

# AMANDE

ACCÉLÉRATEUR POUR LA MÉTROLOGIE  
ET LES APPLICATIONS NEUTRONIQUES EN DOSIMÉTRIE EXTERNE



AMANDE est destiné à la production de neutrons monoénergétiques\* : il permettra d'étudier et de qualifier le comportement des appareils de mesure, en service ou en développement, pour la radioprotection des travailleurs susceptibles d'être exposés à des rayonnements neutroniques.

\* neutrons ayant très sensiblement la même énergie.

## FAIRE PROGRESSER LA RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS

Certains travailleurs exerçant une activité dans les domaines nucléaire, médical, aéronautique et spatial sont susceptibles d'être exposés à un rayonnement neutronique, souvent combiné à un rayonnement gamma. Cette exposition nécessite une surveillance spécifique afin de s'assurer que les doses reçues restent aussi faibles que raisonnablement possible, et en tout cas inférieures aux limites réglementaires.

Ces travailleurs exercent leur activité en zone « contrôlée », zone dans laquelle l'environnement de travail, l'air ambiant et les personnes sont surveillés du point de vue radiologique par des appareils de mesure - des spectromètres et des dosimètres - qui détectent les rayonnements et déterminent les doses délivrées, en fonction du type de rayonnement : alpha, bêta, gamma ou neutron.

Évaluer les mesures de radioprotection prises sur les lieux de travail, étudier, valider et étalonner les appareils de mesure des rayonnements font partie des missions de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN).

## TENIR COMPTE DE L'ÉNERGIE DES NEUTRONS

La mesure des doses dues au rayonnement neutronique est techniquement difficile, les neutrons étant des particules neutres avec des énergies sur une gamme très étendue. Or, c'est justement de l'énergie que dépendent les effets biologiques des neutrons, puisqu'elle détermine non seulement leur capacité à pénétrer la matière mais aussi le type d'interactions qu'ils produisent avec les tissus biologiques.

Les appareils de mesure utilisés pour la surveillance des travailleurs n'ont pas la capacité de distinguer l'énergie des neutrons, or ils devraient la prendre en compte pour en connaître les effets biologiques. En pratique, il est donc nécessaire d'évaluer le comportement de ces appareils de mesure (en service ou en développement) en fonction de l'énergie des neutrons.

C'est l'objectif visé par l'IRSN en faisant l'acquisition de l'accélérateur AMANDE : ce nouvel équipement viendra compléter les dispositifs existants du hall expérimental CEZANE (deux accélérateurs de particules d'ancienne génération et un irradiateur) situé dans le Centre d'études de Cadarache et déjà dédié aux recherches en dosimétrie.

