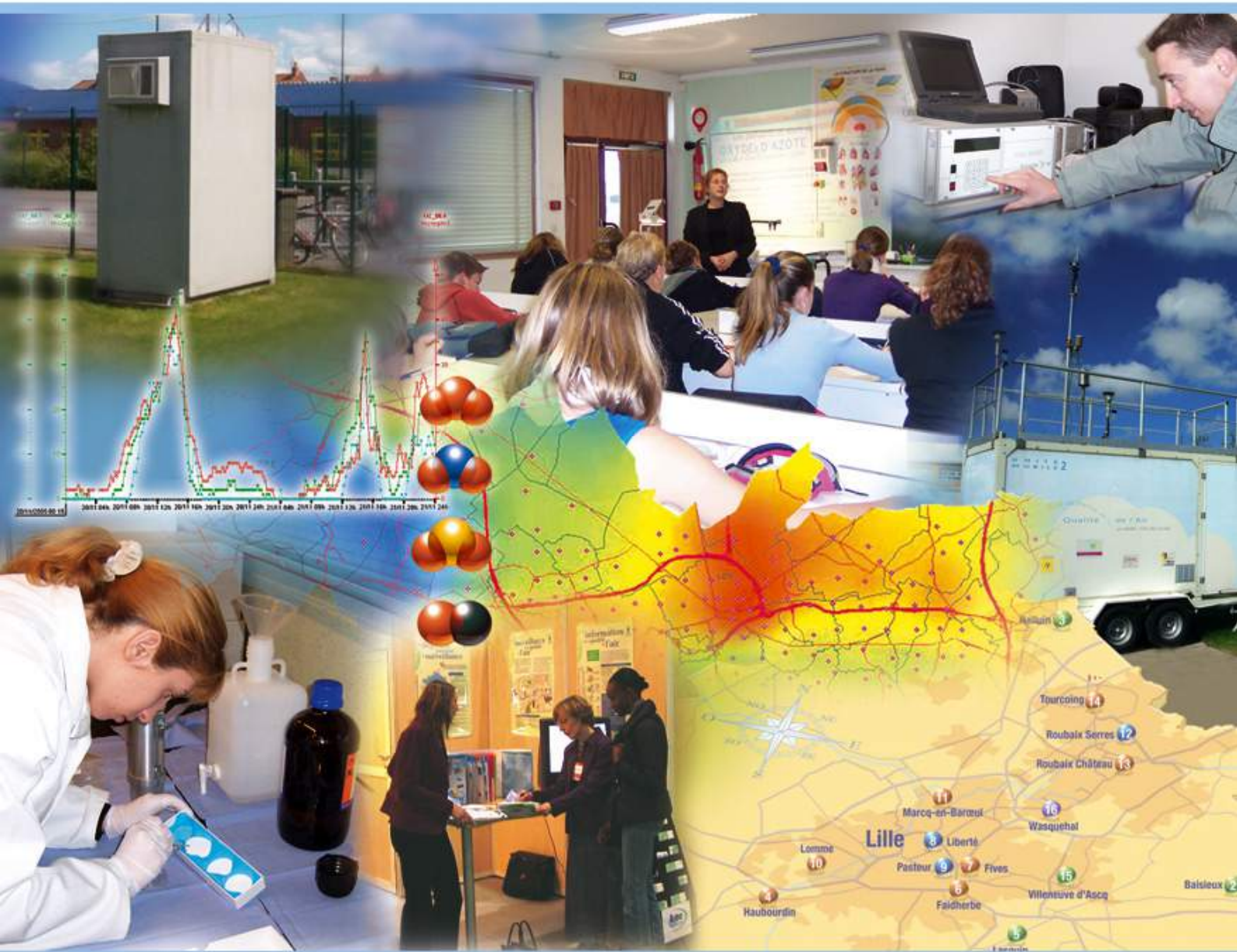




Bilan 2006 de la surveillance de la radioactivité en Nord-Pas-de-Calais



Rapport 10 - 2007- SE

Novembre 2007



Bilan 2006 de la surveillance de la radioactivité en Nord - Pas - de - Calais

Rapport d'étude N° 10-2007-SE

25 pages (hors couvertures)

Parution : Novembre 2007

| | Rédacteur | Vérificateur | Approbateur |
|----------|--------------------|--------------------|------------------------------|
| Nom | Arabelle Anquez | Charles Beaugard | Caroline DOUGET |
| Fonction | Ingénieur d'Etudes | Ingénieur d'Etudes | Directrice du Service 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° 10 - 2007 - SE.

Les données contenues dans ce document restant 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

