers et de leucémies. Ces effets se manifestent de façon aléatoire.

Les rayonnements alpha sont rapidement freinés lorsqu'ils pénètrent à l'intérieur d'un matériau ou d'un tissu vivant et déposent leur énergie localement. Ils sont donc, à dose absorbée égale, plus perturbateurs que des rayonnements X ou  $\gamma$ , lesquels pénètrent plus profondément la matière et étalent ainsi leur dépôt d'énergie.

L'exposition aux rayonnements est de deux types : externe et interne.

L'exposition externe provoque une irradiation externe. Elle a lieu lorsque le sujet se trouve exposé à des sources de rayonnements qui lui sont extérieures (substances radioactives sous forme de nuages ou de dépôts dans les sols, sources à usage industriel ou médical...).

L'exposition externe cesse dès que l'on n'est plus sur la trajectoire des rayonnements. L'exposition interne est liée à une contamination interne. Les substances radioactives ont pu pénétrer par inhalation, par ingestion ou encore par blessure de la peau, et se distribuent ensuite dans l'organisme. L'irradiation ne cesse que lorsque les substances radioactives ont disparu de l'organisme soit par élimination naturelle et décroissance radioactive, soit par traitement.

En France, l'exposition annuelle de l'homme aux rayonnements ionisants est d'environ 2 millisieverts. En plus de la radioactivité naturelle, nous sommes exposés à des rayonnements provenant de sources artificielles. Ces rayonnements sont du même type que ceux émis par des sources naturelles et leurs effets sur la matière vivante sont, à dose égale, identiques. Ce sont essentiellement les radiographies médicales ou dentaires. Seulement 1.5% provient d'autres sources comme les retombées des essais aériens des armes nucléaires et les retombées de l'accident de Tchernobyl.

Les rayonnements ionisants que nous recevons des **sources naturelles** ont des origines diverses et se répartissent en trois principaux types :

- les rayonnements cosmiques : provenant de l'espace extra-terrestre et du soleil. En Europe, ils se traduisent pour tous ceux qui vivent à une altitude voisine du niveau de la mer, par une irradiation moyenne d'environ 0.30 millisievert par an. Lorsqu'on s'élève en altitude, l'exposition augmente.

- les éléments radioactifs contenus dans le sol : principalement l'uranium, le thorium et le potassium. Ces éléments provoquent en moyenne en France une irradiation de 0.35 millisievert par an. Dans certaines régions de France et du monde, dont le sol contient des roches comme le granit, ces irradiations sont plus fortes.

- les éléments radioactifs que nous absorbons par inhalation ou ingestion. Des émanations gazeuses de certains produits issus de la désintégration de l'uranium contenu dans le sol tel que le radon ou encore le potassium des aliments que nous fixons pour partie dans notre organisme, provoquent une irradiation moyenne annuelle de 1.55 millisievert. Un tiers de l'irradiation reçue est due au radon, cette part augmente dans les régions granitiques.

Pour chaque habitant, l'exposition moyenne annuelle aux **sources artificielles** est d'environ 1 millisievert (voir en annexe 2). Les sources principales sont :

- les irradiations médicales : principalement dues aux radiographies médicales et dentaires qui provoquent une irradiation externe proche de 1 millisievert en France en moyenne.

- les activités industrielles non nucléaires : la combustion du bois, l'utilisation d'engrais phosphatés, la télévision, les montres à cadran lumineux entraînent en moyenne une irradiation de 0.1 millisievert par an.

- les activités industrielles nucléaires : les centrales nucléaires, les usines de retraitement, les retombées des anciens essais atmosphériques et de Tchernobyl... exposent l'homme en moyenne à 0.002 millisievert par an.



Figure 8 : Sources d'exposition et effet (source publication CEA)

## Le radon

Gaz inodore, incolore et inerte, le radon est produit partout à la surface de la terre à partir de l'uranium contenu dans les sols. La concentration du radon varie d'un lieu à l'autre dans une région, selon la teneur en uranium naturel du sous-sol. Les zones granitiques, riches en uranium sont de fortes contributrices aux concentrations de radon dans l'air ambiant. Seule une fraction dépendant de la porosité du sol, de la taille des grains et de l'humidité parvient à s'échapper et atteindre l'atmosphère.

Le radon possède deux isotopes principaux : le radon 220 ( $^{220}\text{Rn}$ , période de 56 secondes) descendant du thorium et le radon 222 ( $^{222}\text{Rn}$ , période de 3.8 jours) descendant de l'uranium. En termes d'irradiation, le radon 222 est prédominant.

C'est le risque de cancer du poumon qui motive la vigilance à l'égard du radon, notamment dans les habitations ou autres locaux. Le radon et ses descendants solides pénètrent dans les poumons avec l'air respiré. Ces descendants émettent des rayonnements  $\alpha$  qui peuvent induire le développement d'un cancer. De nombreuses études épidémiologiques menées ces dernières années ont confirmé l'existence d'un risque cancérigène au niveau pulmonaire chez les mineurs de fond mais aussi dans la population générale. L'inhalation du radon et de ses descendants constitue pour la population française la première cause d'irradiation parmi les sources naturelles de rayonnements ionisants.

Les résultats de l'ensemble de ces études épidémiologiques sont concordants et montrent une élévation du risque de cancer du poumon cumulée au radon et à ses descendants radioactifs. Les derniers résultats obtenus en population générale montrent que ce risque lié au radon existe à la fois chez les fumeurs et chez les non fumeurs. De nombreuses évaluations du risque du cancer du poumon associé à l'exposition domestique au radon ont été effectuées à travers le monde, notamment aux Etats-Unis, au Canada et en Grande Bretagne. En France, le cancer du poumon est responsable de 25000 décès chaque année<sup>1</sup>. Une évaluation quantitative des risques sanitaires associés à l'exposition domestique au radon, effectuée en France métropolitaine en 2004, permet de conclure que le radon pourrait jouer un rôle dans la survenue de certains décès par cancer du poumon dans une proportion qui pourrait atteindre 10%. Ces estimations tiennent compte de la variabilité des expositions au radon sur l'ensemble du territoire, de l'interaction entre l'exposition au radon et la consommation tabagique ainsi que des incertitudes inhérentes à ces types de calculs.