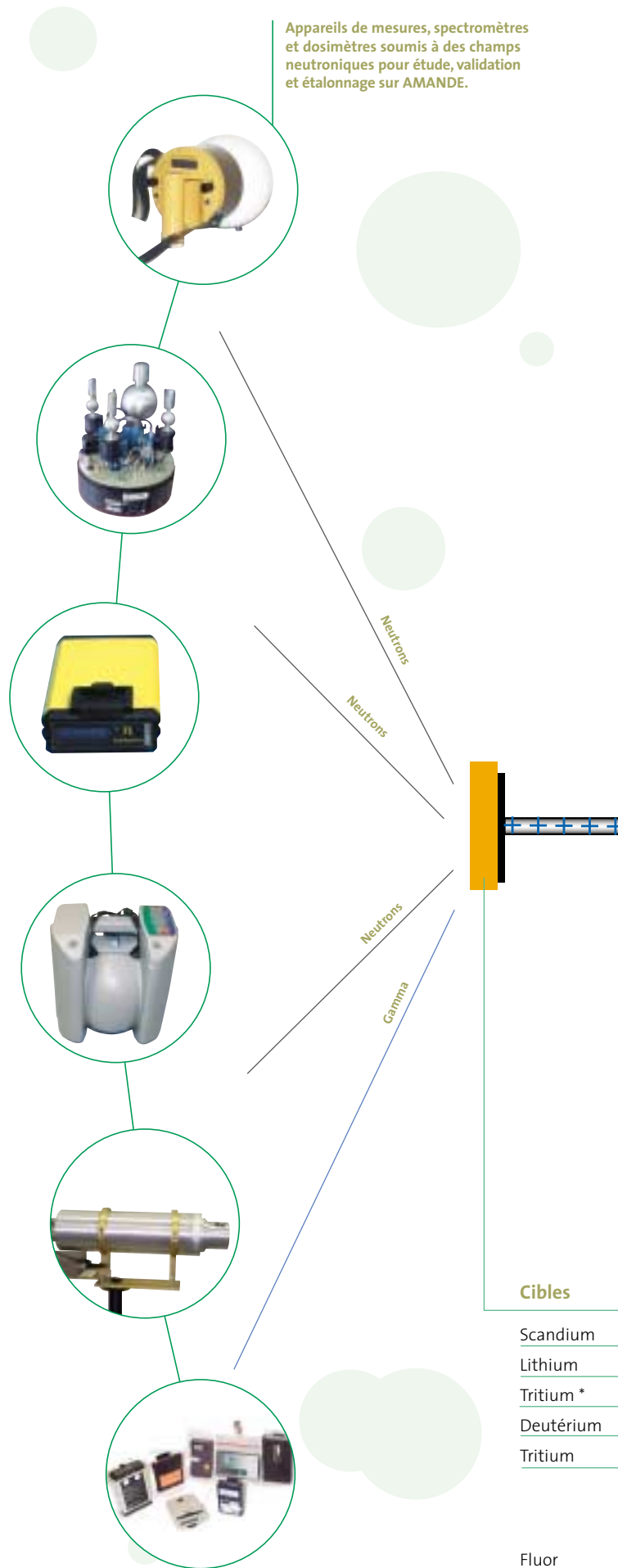
## QUALIFIER DES APPAREILS DE MESURE DE PLUS EN PLUS SENSIBLES

Les normes de plus en plus strictes de radioprotection des travailleurs nécessitent de disposer d'appareils de mesure de plus en plus sensibles et fiables.

La qualification des appareils de mesure existants pour assurer la surveillance des travailleurs exposés aux neutrons ainsi que les recherches menées pour améliorer ces appareils constituent des enjeux importants pour les années à venir, tant en France que sur le plan international.

AMANDE répondra à ce progrès nécessaire en étant capable de créer des champs de rayonnements neutroniques monoénergétiques (c'est-à-dire ayant très sensiblement la même énergie) dont le flux et l'énergie seront définis avec une grande précision.

Appareils de mesures, spectromètres et dosimètres soumis à des champs neutroniques pour étude, validation et étalonnage sur AMANDE.



## PRODUIRE DES NEUTRONS MONOÉNERGÉTIQUES

Pour déterminer le plus finement les caractéristiques des détecteurs de neutrons, la méthode consiste à utiliser des neutrons monoénergétiques afin de définir et de vérifier le comportement de ces instruments pour plusieurs énergies spécifiques, réparties sur une gamme étendue (entre 2 keV et 20 MeV\*).

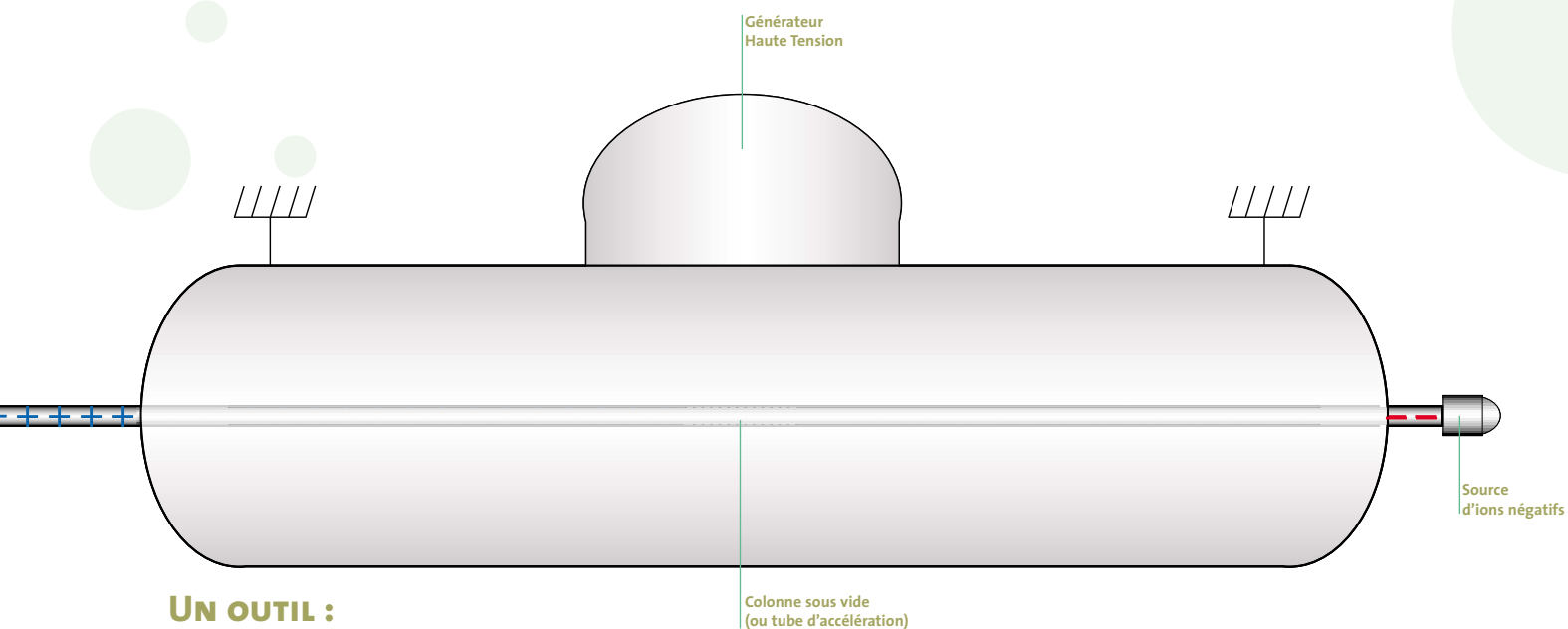
Les neutrons monoénergétiques sont produits à l'aide d'accélérateurs d'ions à tension continue. Ceux-ci ont pour rôle d'amener des particules chargées à une énergie bien définie et de les envoyer sur une cible très mince où leur interaction avec les atomes de cette cible va générer les neutrons.

