

Identifier et prévenir les risques  
liés au stockage géologique  
de déchets nucléaires

# Station expérimentale de l'IRSN à Tournemire

**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# Tournemire, pourquoi ?

*Un terrain idéal pour  
étudier le comportement  
d'une roche argileuse*



Surveillance de l'instrumentation dans la galerie Est 2003

## Intérêt de la station expérimentale de Tournemire pour l'IRSN ?

L'ancien tunnel ferroviaire de Tournemire, long de 1 885 mètres, traverse une roche composée de minéraux argileux, de carbonates et de quartz, appelée argilite. Formée il y a près de 180 millions d'années, cette roche a une épaisseur de 250 mètres. Elle est encadrée par des roches calcaires. Du fait de ses caractéristiques, l'argilite de Tournemire présente de nombreuses analogies avec la formation argileuse étudiée par l'Andra sur le site de Meuse/ Haute-Marne. Elle permet ainsi à l'IRSN d'acquérir et de tester les connaissances et les méthodes nécessaires à son expertise



de la sûreté de l'installation de stockage de déchets radioactifs en milieu géologique profond (Cigéo) développée par l'Andra. La présence d'un ancien tunnel ferroviaire offre un accès à la roche dans des conditions de coûts et avec des contraintes d'exploitation particulièrement avantageuses. L'ancienneté de ce tunnel, percé à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, permet par ailleurs d'observer les évolutions engendrées par un ouvrage souterrain creusé dans une formation argileuse sur une durée de plus d'un siècle.

Acquise par l'IRSN en 1992, la station expérimentale de Tournemire constitue aujourd'hui, avec les laboratoires de Mol (Belgique), du Mont-Terri (Suisse) et de Meuse/ Haute-Marne (laboratoire Andra dans l'est de la France, près du village de Bure), l'un des quatre laboratoires de recherche souterrains dans l'argile en Europe.

## Quelles recherches pour l'IRSN ?

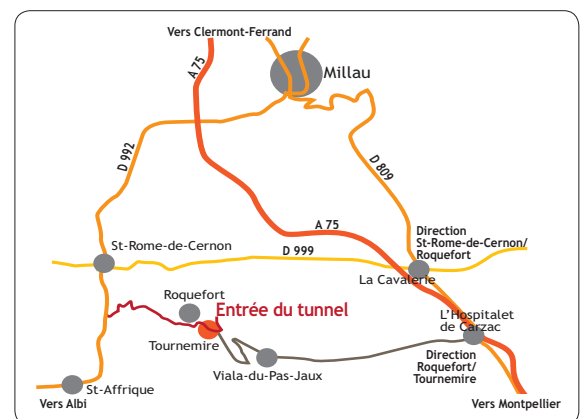
L'IRSN évalue la capacité de confinement de la roche argileuse en conduisant des travaux expérimentaux à Tournemire, qui portent sur :

- la caractérisation des mécanismes responsables du transport de l'eau porale et des espèces dissoutes ;
- les effets du creusement et de l'exploitation des ouvrages souterrains sur les propriétés de confinement ;
- les effets liés aux interactions de la roche avec les matériaux exogènes tels que le béton ou des composés métalliques.

Par ailleurs, en lien avec les enjeux de fermeture et surveillance d'une installation de stockage géologique, la station expérimentale de Tournemire est également utilisée pour étudier :

- la performance de composants essentiels à la sûreté à long terme de Cigéo tels que les dispositifs de scellements ;
- les moyens d'observation et de surveillance de Cigéo pendant son exploitation.

## Carte d'identité de la station expérimentale de Tournemire

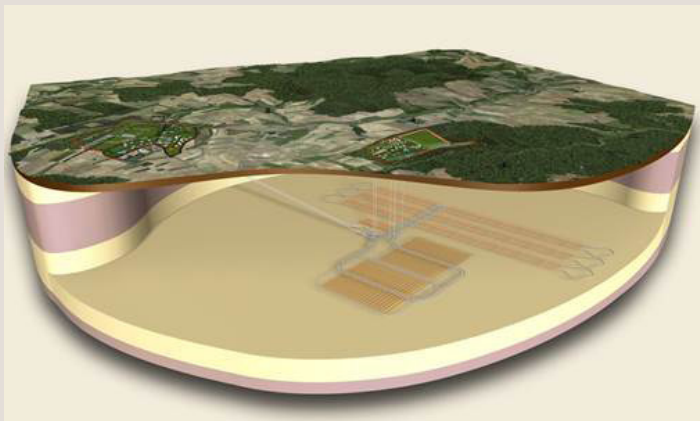


**La localisation :** dans le sud de l'Aveyron, en bordure du Massif central.

**La couche d'argilite :** 250 m d'épaisseur, déposée au Jurassique il y a 180 millions d'années, surmontée d'une couche calcaire de 250 m d'épaisseur.