| | |
|---|-----------|
| Table des matières | 4 |
| Généralités | 5 |
| La radioactivité, propriété naturelle de certains atomes | 5 |
| Les rayonnements | 6 |
| Les unités de mesures de la radioactivité | 8 |
| Les effets biologiques des rayonnements | 9 |
| Le radon..... | 12 |
| L'iode | 13 |
| Les normes de radioprotection | 14 |
| La surveillance en Nord-Pas-de-Calais | 15 |
| La métrologie | 15 |
| La stratégie de surveillance | 16 |
| Evolution annuelle 2006 | 16 |
| Conclusion | 21 |
| 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..... | 5 |
| Figure 2 : Rayonnement α | 6 |
| Figure 3 : Rayonnement β (source : publication CEA)..... | 6 |
| Figure 4 : Rayonnement γ (source : publication CEA)..... | 6 |
| Figure 5 : Pouvoir de pénétration des rayonnements ionisants (source : publication CEA)..... | 7 |
| Figure 6 : Les différents rayonnements (source : publication CEA)..... | 7 |
| Figure 7 : Equivalence d'un becquerel (source : Société Française de Radioprotection)..... | 8 |
| Figure 8 : Temps de demi-vie de radionucléides (source : publication CEA)..... | 9 |
| Figure 9 : Sources d'exposition et effet (source publication CEA)..... | 11 |
| Figure 10 : Désintégration du radon (source IRSN)..... | 12 |
| Figure 11 : Moyenne par département des concentrations en radon dans l'air des habitations (en Bq/m ³) (source IRSN)..... | 12 |
| Figure 12 : Régions granitiques ou volcaniques émettrices de radon..... | 13 |
| Figure 13 : Seuils d'alarme CNPE de Gravelines..... | 14 |
| Figure 14 : Principe de fonctionnement de la balise..... | 15 |
| Figure 15 : Sites de surveillance..... | 16 |
| Figure 16 : Résultats de radioactivité α | 16 |
| Figure 17 : Résultats de radioactivité β | 17 |
| Figure 18 : Résultats de l'activité ¹³¹ I..... | 17 |
| Figure 19 : Résultats de l'activité radon..... | 18 |
| Figure 20 : Evolution mensuelle de l'activité du radon en 2006..... | 18 |
| Figure 21 : Profil journalier 2006 du radon..... | 19 |
| Figure 22 : Coefficients de corrélation entre sites pour l'activité Radon..... | 19 |
| Figure 23 : Résultats de radioactivité γ | 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 |

Généralités

La radioactivité, propriété naturelle de certains atomes

La radioactivité n'a pas été inventée par l'homme, c'est un phénomène naturel découvert à la fin du XIXème siècle par le physicien français Henri Becquerel.

Les planètes, l'air, l'eau, les pierres, les êtres vivants... tous les corps de la nature sont constitués d'atomes ou d'assemblages d'atomes (molécules). Un atome n'est pas indivisible et est constitué :

- d'un noyau central qui est un assemblage de protons et de neutrons. Les protons et neutrons constituent les nucléons ;
- d'un nuage périphérique composé d'un cortège d'électrons, tournant autour du noyau à des vitesses particulièrement élevées. Leur trajectoire est impossible à établir, seuls des modèles mathématiques permettent d'établir les zones les plus probables où l'on peut les trouver dans le nuage qu'ils forment autour du noyau.

Il existe une multitude d'atomes différents mais ils sont tous fabriqués à partir de protons, de neutrons et d'électrons, tous identiques.

Un élément chimique est un ensemble d'atomes comportant le même nombre de protons. Il est désigné par un symbole d'une ou deux lettres : par exemple ^1H pour l'hydrogène qui n'a qu'un proton. Les atomes présents naturellement sur la Terre appartiennent à 90 éléments chimiques comprenant de 1 à 92 protons.

Les noyaux ne sont pas uniquement constitués de protons, ils contiennent aussi des neutrons. Des atomes d'un même élément chimique comportant un nombre différent de neutrons sont des isotopes de cet élément. Par exemple, l'hydrogène possède trois isotopes : l'hydrogène léger ^1H , l'hydrogène lourd ou encore le deutérium ^2H ou D, ou encore le tritium ^3H ou T. Un isotope connu pour son utilisation dans la datation est le carbone 14, ^{14}C .

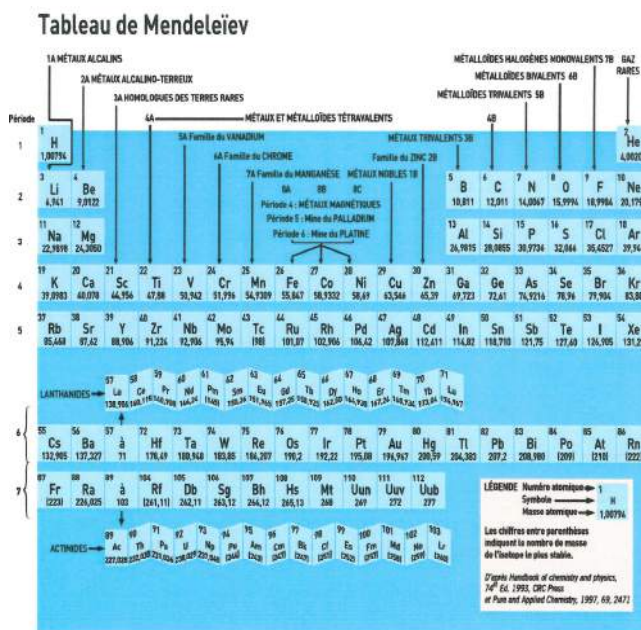


Figure 1 : Table périodique des éléments (source : publication CEA)

Les propriétés chimiques d'un atome dépendent seulement du nombre et de la disposition des électrons dans son nuage, elles sont donc identiques pour tous les isotopes d'un même élément. Cependant, la légère différence de masse de leur noyau fait que leurs propriétés physiques se différencient quelque peu.

Dans la nature, la plupart des noyaux d'atomes sont stables. Cependant, certains atomes ont des noyaux instables, ceci étant dû à un excès soit de protons, soit de neutrons, ou encore un excès des deux. Ils sont dits radioactifs et sont appelés radio-isotopes ou radionucléides.