Les neutrons produits sur la cible par un faisceau de particules chargées incidentes auront tous, à un angle

donné, la même énergie. Il importe donc que le faisceau de particules accélérées ait une énergie la mieux définie possible.

Les accélérateurs à tension continue sont les plus simples et les plus aptes à répondre à ces exigences. Les particules chargées sont accélérées par une ou plusieurs différences de potentiel entre la source d'ions (leur lieu de création) et la cible.

Durant leur trajet, elles circulent dans des tubes sous vide. Un ou plusieurs aimants d'analyse (non représentés sur le schéma) sont placés en sortie de l'accélérateur et permettent de ne sélectionner que les particules ayant l'énergie désirée.



### UN OUTIL : L'ACCÉLÉRATEUR D'IONS

Un accélérateur d'ions est constitué d'une **colonne sous vide (ou tube d'accélération)** dans laquelle sont accélérées des particules chargées. Cette colonne contient un gaz diélectrique (en l'occurrence de l'hexafluorure de soufre, SF<sub>6</sub>) qui assure l'isolation électrique.

À une extrémité de cette colonne se trouve la **source d'ions** qui crée les particules à accélérer ; à l'autre extrémité est placée la **cible** où l'interaction des particules accélérées avec les atomes de cette cible génère les **neutrons**.

## UNE INSTALLATION CONÇUE POUR LA MÉTROLOGIE

AMANDE permettra d'améliorer à double titre le caractère monoénergétique des neutrons produits : tout d'abord grâce aux progrès technologiques sur cet accélérateur de type « Tandem », notamment son excellente stabilité, mais également de par la conception du bâtiment accueillant l'accélérateur.

En effet, la très faible présence de béton dans la structure du bâtiment diminuera considérablement

le « bruit de fond » généré par les neutrons diffusant sur les parois.

Les performances de l'installation AMANDE vont au-delà des préconisations des normes internationales en vigueur et anticipent sur les évolutions de la réglementation, appelée à devenir de plus en plus restrictive.

\* eV, Electronvolt

Unité de mesure d'énergie équivalant à l'énergie acquise par un électron accéléré sous une différence de potentiel de 1 volt dans le vide, et valant  $1,602 \cdot 10^{-19}$  joule.

## UN NOUVEL ACCÉLÉRATEUR À TENSION CONTINUE

Les accélérateurs à tension continue accélèrent n'importe quel type de particules chargées, fournissent des faisceaux avec une faible dispersion de l'énergie, délivrent des courants continus ou pulsés et permettent de changer aisément l'énergie des particules accélérées.