**Le tunnel :** creusé entre 1882 et 1888, long de 1 885 m, acquis par l'IRSN en 1992.

**Les ouvrages :** six galeries totalisant plus de 285 m de longueur, plus de 350 forages.



# L'IRSN et le stockage géologique

*Un programme expérimental pour  
acquérir des connaissances, évaluer et  
tester des méthodes, former des experts.*

## Le contexte national

En France, la responsabilité de concevoir et de réaliser un stockage géologique de déchets nucléaires de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MAVL) a été confiée à l'Andra. En application de la loi du 26 juillet 2016, l'instruction de la demande d'autorisation de création de l'installation Cigéo en Meuse/Haute-Marne est prévue à partir de 2019, avec un démarrage d'une phase industrielle pilote en 2025.

En France, le concept de sûreté d'un stockage géologique repose notamment sur le confinement efficace des matières radioactives assuré par le milieu géologique. En particulier, le confinement offert par la roche argileuse devra permettre de limiter le transfert de la radioactivité vers les écosystèmes et ainsi prévenir les risques à long terme pour l'homme et l'environnement.

### Les collaborations scientifiques

#### UNIVERSITÉS ET ÉCOLES SUPÉRIEURES

Géosciences Montpellier, GIS (Nîmes), IC2MP (Poitiers), IMFT (Toulouse), LPG (Nantes), Mines Paris Tech, Paris VI (Pierre et Marie Curie), Paris XI (Orsay), Ponts Paris Tech, UPPA (Pau), Bern (Suisse), Helsinki (Fi)

#### ORGANISMES DE RECHERCHE

BRGM, CEA, CNRS, LCPC, Mines ParisTech, Ponts ParisTech.

#### PROJET FÉDÉRATEUR NEEDS MILIEUX POREUX

Une collaboration avec plusieurs équipes du CNRS (CEREGE, IMPMC, ENS, GeoRessources, IMFT, LFCR, ICB).

#### AGENCES ET CONSORTIUMS INTERNATIONAUX

AIEA, CCSN (Canada), consortiums DECOVALEX et Mont Terri (Suisse).

#### ORGANISME EXPERT EN MATIÈRE DE RISQUES NUCLÉAIRES

Bel V (Belgique)

#### PROJETS EUROPEENS

JOPRAD, SITEX-II, MIND, Modern2020, CEBAMA, BEACON

## Le rôle de l'IRSN

Au cours du processus encadré par la loi de 2006, l'IRSN a la charge d'évaluer, pour le compte des autorités, la sûreté du projet développé par l'Andra. Pour assurer sa mission et mener à bien une expertise techniquement crédible et indépendante, l'IRSN se doit d'acquérir des connaissances spécifiques et de développer et maintenir ses compétences. La station expérimentale de Tournemire, à travers l'ensemble des dispositifs techniques et des collaborations scientifiques mis en œuvre, permet d'atteindre ces objectifs.



# Un tunnel, six galeries

*Une station expérimentale  
intégralement dédiée à la recherche  
scientifique et technique.*



*Réalisation d'un forage horizontal pour la mise en place d'une instrumentation.*

## La station expérimentale

Au total, six galeries totalisant plus de 285 m de longueur et plus de 350 forages ont été creusés dans la station expérimentale depuis 1992. Des instruments de mesure sont mis en place et des techniques d'observation mises en