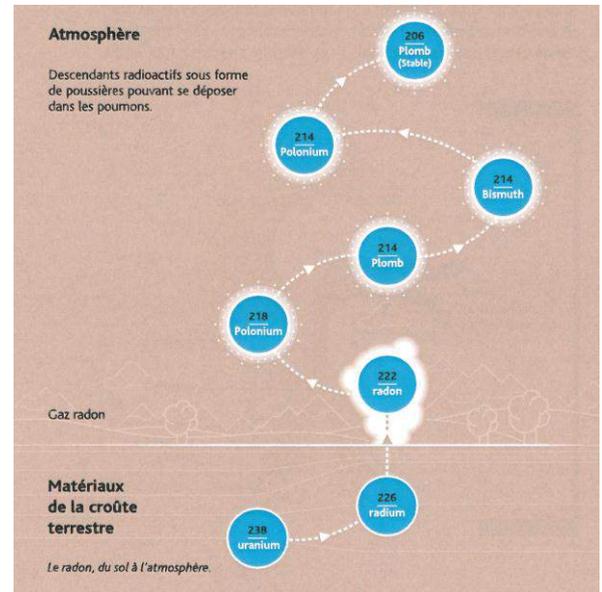


Figure 9 : Désintégration du radon (source IRSN)

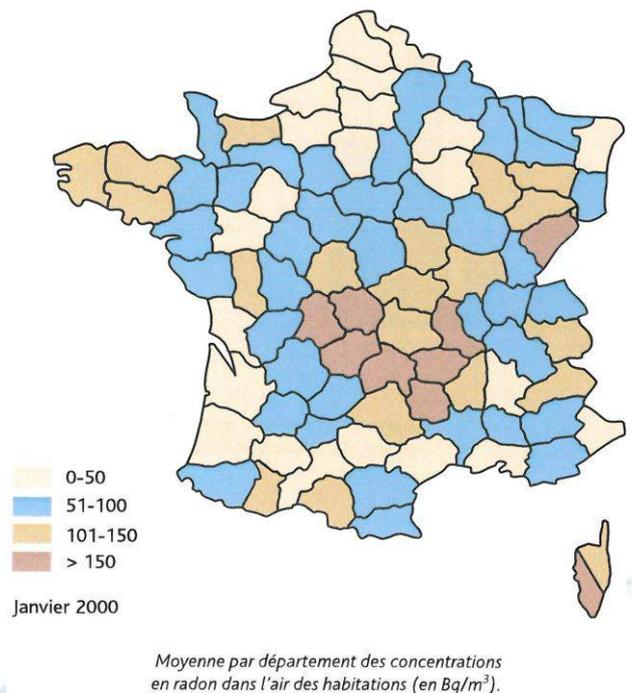


Figure 10 : Moyenne par département des concentrations en radon dans l'air des habitations (en Bq/m<sup>3</sup>) (source IRSN)

<sup>1</sup> Données de mortalité en 1999

L'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) réalise depuis plusieurs années des campagnes de mesure du radon. Globalement, les sous-sols granitiques libèrent plus de radon que les terrains sédimentaires. La moyenne des mesures en France est de  $90 \text{ Bq/m}^3$ , supérieure à la moyenne au Royaume Uni ( $20 \text{ Bq/m}^3$ ) et inférieure à celle en Suède ( $108 \text{ Bq/m}^3$ ). Une fois dans l'air, le radon se dilue en fonction des conditions atmosphériques. Le jour, la diffusion est bonne et le taux de radon est bas. La nuit, les inversions de température peuvent entraîner une élévation des concentrations d'un facteur 10 à 100. A la surface de la Terre, le flux moyen d'émission est de  $0.022 \text{ Bq/m}^2/\text{s}$ . Les différentes mesures de la concentration en radon 222 dans le monde, sous différents climats et conditions météorologiques, indiquent une valeur moyenne de  $10 \text{ Bq/m}^3$ , avec des écarts importants ( $0.1 \text{ Bq/m}^3$  à  $100 \text{ Bq/m}^3$ ). Au dessus des océans, la teneur moyenne est de  $2 \text{ Bq/m}^3$ .

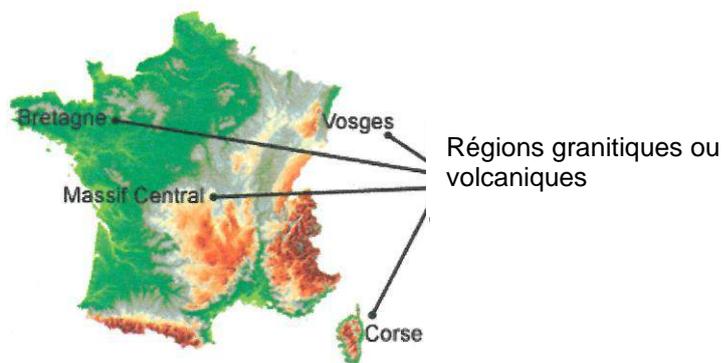


Figure 11 : Régions granitiques ou volcaniques émettrices de radon

## L'iode

Appartenant à la famille des halogènes, l'iode possède 25 isotopes dont les masses s'échelonnent de 117 à 141. A l'exception de l'iode 127, tous sont radioactifs et 13 sont des produits de fission (des noyaux d'uranium ou de plutonium). Dans le domaine de l'énergie nucléaire, les isotopes potentiellement rejetés dans l'environnement sont essentiellement l'iode 131 (rejets accidentels) et l'iode 129.

Pendant la période 1945-1962, les essais nucléaires atmosphériques ont libéré dans l'environnement une quantité importante d' $^{131}\text{I}$  (estimée à  $6.10^{20} \text{ Bq}$ ) et d' $^{129}\text{I}$  (estimée à  $4.10^{11} \text{ Bq}$ ). En raison de sa décroissance rapide (demi-vie 8 jours), la quantité d' $^{131}\text{I}$  déposée au sol sur l'ensemble de la planète a actuellement disparu. Par contre, les quantités d' $^{129}\text{I}$  déposées au sol sont encore présentes (demi-vie  $1.57.10^7$  ans).