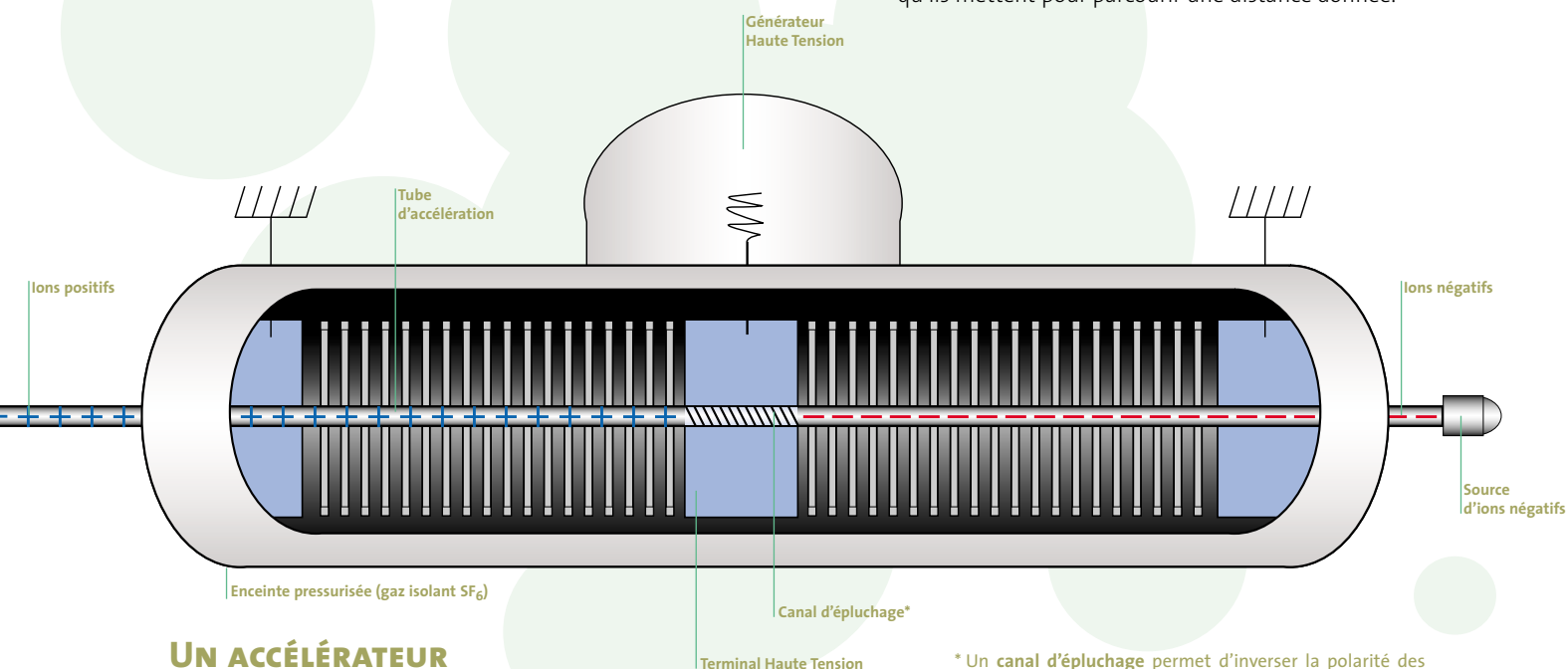
Au-delà de son utilisation pour l'étude des neutrons, AMANDE permettra également de produire des rayonnements gamma de référence de haute énergie.

AMANDE est un tandetron, c'est-à-dire que sa haute tension de 2 MV est établie à l'aide d'un système de redressement de courant, sans aucun transport mécanique de charges, d'où d'excellentes caractéristiques du faisceau en énergie. Par exemple, AMANDE sera capable de délivrer des faisceaux de protons et de deutons dont l'énergie, comprise entre 100 keV et 4 MeV, sera déterminée avec une précision inférieure à 500 eV.

Le faisceau de particules chargées pourra être pulsé de manière à effectuer des mesures de temps de vol des neutrons : c'est-à-dire que leur vitesse - et donc leur énergie - sera déterminée par la mesure du temps qu'ils mettent pour parcourir une distance donnée.



Exemple d'accélérateur « Tandem - Tandetron ».



## UN ACCÉLÉRATEUR DE GÉOMÉTRIE « TANDEM »

\* Un canal d'épluchage permet d'inverser la polarité des ions. Ainsi, les deux extrémités de l'accélérateur sont à la masse et l'installation demande une haute tension plus faible (les particules étant accélérées deux fois par la même différence de potentiel).