Les noyaux d'atomes radioactifs se transforment spontanément en d'autres noyaux d'atomes, radioactifs ou non. Ainsi, de noyau radioactif en noyau radioactif, l'uranium 238 tend à se transformer en une forme stable : le plomb 206.

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 α

Le rayonnement α 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 α et se transforme en thorium 234.



Figure 2 : Rayonnement α (source : publication CEA)

La radioactivité bêta β

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

Le rayonnement β 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 β moins et se transforme en protactinium 234.

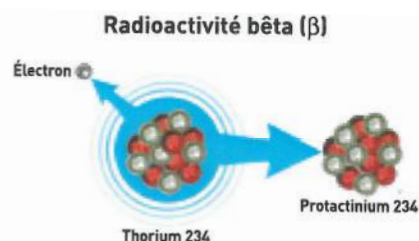


Figure 3 : Rayonnement β (source : publication CEA)

Le rayonnement β 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 β 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 β plus et se transforme en tellure 122.

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

La radioactivité gamma γ

Le rayonnement γ est une onde électromagnétique comme la lumière visible mais plus énergétique. Ce rayonnement suit souvent une désintégration α ou β . Après émission de la particule α ou β , 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 γ . Par exemple, le cobalt 60 se transforme par désintégration β en nickel 60 qui atteint un état stable en émettant un rayonnement γ .

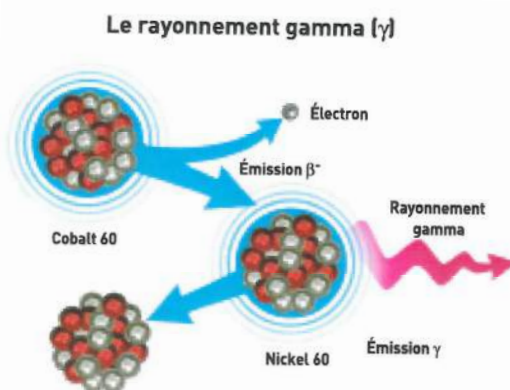


Figure 4 : Rayonnement γ (source : publication CEA)

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 γ
- les rayonnements α ou β
- les neutrons libres : indirectement ionisants (capture par noyaux, générant des rayons γ)

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.

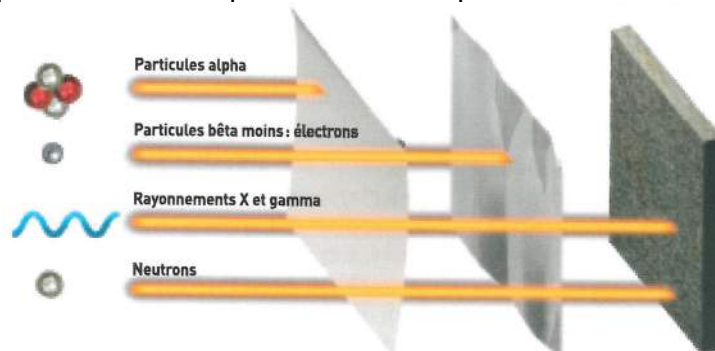


Figure 5 : Pouvoir de pénétration des rayonnements ionisants (source : publication CEA)

Les particules α ont une très faible pénétration dans l'air, une feuille de papier est suffisante pour arrêter les noyaux d'hélium. Le rayonnement β parcourt quelques mètres dans l'air, une feuille d'aluminium arrête les électrons. Les pouvoirs de pénétration les plus grands sont attribués aux rayons γ ou aux neutrons et dépendent de l'énergie du rayonnement. Une forte épaisseur de béton ou de plomb pour les rayons X ou γ , 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 6 : 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.

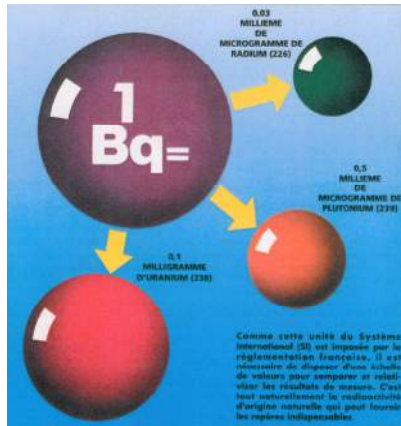


Figure 7 : Equivalence d'un becquerel (source : Société Française de Radioprotection)

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 | Curiethérapie |
| 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 8 : 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 rayonnement 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 γ , 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.



Figure 9 : Sources d'exposition et effet (source publication CEA)

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.

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}Rn , période de 56 secondes) descendant du thorium et le radon 222 (^{222}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 α 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 États-Unis, au Canada et en Grande Bretagne. En France, le cancer du poumon est responsable de 25000 décès chaque année¹. 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.

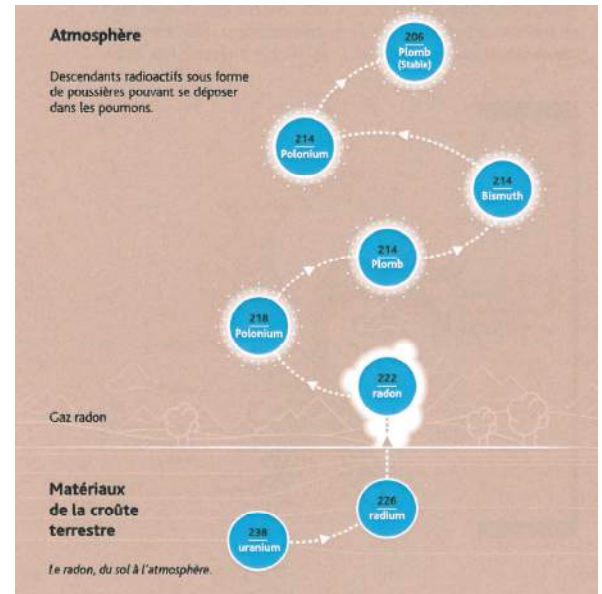


Figure 10 : Désintégration du radon (source IRSN)