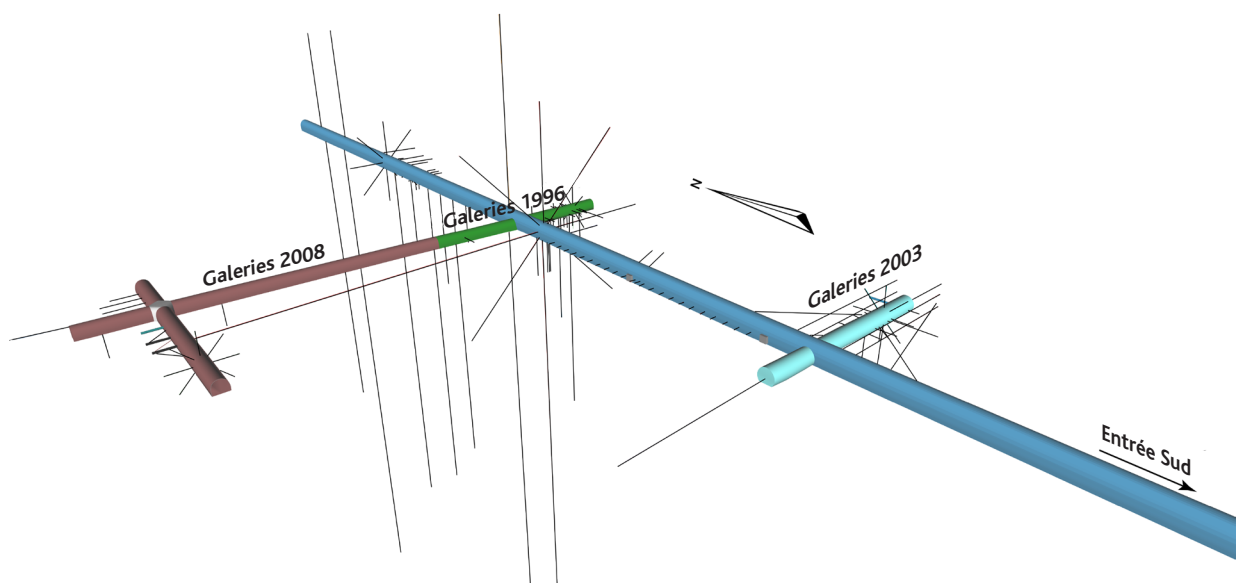
œuvre pour étudier l'argilite et son comportement, l'eau qu'elle contient et sa vitesse de déplacement, les perturbations qu'elle est susceptible de subir dans un stockage, pour quantifier les performances des ouvrages de fermeture d'un stockage, et plus récemment pour tester les moyens de surveillance adaptés.

Une partie des données acquises dans le cadre des expérimentations est utilisée pour développer et valider les modèles numériques utilisés par l'IRSN et ainsi être en mesure d'expertiser l'évaluation de sûreté présentée par l'Andra pour l'installation de stockage géologique qu'elle développe.

## Un usage uniquement scientifique

La station expérimentale de Tournemire a vocation à n'être utilisée qu'à des fins de recherche scientifique et technique. Elle n'est en aucun cas destinée à accueillir un jour des déchets radioactifs. Par ailleurs, aucune expérience nécessitant l'injection de traceur radioactif n'est réalisée au sein de la station expérimentale.

*Schéma 3D de la station expérimentale.*





Mesures géophysiques destinées à détecter les failles et les fractures.

# Le cadre géologique du secteur de Tournemire

*Un bloc formé de couches sub-horizontales et délimité par plusieurs failles et fractures.*

## Contexte géologique

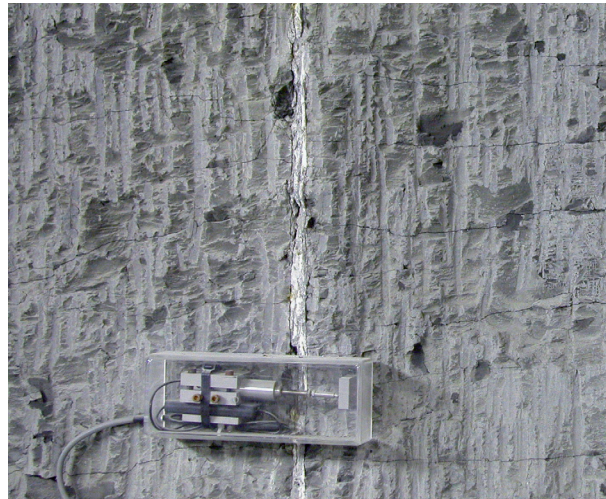
Tournemire est situé en bordure du Massif central dans le Sud Aveyron. La couche argileuse s'est déposée en milieu marin il y a environ 180 millions d'années au Jurassique inférieur (Toarcien et Domérien). Elle est délimitée au nord par la faille du Cernon, d'échelle régionale, et recoupée par de nombreuses failles et fractures plus locales.