Le cœur d'un réacteur en fonctionnement renferme une très grande quantité d' $^{131}\text{I}$  et sensiblement moins d' $^{129}\text{I}$ . Lors du retraitement des combustibles irradiés, l'ensemble des produits de fission est extrait. Compte tenu du temps passé entre le déchargement du combustible et son traitement (plusieurs années), l' $^{131}\text{I}$  est totalement éliminé par décroissance radioactive alors que l' $^{129}\text{I}$  est toujours présent. Cependant, lors des accidents survenus à Windscale (Royaume Uni) en 1957, à Three Mile Island (Etats-Unis) en 1979 et à Tchernobyl (Ukraine) en 1986, des quantités importantes d' $^{131}\text{I}$  ont été relâchées, pour tous ces accidents, les quantités d' $^{129}\text{I}$  ont été très secondaires.

L'iode, oligo-élément nécessaire à la fabrication d'hormones, est stocké dans la thyroïde. En cas de rejets accidentels dans l'atmosphère, la population est exposée à l'inhalation des iodures (129, 131, ...) présents en suspension dans le nuage. La prise d'iode stable, sous forme de comprimés d'iodure de potassium, vise à saturer la thyroïde avec de l'iode non radioactif et à empêcher ainsi la fixation ultérieure des radio-isotopes susceptibles de conduire à des hypothyroïdies ou des cancers de la thyroïde. La distribution des comprimés concerne les populations riveraines des centrales nucléaires de production électrique (rayon de 10km) et est fixée par circulation interministérielle (12 août 1992).

## Les normes de radioprotection

La prise de conscience du danger potentiel d'une exposition excessive aux rayonnements ionisants a amené les autorités à fixer des normes réglementaires pour les limites de doses.

En 1928, le 2<sup>ème</sup> Congrès International de Radiologie à Stockholm met en place une commission internationale qui ne deviendra la Commission Internationale de Protection Radiologique qu'en 1950. La CIPR est un organisme international non gouvernemental affilié à l'Organisation Mondiale de la Santé depuis 1956. Elle émet des recommandations sous forme de publications, fondées sur les travaux d'un comité créé par les Nations Unies en 1955 : le Comité Scientifique des Nations Unies pour l'Etude des Effets des Rayonnements Ionisants (UNSCEAR). Les recommandations de la CIPR n'ont aucun caractère obligatoire. Elles servent de guide pour la réglementation adoptée par des organismes internationaux. La Communauté Européenne de l'Energie Atomique ou Euratom a été instaurée en 1957 par le traité de Rome afin de créer les conditions nécessaires au développement de l'industrie nucléaire et d'imposer le même niveau de sécurité radiologique à tous les pays membres. L'élaboration des normes et la surveillance de leur application constituent une des tâches assignées par le traité EURATOM à la Communauté.

La transcription en droit français des directives relatives à la radioprotection du public fixe à 1 mSv en moyenne annuelle l'équivalent de dose maximal (décret 2002-460 du 4 avril 2002).

La recommandation 90/143/EURATOM du 21 février 1990 indique que la concentration en radon dans les habitations neuves ne doit pas excéder 200 Bq/m<sup>3</sup>.

Seuils internes du CNPE de Gravelines

Seuils	$\alpha, \beta$ et $^{131}\text{I}$	$\gamma$	$^{222}\text{Rn}$
Seuil 1	3.7 Bq.m <sup>-3</sup>	0.3 $\mu\text{Sv/h}$	100 Bq.m <sup>-3</sup>
Seuil 2	37 Bq.m <sup>-3</sup>	3 $\mu\text{Sv/h}$	150 Bq.m <sup>-3</sup>

Figure 12 : Seuils d'alarme CNPE de Gravelines

# La surveillance en Nord-Pas-de-Calais

## La métrologie

Les sites de mesure d'Atmo Nord-Pas-de-Calais sont équipés de moniteurs de particules BAI 9100D développés par la société Berthold Technologies.

L'air aspiré à un débit de 25 m<sup>3</sup> par heure passe à travers un filtre qui retient les particules en suspension dans l'air. La zone de dépôt des poussières fines est observée en permanence par un détecteur de radioactivité ( $\alpha$  et  $\beta$ ). La concentration des matières particulaires sur le filtre permet de détecter de faibles niveaux de contamination de l'air. Afin d'éviter les problèmes de colmatage, la bande de papier avance à la vitesse d'un centimètre par heure.

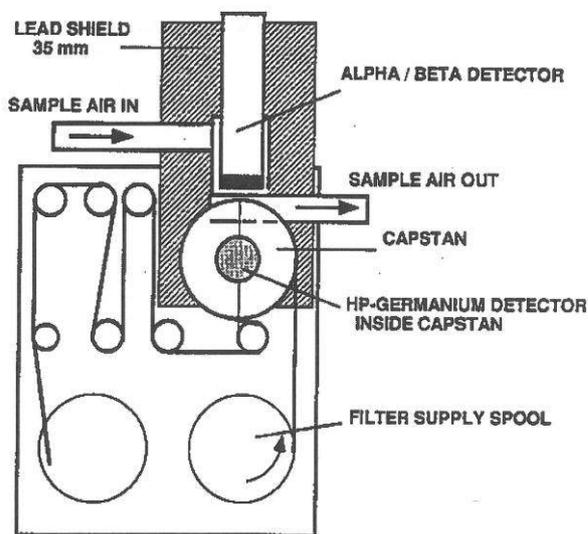


Figure 13 : Principe de fonctionnement de la balise

Le détecteur comptabilise toutes les émissions  $\alpha$  et  $\beta$  qui se produisent sur le filtre. Une mesure dite de pseudo-coïncidence identifie les désintégrations dues à la radioactivité naturelle. La pseudo-coïncidence est basée sur la signature temporelle de la décroissance du radon. En effet, un intervalle de 160  $\mu$ s sépare le rayonnement  $\beta$  du rayonnement  $\alpha$ , la détection des pseudo-coïncidences permet d'évaluer la radioactivité naturelle. Trois valeurs sont ainsi obtenues : radioactivité  $\alpha$  artificielle, radioactivité  $\beta$  artificielle et radioactivité naturelle, ou plus précisément l'activité du radon.