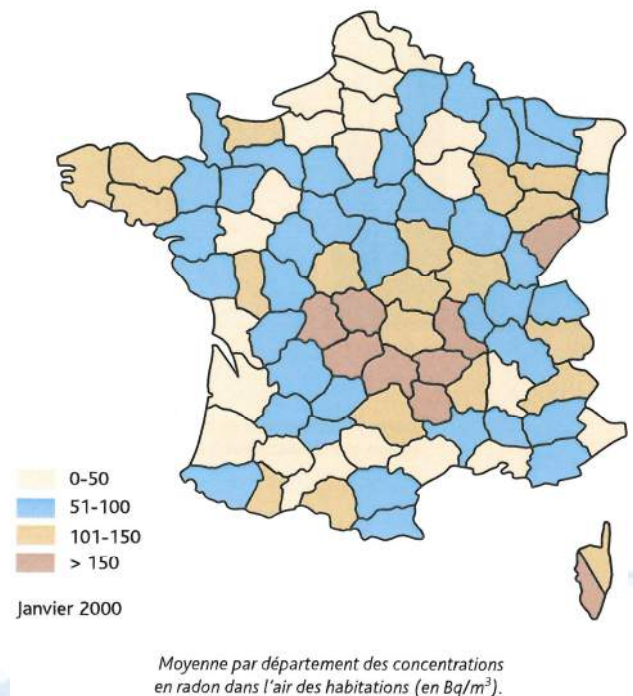


Figure 11 : Moyenne par département des concentrations en radon dans l'air des habitations (en Bq/m³) (source IRSN)

¹ 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 Bq/m^3 , supérieure à la moyenne au Royaume Uni (20 Bq/m^3) et inférieure à celle en Suède (108 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 Bq/m^3 , avec des écarts importants (0.1 Bq/m^3 à 100 Bq/m^3). Au dessus des océans, la teneur moyenne est de 2 Bq/m^3 .

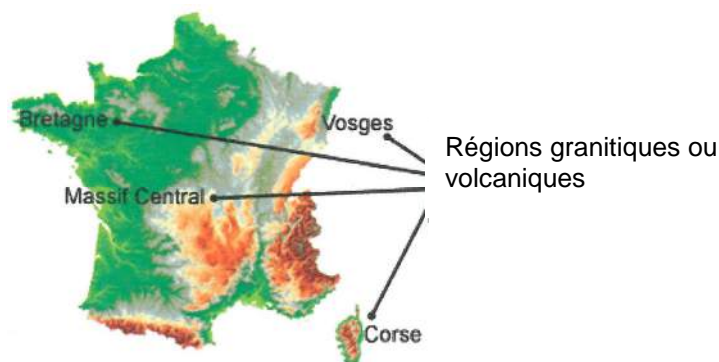


Figure 12 : Régions granitiques ou volcaniques émettrices de radon

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}I (estimée à 6.10^{20} Bq) et d' ^{129}I (estimée à 4.10^{11} Bq). En raison de sa décroissance rapide (demi-vie 8 jours), la quantité d' ^{131}I déposée au sol sur l'ensemble de la planète a actuellement disparu. Par contre, les quantités d' ^{129}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}I et sensiblement moins d' ^{129}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}I est totalement éliminé par décroissance radioactive alors que l' ^{129}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}I ont été relâchées, pour tous ces accidents, les quantités d' ^{129}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^{ème} 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/m³.

Seuils internes du CNPE de Gravelines

| Seuils | α , β et ^{131}I | γ | ^{222}Rn |
|---------|--|----------------------|------------------------|
| Seuil 1 | 3.7 Bq.m ⁻³ | 0.3 $\mu\text{Sv/h}$ | 100 Bq.m ⁻³ |
| Seuil 2 | 37 Bq.m ⁻³ | 3 $\mu\text{Sv/h}$ | 150 Bq.m ⁻³ |

Figure 13 : 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 moniteur de particules BAI 9100D développés par la société Berthold Technologies.

L'air aspiré à un débit de 25 m³ 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 (α et β). 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.

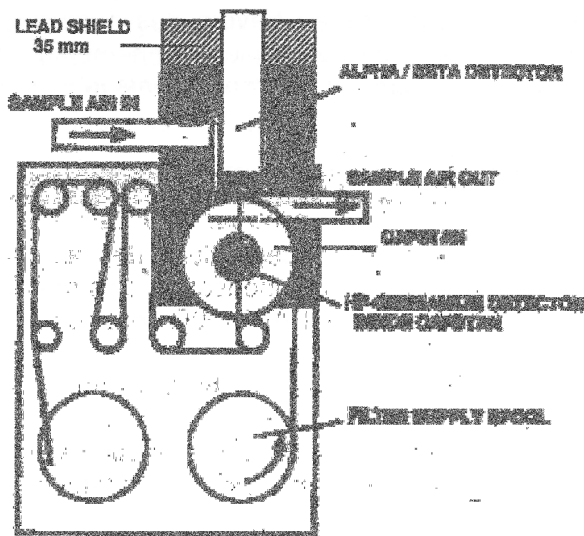


Figure 14 : Principe de fonctionnement de la balise

Le détecteur comptabilise toutes les émissions α et β 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 μ s sépare le rayonnement β du rayonnement α , la détection des pseudo-coïncidences permet d'évaluer la radioactivité naturelle. Trois valeurs sont ainsi obtenues : radioactivité α artificielle, radioactivité β 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 μ 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 α et β , la radioactivité γ ambiante, les activités radon et iode. Les sites se situent à Gravelines, Dunkerque (station de Leffrinckoucke) et Calais-Marck.
- un site à Lille (Communauté Urbaine) mesurant les radioactivités α et β , la radioactivité γ ambiante et l'activité radon.