## PRODUIRE DES NEUTRONS MONOÉNERGÉTIQUES SUR UNE GAMME ÉTENDUE

Faisceaux de particules	Énergie des neutrons recommandée par les normes internationales
protons	2 et 24 KeV
protons	144, 250 et 565 KeV
protons	1,2 et 2,5 MeV
deutons	2,8 et 5 MeV
deutons	14,8 et 19 MeV
Faisceaux de particules	Énergie des gamma
protons	7 MeV

Seules certaines réactions sont susceptibles de délivrer des neutrons monoénergétiques. Elles sont pour la plupart basées sur l'interaction entre des protons (noyau de l'hydrogène), des deutons (noyau du deutérium) et les noyaux de quelques éléments tels que le cuivre, le scandium, le lithium, le deutérium ou le tritium.

Ce sont ces éléments qui composent les « cibles » en sortie de l'accélérateur de particules. Ces cibles sont toutes très minces, de l'ordre de quelques  $\mu\text{m}$  d'épaisseur, sur une surface de quelques centimètres de diamètre.

\* Des différentes cibles utilisées pour produire des neutrons, seul le tritium est radioactif. C'est un gaz, isotope de l'hydrogène, qui se forme en très grande quantité et de manière naturelle dans les hautes couches de l'atmosphère par interaction avec les rayonnements cosmiques. Il est également produit dans les réacteurs nucléaires.

L'accélérateur AMANDE viendra compléter une installation existante du Laboratoire d'études et de recherches en dosimétrie externe de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, à savoir le hall expérimental CEZANE. Déjà consacré à des activités de recherche et d'expertise en métrologie et dosimétrie, CEZANE comporte deux accélérateurs d'ions d'ancienne génération et un irradiateur (sources isotopiques). La présence de substances radioactives (cibles de tritium, mais également sources radioactives scellées utilisées pour l'étalonnage et le contrôle des équipements) fait de l'installation conjointe CEZANE et AMANDE une ICPE\*. En tant que telle, les modifications sur CEZANE (ICPE déjà autorisée) et l'ajout d'AMANDE sont soumises à autorisation préfectorale.

## UNE ICPE SOUMISE À AUTORISATION PRÉFECTORALE

### L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Comme pour toute installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE), notamment celles implantées sur le site du CEA de Cadarache, l'IRSN prendra des mesures pour réduire les impacts liés à l'exploitation de ses installations dédiées aux études de dosimétrie.

#### L'impact sur le paysage, la faune et la flore

L'implantation d'un nouveau bâtiment à proximité de l'installation existante abritant des accélérateurs nécessitera un déboisement et un défrichage sur environ 1 200 m<sup>2</sup> sans altérer pour autant l'aménagement architectural de l'ensemble de la zone.

AMANDE, tout comme l'installation CEZANE existante, émet un rayonnement neutronique à proximité du bâtiment lorsqu'il est en utilisation.

Ce rayonnement qui reste modéré et surveillé, n'est pas susceptible de provoquer des effets observables sur la faune et la flore.



#### Les rejets

Les installations CEZANE et AMANDE ne généreront aucun effluent chimique ou radioactif pouvant altérer les eaux souterraines et de surface. Les seuls rejets atmosphériques seront constitués de rejets de tritium dont la quantité maximale est estimée à 12 GBq par an. Au cours de l'opération de maintenance annuelle d'AMANDE, c'est-à-dire à l'ouverture de l'enceinte de l'accélérateur, une quantité résiduelle, de l'ordre de 2 kg, d'hexafluorure de soufre - ou SF<sub>6</sub> - (qui est un gaz pouvant contribuer à l'effet de serre), pourra être libérée à l'extérieur du bâtiment, malgré le dispositif de stockage prévu pour récupérer le gaz.

### LA PRISE EN COMPTE DES RISQUES

Les conséquences sur l'environnement ont été étudiées pour différents types d'accidents survenant dans CEZANE ou AMANDE : incendie dans les installations, rupture brutale d'une capacité contenant un gaz sous pression (principalement de l'hexafluorure de soufre, et, dans une moindre mesure, de l'hydrogène), écrasement d'une source radioactive scellée. Le risque sismique a lui aussi été particulièrement examiné, la région de Cadarache ayant un niveau de sismicité relativement élevé.

Les conséquences radiologiques hors du site CEA de Cadarache ont ainsi été calculées, notamment pour deux scénarios accidentels particuliers : incendie entraînant le rejet de la totalité du tritium présent dans CEZANE et AMANDE et écrasement de la source radioactive scellée de plus forte activité (présente dans l'installation existante CEZANE). Dans les deux cas, la dose que recevrait une personne exposée à proximité du site CEA de Cadarache reste très inférieure à

la limite de dose annuelle fixée par la réglementation pour les situations non accidentelles.