La combinaison avec un moniteur d'iode est possible. Dans ce cas, après le passage au travers du papier filtre, l'air est dirigé vers un deuxième site de collecte : une cartouche remplie de charbon actif piégeant les gaz et permettant ainsi la collecte de l'iode sous forme gazeuse. Un détecteur spécifique, disposé en regard de la cartouche, mesure l'activité de l'iode 131 capté par la cartouche. En cas de problèmes ou de doutes sur un événement, la cartouche est récupérée et envoyée à l'Université du Littoral, où est hébergé un spectromètre gamma appartenant à Atmo Nord-Pas-de-Calais pour une recherche de radionucléides artificiels gazeux.

Le moniteur gamma ambiant est constitué d'un double détecteur Geiger-Muller (GM) composé de deux tubes : l'un pour les faibles doses et l'autre pour les doses élevées. On mesure l'ionisation du gaz contenu dans les tubes GM, créée par l'action du rayonnement gamma ambiant. Après amplification des signaux de mesure et comptage des impulsions, le calcul du débit de dose gamma ambiant absorbé en  $\mu$ Gy/h est effectué à partir d'un des deux GM en fonction du taux de comptage.

## La stratégie de surveillance

Quatre sites de surveillance de la radioactivité sont installés sur la région Nord-Pas-de-Calais :

- trois sites en proximité du Centre Nucléaire de Production Electrique (CNPE) de Gravelines, mesurant les radioactivités  $\alpha$  et  $\beta$ , la radioactivité  $\gamma$  ambiante, les activités radon et iode. Les sites se situent à Gravelines, Dunkerque (station de Malo les Bains) et Calais (station de Calais Parmentier).
- un site à Lille (Communauté Urbaine) mesurant les radioactivités  $\alpha$  et  $\beta$ , la radioactivité  $\gamma$  ambiante et l'activité radon.

La surveillance de l'activité de l'iode est liée à la proximité du CNPE de Gravelines.

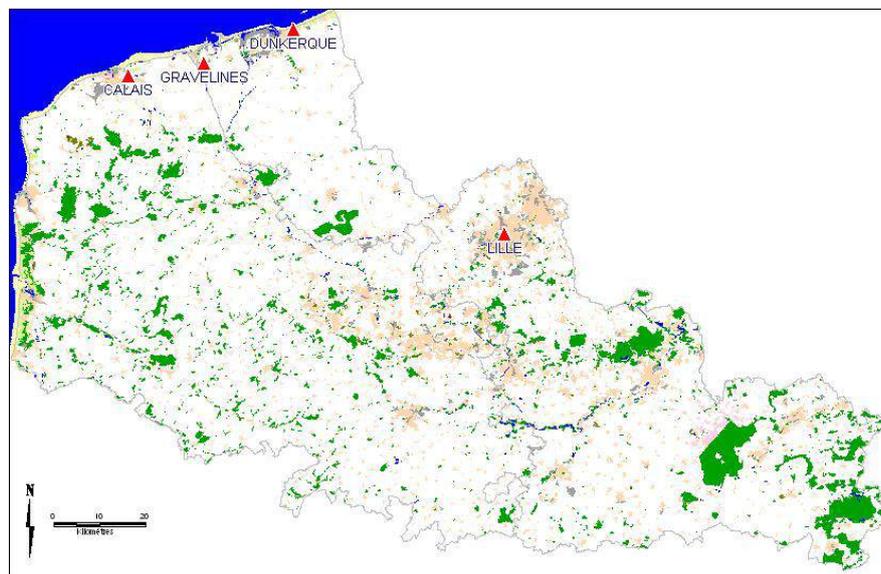


Figure 14 : Sites de surveillance

## Evolutions annuelles 2009-2010

Le taux de fonctionnement représente le nombre de moyennes horaires valides sur une année. Il doit être supérieur à 75% pour que les données soient exploitables. A l'exception du rayonnement gamma sur Gravelines en 2009, les taux de représentativité des stations sont supérieurs à 75% en 2009 et en 2010.

### La radioactivité $\alpha$

Aucune radioactivité  $\alpha$  anormale n'a été détectée sur l'ensemble des capteurs du réseau de surveillance.

Radioactivité $\alpha$ Bq/m <sup>3</sup>	2005	2006	2007	2008	2009	2010	TF 2009 %	TF 2010 %	Max horaire 2009	Max Horaire 2010
Dunkerque	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	98.2	98.7	< 1	1.39
Gravelines	< 1	< 1	NR	NR	< 1	< 1	81.5	99.7	1.08	1
Calais	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	98.6	99.9	< 1	1.08
Lille	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	91.1	86.8	< 1	< 1

Figure 15 : Résultats de radioactivité  $\alpha$

TF : taux de fonctionnement

NR : Non représentatif en raison d'un taux de fonctionnement inférieur à 75%

Le seuil d'alarme du CNPE de Gravelines, fixé à 3.7 Bq.m<sup>-3</sup>, n'a pas été atteint.

### La radioactivité $\beta$

Aucune radioactivité  $\beta$  anormale n'a été détectée sur l'ensemble des capteurs du réseau de surveillance.

Radioactivité $\beta$ Bq/m <sup>3</sup>	2005	2006	2007	2008	2009	2010	TF 2009 %	TF 2010 %	Max horaire 2009	Max horaire 2010
Dunkerque	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	98.2	98.8	< 1	< 1
Gravelines	< 1	< 1	NR	NR	< 1	< 1	81.4	99.7	< 1	1.1
Calais	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	98.7	99.8	< 1	< 1
Lille	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	91	86.6	< 1	< 1

Figure 16 : Résultats de radioactivité  $\beta$

TF : taux de fonctionnement

NR : Non représentatif en raison d'un taux de fonctionnement inférieur à 75%

Le seuil d'alarme du CNPE de Gravelines, fixé à 3.7 Bq.m<sup>-3</sup>, n'a pas été atteint.