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

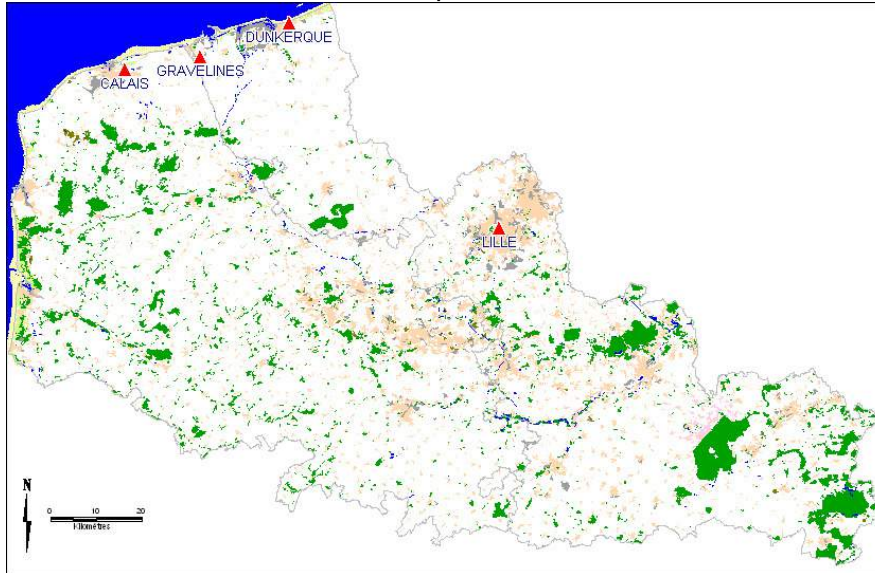


Figure 15 : Sites de surveillance

Dans le cadre de l'application du Plan de Surveillance de la Qualité de l'Air et l'optimisation du réseau fixe de surveillance, les stations de Leffrinckoucke et Calais-Marck sont déplacées et transférées respectivement sur les sites de mesure de Malo (Lycée Angelier) et de Parmentier (Ecole Parmentier, Zone de la Mi-Voix).

Evolution annuelle 2006

La radioactivité α

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

| Radioactivité α | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | Taux de fonctionnement 2006 | Max horaire 2006 |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|--|
| Dunkerque | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | 96% | 1.150 Bq.m ⁻³ , le 13 juin à 7 h TU |
| Gravelines | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | 88.5% | 1.562 Bq.m ⁻³ , le 7 juillet à 9 h TU |
| Calais | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | 96.3% | 0.819 Bq.m ⁻³ , le 21 avril à 9 h TU |
| Lille | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | 82.5% | 1.560 Bq.m ⁻³ , le 22 juillet à 11 h TU |

Figure 16 : Résultats de radioactivité α

Le seuil d'alarme du CNPE de Gravelines, fixé à 3.7 Bq.m^{-3} , n'a pas été atteint.

La radioactivité β

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

| Radioactivité β | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | Taux de fonctionnement 2006 | Max horaire 2006 |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|--|
| Dunkerque | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | 95% | 1.532 Bq.m ⁻³ , le 1 juin à 7 h TU |
| Gravelines | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | 88.5% | 2.326 Bq.m ⁻³ , le 4 juillet à 9 h TU |
| Calais | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | 96.3% | 2.062 Bq.m ⁻³ , le 4 novembre à 23 h TU |
| Lille | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | 82.4% | 1.442 Bq.m ⁻³ , le 22 juillet à 11 h TU |

Figure 17 : Résultats de radioactivité β

Le seuil d'alarme du CNPE de Gravelines, fixé à 3.7 Bq.m^{-3} , n'a pas été atteint.

L'activité volumique de l'iode ^{131}I

Les valeurs moyennes sont très inférieures à 1 Bq/m^3 .

| Activité ^{131}I | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | Taux de fonctionnement 2006 | Max horaire 2006 |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|--|
| Dunkerque | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | 96.5% | 0.068 Bq.m ⁻³ , le 19 juillet à 17 h TU |
| Gravelines | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | 91.5% | 0.027 Bq.m ⁻³ , le 19 juillet à 21 h TU |
| Calais | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | < 1 Bq/m ³ | 96.3% | 0.073 Bq.m ⁻³ , le 17 juillet à 12 h TU |
| Lille | Non recherché | | | | | | | |

Figure 18 : Résultats de l'activité ^{131}I

Le seuil d'alarme du CNPE de Gravelines, fixé à 3.7 Bq.m^{-3} , n'a pas été atteint.