En cas de séisme majeur provoquant le scénario accidentel étudié, les conséquences ne seraient pas plus importantes. Les installations CEZANE et AMANDE ne sont donc pas susceptibles d'entraîner, en cas d'accident, de conséquences graves sur l'environnement, la sécurité du public ou des biens, qui nécessiteraient des mesures de protection des personnes prises en urgence.

Afin de limiter la probabilité de survenue d'un accident, des dispositions préventives sont retenues pour CEZANE et AMANDE. Ces dispositions portent principalement sur le risque d'incendie, le risque de fuite d'hexafluorure de soufre, la gestion des substances radioactives, et pour ce qui concerne AMANDE, la prise en compte des règles parasismiques les plus récentes, exigées par la réglementation, pour la construction du nouveau bâtiment.

\* Installation classée pour la protection de l'environnement.

# L'IRSN ET LA DOSIMÉTRIE DES NEUTRONS

## LES MISSIONS DE L'IRSN



L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) est le premier expert français dans le domaine des risques et le leader européen de la recherche sur le risque nucléaire. Son champ d'action porte principalement sur :

- la sûreté des installations et des transports de matières radioactives et fissiles ;
- la protection de l'homme et de l'environnement contre les rayonnements ionisants ;
- la protection et le contrôle des matières nucléaires et des produits susceptibles de concourir à la fabrication d'armes ;
- l'organisation et l'entraînement à la gestion de crise ;
- la protection des installations et des transports contre les actions de malveillance.

L'Institut assure également une mission d'information du public et participe à de nombreuses actions internationales, tant en matière de recherche qu'en matière d'expertise.

Cet établissement public industriel et commercial (EPIC) est placé sous la tutelle conjointe des ministres chargés de la Défense, de l'Environnement, de l'Industrie, de la Recherche et de la Santé.

Il rassemble plus de 1 500 experts et chercheurs qui couvrent des disciplines très diverses, depuis les sciences de la vie jusqu'à la technologie des réacteurs.

Dans le domaine de la radioprotection des travailleurs, l'IRSN a pour mission d'évaluer les mesures de radioprotection prises sur les lieux de travail, d'étudier, de valider et d'étalonner les appareils de mesure des rayonnements.

## LES PERSPECTIVES OFFERTES PAR L'ACQUISITION D'AMANDE

L'accélérateur AMANDE constituera la clef de voûte du système de références neutroniques pour la dosimétrie et la métrologie, faisant de l'IRSN un acteur de premier plan au niveau national, européen et international, pour la métrologie et la dosimétrie des neutrons.

Cet accélérateur offrira aussi de nouvelles perspectives en recherche et expertise, en partenariat avec des organismes extérieurs, et permettra de consolider la position de l'IRSN dans le domaine complexe de la protection des personnes contre les dangers des rayonnements neutroniques.

## LES ACCÉLÉRATEURS À TENSION CONTINUE DANS LE MONDE

Utilisés pour la recherche dans des domaines variés - analyse par microsonde, caractérisation des matériaux, neutronique, mixage ionique, physique fondamentale -, les accélérateurs à tension continue présents dans le monde sont, pour la plupart, accessibles à l'ensemble de la communauté scientifique. Certains de ces accélérateurs sont dédiés à la métrologie et la dosimétrie des neutrons :

### Aux États-Unis

- Radiological Research Accelerator Facility (État de New-York) ;
- University of Massachusetts Lowell ;
- Department of Physics (Ohio University).

### En Europe

- National Physical Laboratory (Londres, Grande-Bretagne) ;
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Braunschweig, Allemagne) ;
- Bruyères-le-Châtel (CEA/DAM-Ile-de-France, France) ;
- Institute for Reference Materials and Measurements (Geel, Belgique) ;
- Jozef Stefan Institute (Ljubljana, Slovénie).

### En Russie

- Institute of Physics and Power Engineering (Obninsk, Russie).

### En Asie

- Japan Atomic Energy Research Institute (Mito, Japon) ;
- Electrotechnical Laboratory (Tsukuba, Japon) ;
- Department of Nuclear Engineering of Tohoku University (Sendai, Japon) ;
- Tokyo Institute of Technology (Tokyo, Japon) ;
- China Institute of Atomic Energy (Pékin, Chine).