## L'activité volumique de l'iode <sup>131</sup>I

Les valeurs moyennes sont très inférieures à 1 Bq/m<sup>3</sup>.

Activité <sup>131</sup> I Bq/m <sup>3</sup>	2005	2006	2007	2008	2009	2010	TF 2009 %	TF 2010 %	Max horaire 2009	Max horaire 2010
Dunkerque	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	98.1	98.9	0.09	0.1
Gravelines	< 1	< 1	NR	NR	< 1	< 1	80.9	96.3	0.06	0.04
Calais	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	98.9	99.4	0.07	0.03
Lille	Non recherché									

Figure 17 : Résultats de l'activité <sup>131</sup>I

TF : taux de fonctionnement

NR : Non représentatif en raison d'un taux de fonctionnement inférieur à 75%

Le seuil d'alarme du CNPE de Gravelines, fixé à 3.7 Bq.m<sup>-3</sup>, n'a pas été atteint.

## L'activité volumique du radon <sup>222</sup>Rn

Les moyennes annuelles sont stables par rapport aux années précédentes. Les évolutions d'une année à l'autre sont majoritairement dues aux conditions météorologiques, influençant la dispersion du gaz émis lors de la désintégration de l'uranium contenu dans les sols.

Les teneurs sont homogènes en Nord-Pas-de-Calais et représentatives de la nature du sol (plaine sédimentaire).

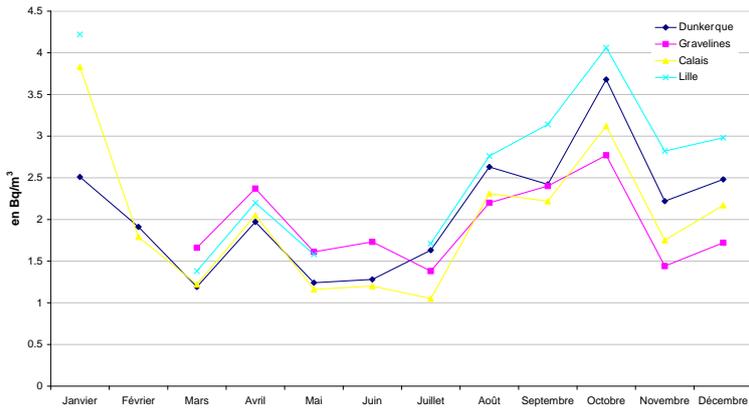
Activité <sup>222</sup> Rn Bq/m <sup>3</sup>	2006	2007	2008	2009	2010	TF 2009 %	TF 2010 %	Max horaire 2009	Max horaire 2010
Dunkerque	2.7	2.1	2.0	2.1	1.9	98.3	98.8	32.4	12.9
Gravelines	2.4	NR	NR	1.9	2.1	81.6	99.9	22.1	19.4
Calais	2.2	1.7	2.0	2	1.9	98.7	99.8	20.4	14.8
Lille	2.4	2.1	2.4	2.6	2.4	91.1	86.8	18.2	15.1

Figure 18 : Résultats de l'activité radon

TF : taux de fonctionnement

NR : Non représentatif en raison d'un taux de fonctionnement inférieur à 75%

Evolution mensuelle de l'activité du radon en 2009



Evolution mensuelle de l'activité du radon en 2010

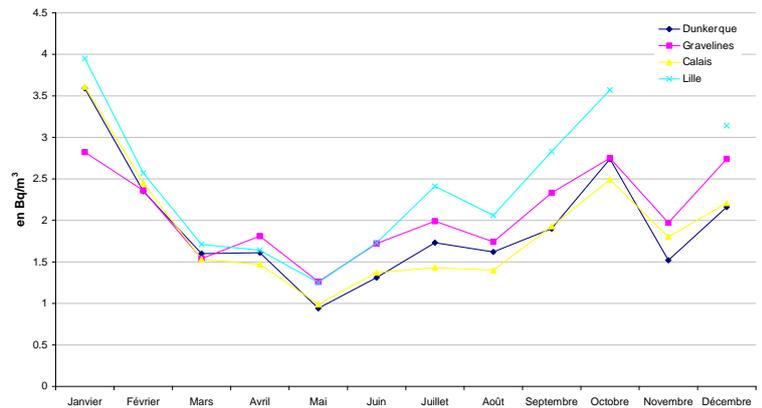
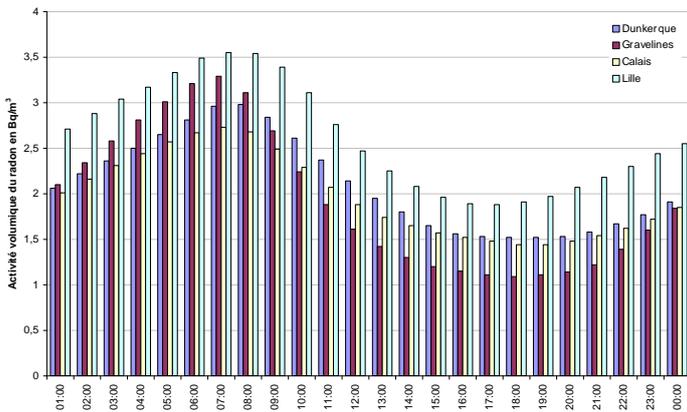


Figure 19 : Evolution mensuelle de l'activité du radon en 2009 et 2010

Les évolutions mensuelles relevées pour les 4 sites sont similaires d'une année à l'autre. Au sein d'une même année, des différences de concentrations peuvent être observées et sont fonctions des conditions météorologiques, notamment des hauteurs de précipitations. Les valeurs les plus élevées ont été notées pendant la période automnale. Une augmentation des teneurs a également été relevée au mois d'avril 2009 et décembre 2010.