L'activité volumique du radon ^{222}Rn

Peu de variations des valeurs moyennes annuelles pour le radon, indicateur de la radioactivité naturelle. 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 ²²² Rn | 2005 | 2006 | Taux de fonctionnement 2006 | Max horaire 2006 |
|----------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|--|
| Dunkerque | 2.54 Bq/m ³ | 2.66 Bq/m³ | 95.6% | 47.04 Bq/m ³ le 21 septembre à 12h TU |
| Gravelines | 2.55 Bq/m ³ | 2.38 Bq/m³ | 91.5% | 19.22 Bq/m ³ le 7 août à 8h TU |
| Calais | 2.19 Bq/m ³ | 2.21 Bq/m³ | 96.3% | 24.71 Bq/m ³ le 5 octobre à 10h TU |
| Lille | 2.10 Bq/m ³ | 2.43 Bq/m³ | 81.7% | 13.49 Bq/m ³ le 8 novembre à 10h TU |

Figure 19 : Résultats de l'activité radon

Les concentrations mensuelles maximales sont enregistrées durant les mois de janvier, septembre et octobre 2006. Le mois de janvier se caractérise par une insolation plus importante et des précipitations déficitaires (réparties sur quelques jours seulement). Les températures sont conformes aux normales saisonnières, les vents dominants sont orientés au Nord-Est et au Sud-Est et sont faibles à modérés. Les mois suivants, de février à mai, globalement pluvieux et soumis à des vents d'Ouest forts, voient les mesures d'activité du radon nettement diminuer. Elles atteignent les minima mensuels en avril. Durant la seconde moitié de l'année, on observe une nette augmentation durant les mois de septembre et octobre. Les conditions anticycloniques majoritaires relevées durant la période provoquent peu de précipitations (en septembre) et des températures moyennes de 3 à 4°C supérieures aux normales de saison (vents de secteur Sud majoritaires). L'absence de bonnes conditions de dispersion se traduit notamment par une augmentation de l'activité du radon.

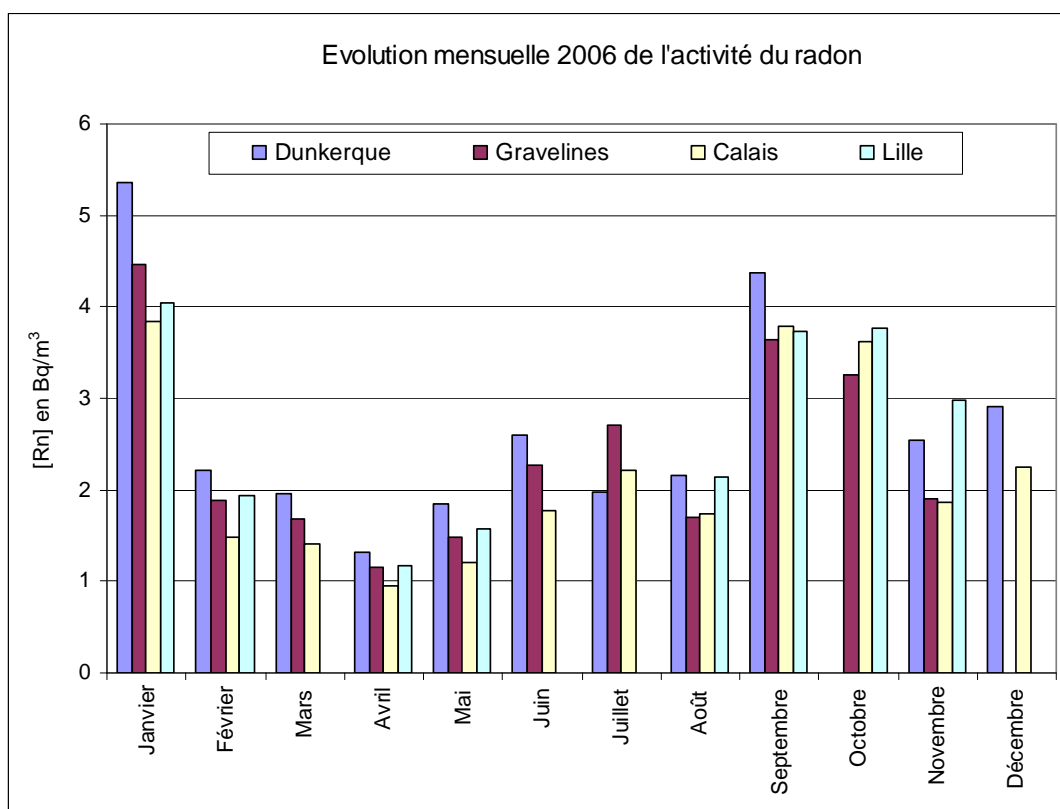


Figure 20 : Evolution mensuelle de l'activité du radon en 2006

Comme pour les polluants classiques mesurés en zone urbaine, tels que les oxydes d'azote, les profils journaliers du radon pour l'ensemble des sites de mesure montrent 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.