Profils journaliers 2009 du radon



Profils journaliers 2010 du radon

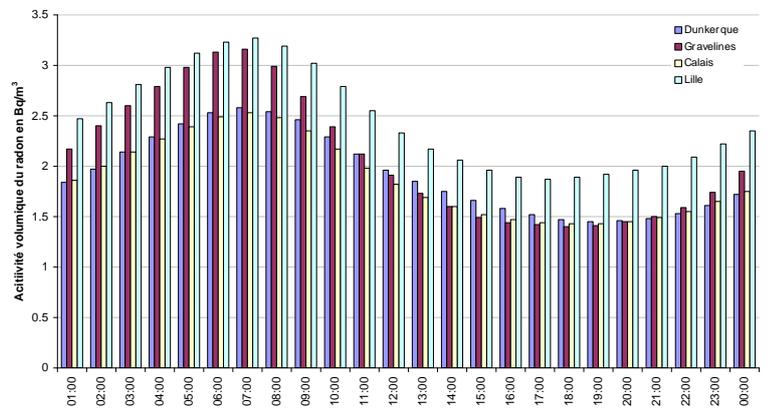


Figure 20 : Profils journaliers 2009 et 2010 du radon

Quel que soit le site, le profil de la courbe est identique. En 2009 et 2010 les profils journaliers de Calais et Dunkerque sont très proches et les résultats sont beaucoup moins élevés que ceux de Lille. Pour Gravelines, les résultats sont globalement supérieurs la nuit à ceux de Calais et Dunkerque. Le profil journalier (graphe ci-dessus) montre une activité maximale en début de journée, associée aux mauvaises conditions de dispersion (inversion thermique). Le phénomène s'estompe aux cours de la journée et le minimum est relevé en fin d'après-midi.

Coefficient de corrélation 2009	Dunkerque	Gravelines	Calais	Lille
Dunkerque	1	0.81	0.82	0.75
Gravelines	0.81	1	0.88	0.7
Calais	0.82	0.88	1	0.79
Lille	0.75	0.7	0.79	1

Coefficient de corrélation 2010	Dunkerque	Gravelines	Calais	Lille
Dunkerque	1	0.87	0.88	0.85
Gravelines	0.87	1	0.9	0.78
Calais	0.88	0.9	1	0.79
Lille	0.85	0.78	0.79	1

Figure 21 : Coefficients de corrélation entre sites pour l'activité Radon

Les coefficients de corrélation entre les sites sont supérieurs à 75% donc très bons. Les coefficients les moins bons sont obtenus entre Lille et Calais, Gravelines.

### La radioactivité $\gamma$ ambiante

Radioactivité $\gamma$ , cumul annuel mSv/an	2005	2006	2007	2008	2009	2010	TF 2009	TF 2010	Max horaire 2009 – débit de dose $\mu$ Gy/h	Max horaire 2010 – débit de dose $\mu$ Gy/h
Dunkerque	0.665	0.635	0.502	0.704	<b>0.709</b>	<b>0.71</b>	<b>98.3</b>	<b>99.1</b>	<b>0.225</b>	<b>0.394</b>
Gravelines	0.652	0.652	NR	NR	<b>NR</b>	<b>0.74</b>	<b>68.2</b>	<b>100</b>	<b>NR</b>	<b>0.123</b>
Calais	0.407	NR	NR	NR	<b>0.681</b>	<b>0.76</b>	<b>99.8</b>	<b>100</b>	<b>0.129</b>	<b>0.7</b>
Lille	0.604	0.671	0.689	0.684	<b>0.66</b>	<b>0.69</b>	<b>91.8</b>	<b>86.8</b>	<b>0.110</b>	<b>0.114</b>

Figure 22 : Résultats de radioactivité  $\gamma$

TF : taux de fonctionnement

NR : Non représentatif en raison d'un taux de fonctionnement inférieur à 75%

Les cumuls de rayonnement gamma sont stables depuis 2007 pour Lille. Pour le site de Dunkerque, le cumul a sensiblement augmenté entre 2007 et 2008 mais s'est stabilisé depuis 3 ans. La limite de dose efficace fixée à 1mSv/an n'a toutefois pas été dépassée. Pour le site de Gravelines et Calais, une tendance à la hausse est également observée au regard des résultats disponibles.

L'analyse des cartouches d'iode réalisées à l'aide du spectromètre gamma durant l'année n'a révélé aucune anomalie.

# Comparaison pour l'année 2008 et 2009 des résultats fournis par les réseaux de l'IRSN et Atmo Nord – Pas-de-Calais

## Rôle de l'IRSN

La surveillance radiologique de l'environnement français est une mission permanente de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire en appui aux autorités (arrêté du 17 octobre 2003 paru au JO du 28 octobre 2003). Cette mission a pour objectif de contribuer au contrôle des rejets radioactifs, et de vérifier les niveaux radiologiques de l'environnement en les associant à des dispositifs d'alerte. Elle est complétée par l'observation périodique de l'évolution radiologique dans divers compartiments de l'environnement (atmosphérique, terrestre, aquatique continental et marin). Pour y répondre, l'Institut gère et développe des réseaux de prélèvements et de mesure sur l'ensemble du territoire.

## Le réseau OPERA-AIR : les aérosols atmosphériques

La surveillance de la radioactivité dans les aérosols atmosphériques est assurée sur l'ensemble du territoire par deux types de stations complémentaires constituant le réseau OPERA-Air (Observatoire permanent de la radioactivité dans l'air) :

- des stations dites « AS » (Air au niveau du sol) qui permettent d'obtenir une information hebdomadaire de la radioactivité des aérosols ;
- des stations dites « TGD » (Très grand débit) qui permettent de quantifier le bruit de fond ambiant pour des radionucléides présents en très faible quantité dans l'air (par exemple le césium 137). Certaines de ces stations sont accompagnées d'un dispositif de prélèvements des eaux de pluie.

### Le réseau Air au niveau du sol (AS)

44 stations de prélèvements d'aérosols AS sont déployées sur le territoire, dont 31 sont implantées sous l'influence potentielle d'une installation nucléaire. Après un prélèvement de 24h à un débit moyen de l'ordre de 7 à 10 m<sup>3</sup>/h, les filtres sont relevés quotidiennement pour des analyses radiologiques en laboratoire. Les filtres sont transmis quotidiennement au laboratoire de l'IRSN (mesure bêta global, alpha global (proximité sites nucléaires) et par spectrométrie gamma). Le rôle de ce réseau n'est pas de détecter la radioactivité artificielle en temps réel mais néanmoins de façon précoce (quelques jours), et de suivre l'évolution à court terme d'une contamination radiologique du territoire puis d'assurer le suivi sur un plus long terme. Il permet de disposer d'un support facile à utiliser pour effectuer des analyses complémentaires nécessaires à une levée de doute et à la caractérisation d'un événement.