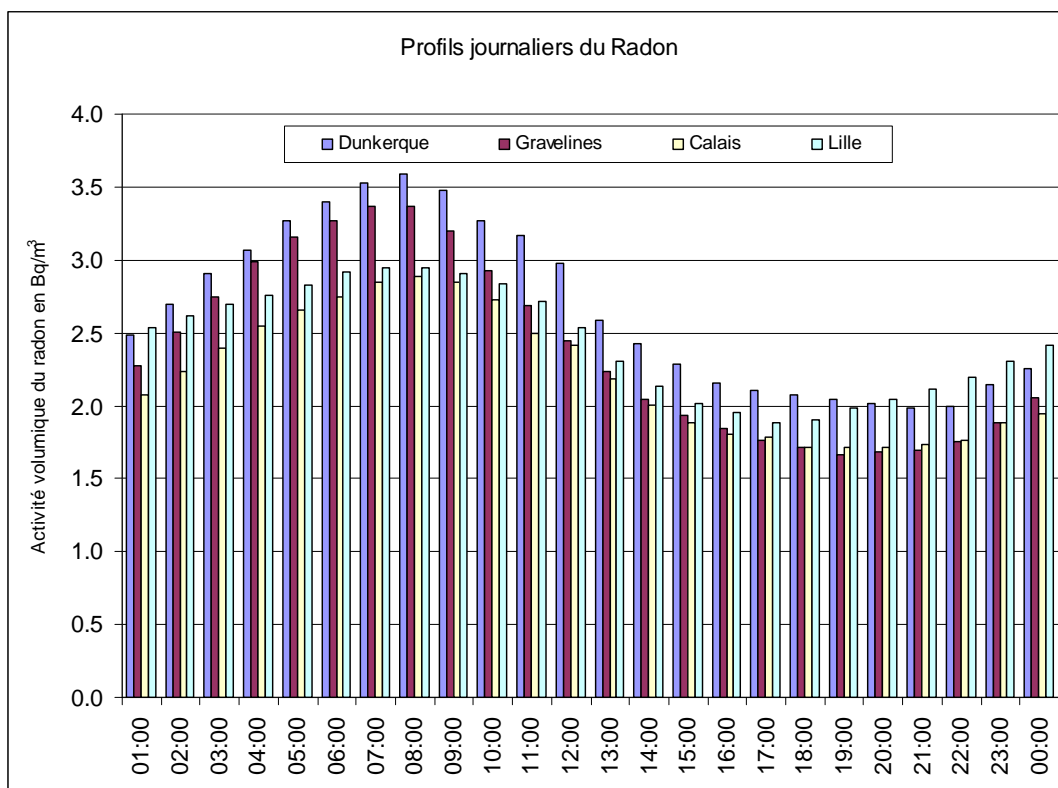


Figure 21 : Profil journalier 2006 du radon

D'une manière générale, les coefficients de corrélation établis sur la base des moyennes journalières (voir graphique en annexe 3) sont très bons pour les sites du littoral et légèrement plus faibles pour le site de Lille avec les sites littoraux. Ceci peut être en partie dû à la localisation du site de mesure lillois, situé en pleine zone urbaine et aux conditions météorologiques qui peuvent parfois être différentes entre la zone côtière et l'intérieur de la région (l'été, notamment).

| Coefficient de corrélation | Dunkerque | Gravelines | Calais | Lille |
|----------------------------|-----------|------------|--------|-------|
| Dunkerque | 1 | 0.95 | 0.93 | 0.85 |
| Gravelines | 0.95 | 1 | 0.96 | 0.87 |
| Calais | 0.93 | 0.96 | 1 | 0.88 |
| Lille | 0.85 | 0.87 | 0.88 | 1 |

Figure 22 : Coefficients de corrélation entre sites pour l'activité Radon

La radioactivité γ ambiante

On ne constate pas d'évolution du cumul annuel du rayonnement γ ambiant entre 2005 et 2006. La limite de dose efficace fixée à 1mSv/an n'est dépassée sur aucun des sites. A titre d'information, un débit de dose d'origine artificielle de 0.114 μ Gy/h observé en permanence conduirait à atteindre la valeur limite de 1 mSv par an.

| Radioactivité γ , cumul annuel | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | Taux de fonctionnement 2006 | Max horaire 2006 – débit de dose |
|---------------------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|---------------------|-----------------------------|---|
| Dunkerque | 0.683 mSv/an | 0.626 mSv/an | 0.775 mSv/an* | 0.566 mSv/an* | 0.665 mSv/an | 0.635 mSv/an | 95.3% | 0.228 μ Gy/h le 12 juillet à 18h TU |
| Gravelines | 0.710 mSv/an | 0.588 mSv/an | 0.728 mSv/an* | 0.592 mSv/an* | 0.652 mSv/an | 0.652 mSv/an | 91.4% | 0.180 μ Gy/h le 19 juillet à 22h TU |
| Calais | 0.569 mSv/an | 0.520 mSv/an | 0.451 mSv/an* | 0.407 mSv/an* | 0.407 mSv/an | NR** | 55.1% | - |
| Lille | 0.607 mSv/an | 0.668 mSv/an | NR** | NR** | 0.604 mSv/an | 0.671 mSv/an | 94.9% | 0.107 μ Gy/h le 14 juin à 13h TU |

Figure 23 : Résultats de radioactivité γ

* : résultats extrapolés à partir de 9 mois et demi de mesure

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

Conclusion

Les niveaux de radioactivité gamma ambiante restent stables par rapport aux années précédentes. Aucune radioactivité d'origine artificielle (α , β ou ^{131}I) n'a été détectée. L'activité volumique du radon est stable et conforme à la nature des sols de la région.

En 2007, l'intégration des mesures de radioactivité sous le logiciel d'exploitation des mesures XR se poursuit. La balise de surveillance de Leffrinckoucke sera déplacée et intégrée à la station urbaine de Malo (Est de l'agglomération dunkerquoise).

Le déplacement de la station de Marck vers le site urbain de l'est de l'agglomération calaisienne (Ecole Parmentier) est prévu pour 2008.

A partir du 1^{er} janvier 2008, les résultats de la surveillance de la radioactivité seront intégrés au bulletin trimestriel d'Atmo-Nord-Pas-de-Calais.

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, γ | toutes | 1 |
| Particules β | 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 α , 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 _T , recommandation CIPR 60, 1990 | w _T , 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

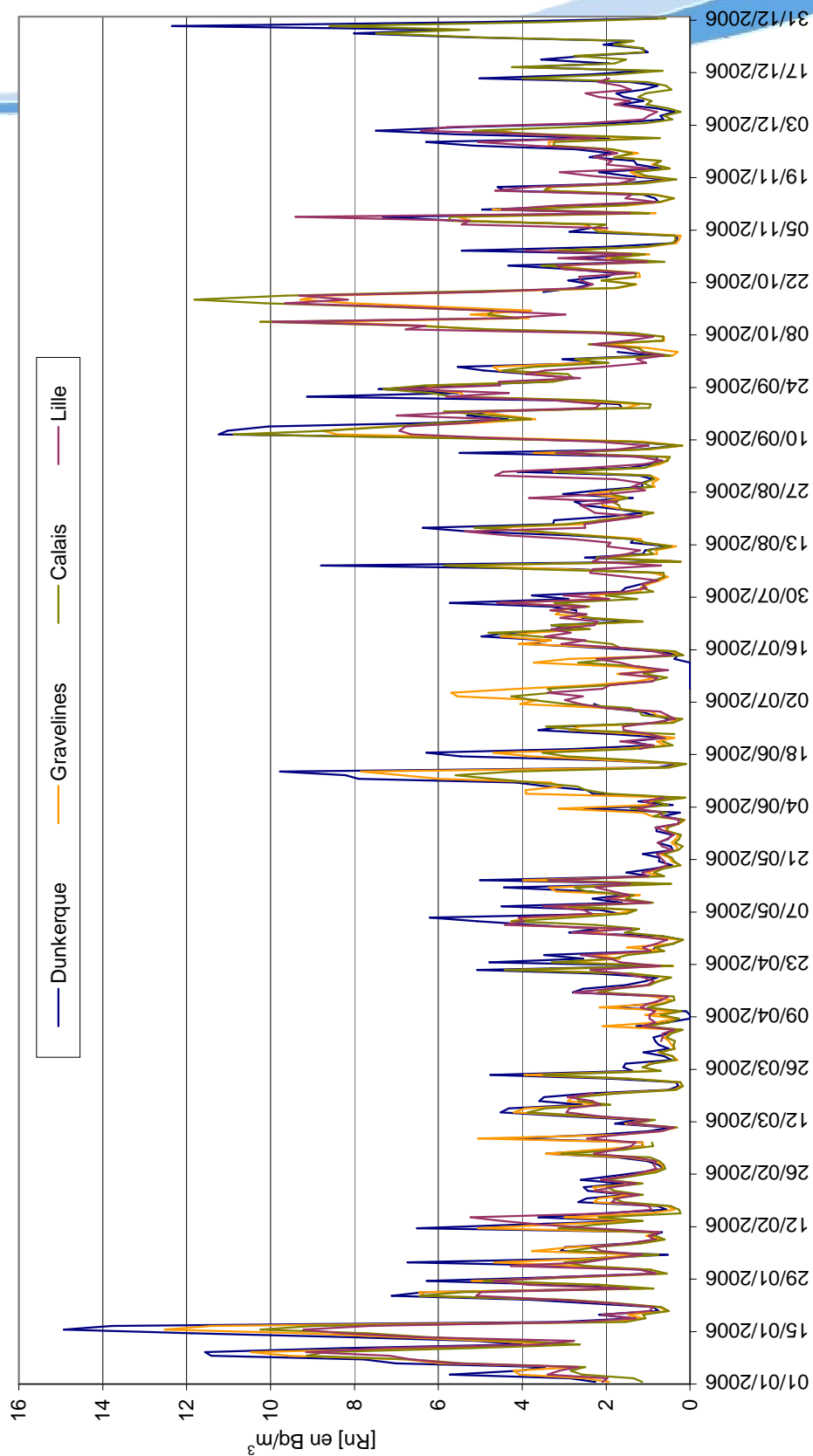
Annexe 2 : Ordres de grandeurs moyens en France

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

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 de l'activité du Radon en 2006



QUATRE SERVICES SUR QUATRE SITES



GRAVELINES

ADMINISTRATIF ET FINANCIER/RESSOURCES HUMAINES

Rue du Pont de pierre - B.P. 78
59820 GRAVELINES

administration@atmo-npdc.fr ou finances@atmo-npdc.fr



VALENCIENNES

COMMUNICATION

Zone d'activités de Prouvy-Rouvignies - B.P. 800
59309 VALENCIENNES Cedex

contact@atmo-npdc.fr



BÉTHUNE

ÉTUDES/RECHERCHE & DÉVELOPPEMENT

Centre Jean-monnet
Avenue de Paris
62400 BÉTHUNE

etudes@atmo-npdc.fr



LILLE

TECHNIQUE ET MÉTROLOGIE

189, boulevard de la Liberté
59000 LILLE Cedex

technique@atmo-npdc.fr

World Trade Center Lille
299, boulevard de Leeds
59777 EURAILLE
<http://www.atmo-npdc.fr>

N°Azur 0 810 10 59 62

PRIX D'APPEL LOCAL

N°Azur FAX 0 810 11 59 62

PRIX D'APPEL LOCAL