## Le réseau Téléray

Depuis 1991, le réseau Téléray assure de façon permanente la veille radiologique du territoire français. Les 163 stations métropolitaines (plus six installées en outre-mer) sont implantées majoritairement aux abords des sites nucléaires et des grandes agglomérations. Les sondes sont constituées de compteurs Geiger-Müller permettant de mesurer le rayonnement gamma ambiant, exprimé en débit de dose équivalente (nSv/h). Toutes les mesures, intégrées sur cinq minutes, sont transférées automatiquement vers un serveur situé sur le site IRSN du Vésinet (78).

## Le réseau des dosimètres thermoluminescents (DTL)

L'objectif de ce réseau est de compléter les moyens mis en œuvre par l'IRSN pour répondre à sa mission de surveillance de l'environnement définie par le décret 2002-254. Développé à partir de 1985, ce réseau permet d'effectuer la surveillance de la dose externe due au rayonnement gamma ambiant dans l'environnement. La stratégie d'implantation des DTL répond à un objectif de couverture territoriale (au minimum un dosimètre par département) et à celui d'une surveillance renforcée en proximité des sites sensibles. La surveillance du territoire national est assurée par 1000 stations (métropole et DOM-TOM). C'est un outil complémentaire au réseau Télecay.

## Le réseau SARA (Surveillance Automatisée de la Radioactivité des Aérosols)

C'est un réseau d'alerte radiologique qui mesure de façon automatisée et en continu la radioactivité des aérosols. Il doit permettre de rendre compte rapidement de toute contamination radioactive des aérosols dans l'environnement, susceptible d'induire un risque sanitaire pour les populations. Les stations sont équipées d'analyseurs permettant de détecter d'éventuels radionucléides émetteurs  $\alpha$  et  $\beta$  artificiels mais également de quantifier les descendants naturels du radon. Actuellement, le réseau SARA est constitué de treize stations implantées sur des sites météorologiques.

### Région Nord – Pas-de-Calais

Les balises de surveillance d'Atmo Nord – Pas-de-Calais peuvent être assimilées dans leur fonctionnement aux stations de mesure des réseaux Télecay et SARA. Ces deux réseaux disposent de stations dans la région, qui se trouvent parfois à proximité des balises d'Atmo Nord – Pas-de-Calais. Les sondes Télecay sont au nombre de 6, réparties sur deux typologies :

- Gravelines, en proximité du site du CNPE (site de surveillance des installations nucléaires classées)
- Lille, Boulogne-sur-Mer, Valenciennes, Dunkerque pour les agglomérations et Maubeuge en proximité d'un site industriel (SOMANU, groupe AREVA).

Sites de mesure - Réseau	Moyennes annuelles 2008	Moyennes annuelles 2009
Région NPdC – IRSN	0.07 $\mu$ Gy/h	~ 0.08 $\mu$ Gy/h
Dunkerque – Atmo NPdC	0.08 $\mu$ Gy/h	0.08 $\mu$ Gy/h
Gravelines – Atmo NPdC	NR	NR
Calais – Atmo NPdC	0.07 $\mu$ Gy/h	0.08 $\mu$ Gy/h
Lille – Atmo NPdC	0.08 $\mu$ Gy/h	0.08 $\mu$ Gy/h

Figure 23 : Débit de dose moyen en 2008 et 2009 en région Nord – Pas-de-Calais

Les données des réseaux IRSN sont issues du bilan de l'état radiologique de l'environnement français en 2008 et 2009. Seules les données Télecay sont disponibles par région.

Comme les années précédentes, les résultats des balises d'Atmo Nord – Pas-de-Calais sont identiques aux mesures réalisés par le réseau Télecay.

# Conclusion

L'étude de l'évolution annuelle 2009 et 2010 de la radioactivité d'origine artificielle ( $\alpha$ ,  $\beta$  ou  $^{131}\text{I}$ ) n'a rien montré d'anormal, aucun de ces rayonnements n'a été détecté sur les trois sites de mesure. L'activité volumique du radon est stable par rapport aux années précédentes, toujours supérieure à Lille mais l'activité reste relativement faible et conforme à la nature des sols de la région.

Les cumuls de rayonnement gamma sont stables depuis 2007 pour Lille. Pour le site de Dunkerque, le cumul a sensiblement augmenté entre 2007 et 2008 mais s'est stabilisé depuis 3 ans. La limite de dose efficace fixée à 1mSv/an n'a toutefois pas été dépassée.

## Annexe 1 : Définitions

Equivalent de dose ou dose équivalente

$$H = \sum_R W_R D_R$$

Où  $W_R$  sont les facteurs de pondération des rayonnements et  $D_R$  les doses délivrées par différents types de rayonnement.

Rayonnement	Energies	Facteur de pondération
Rayons X, $\gamma$	toutes	1
Particules $\beta$	toutes	1
Protons	> 20 MeV	5
Neutrons	< 10 keV	5
	10 keV à 100 keV	10
	100 keV à 2 MeV	20
	2 MeV à 20 MeV	10
	> 20 MeV	5
Particules $\alpha$ , fragments de fissions et noyaux lourds	toutes	20

Figure 24 : Facteurs de pondération des rayonnements

Dose efficace

$$E = \sum_T \sum_R W_T W_R D_{R,T}$$

Où  $W_R$  sont les facteurs de pondération des rayonnements et  $W_T$  les facteurs de pondérations des tissus et les doses absorbées délivrées par différents rayonnements R sur différents tissus T.

Elle peut être exprimée en fonction des doses équivalentes :

$$E = \sum_T w_T H_T$$

Tissu	w <sub>T</sub> , recommandation CIPR 60, 1990	w <sub>T</sub> , recommandation en cours de publication
Gonades	0.20	0.08
Moelle osseuse	0.12	0.12
Côlon	0.12	0.12
Poumon	0.12	0.12
Estomac	0.12	0.12
Vessie	0.05	0.04
Sein	0.05	0.12
Foie	0.05	0.04
Œsophage	0.05	0.04
Thyroïde	0.05	0.04
Peau	0.01	0.01
Surface des os	0.01	0.01
Glande salivaire		0.01
Cerveau		0.01
Ensemble des tissus	0.05	0.12

Figure 25 : Facteurs de pondération des tissus

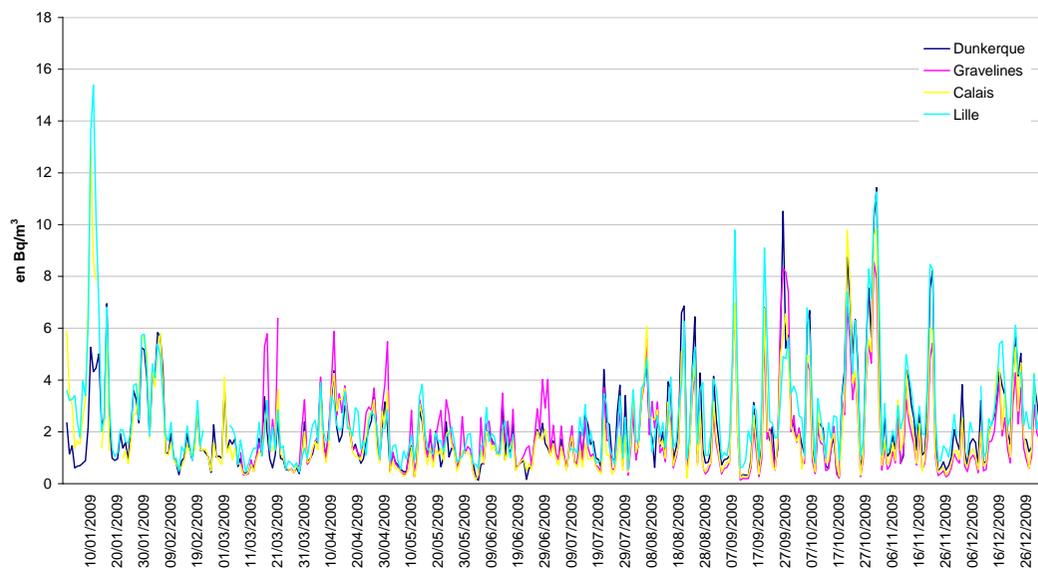
## Annexe 2 : Ordres de grandeurs moyens en France

Radioactivité	Origine	Principal type de rayonnement	Dose en mSv/an	Part
<b>Naturelle</b>			<b>2.45</b>	<b>70</b>
	Tellurique (uranium 238, potassium 40 et thorium 232 du sol)	$\gamma$	0.42	12
	Cosmique (soleil, étoiles et galaxies)	$\gamma$ , neutrons et particules lourdes	0.37	10.5
	Radon (air)	$\alpha$	1.3	37
	Interne (homme et ingestion d'aliments et d'eau)	$\beta$	0.37	10.5
<b>Artificielle</b>			<b>1.05</b>	<b>30</b>
	Médecine (radiodiagnostic, radiothérapie et imagerie nucléaire)	X, $\beta$ , $\gamma$	1	28.5
	Industries, divers		0.035	1
	Nucléaire civil		0.004	0.1
	Nucléaire militaire		0.01	0.4
<b>Total</b>			<b>3.5</b>	<b>100</b>

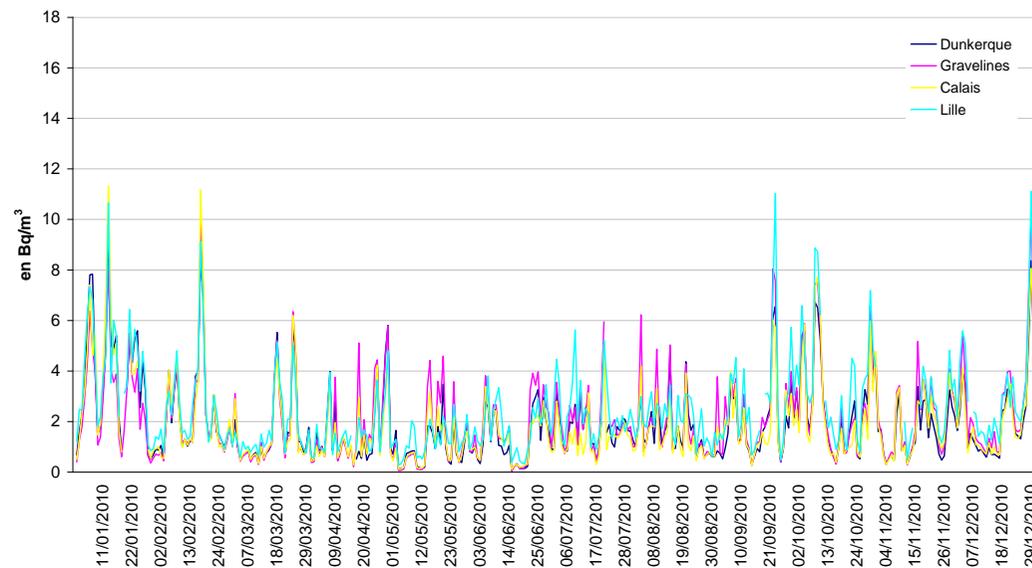
Figure 26 : La radioactivité qui nous entoure : ordres de grandeurs moyens pour la France (source : OCDE-AEN et Conseil scientifique des Nations Unies)

## Annexe 3 : Evolution journalière du radon sur les sites de mesure

Evolution journalière 2009 du Radon



Evolution journalière 2010 du radon





Association régionale Agréée pour la Surveillance de la Qualité de l'Air  
55 place Rihour - 59044 Lille cedex

Téléphone 03 59 08 37 30  
Fax 03 59 08 37 31

[contact@atmo-npdc.fr](mailto:contact@atmo-npdc.fr)  
[www.atmo-npdc.fr](http://www.atmo-npdc.fr)