## Des fractures dans une roche argileuse ?

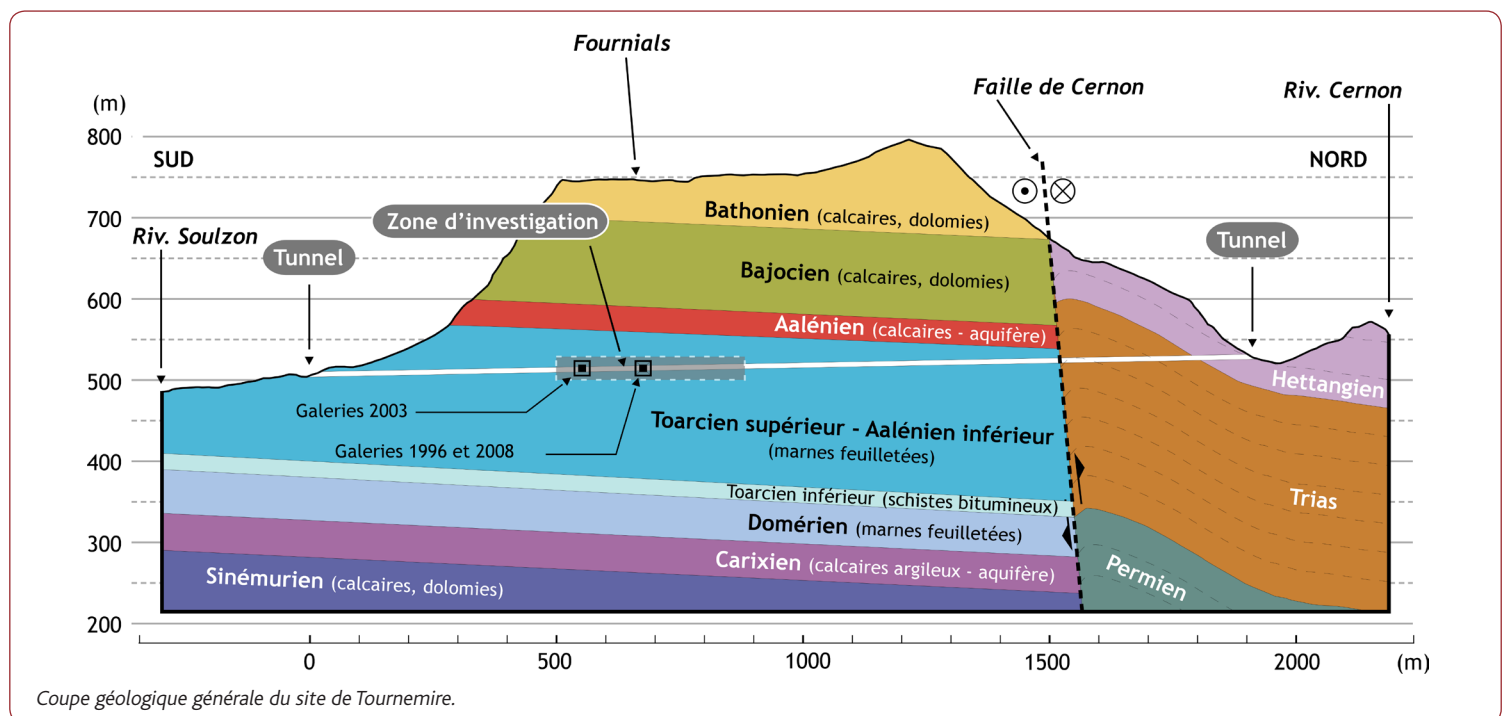
Les roches argileuses sont de manière générale moins propices aux phénomènes de fracturation que d'autres types de roche (calcaires, granites...).

Les observations effectuées dans la station de Tournemire permettent toutefois de mettre en évidence des zones homogènes et des zones fracturées de différentes tailles, avec des failles et fractures formées il y a 40 - 50 millions d'années (formation de la chaîne des Pyrénées). La détection de ces

fractures et leur caractérisation sont nécessaires à l'évaluation des propriétés de confinement, car elles peuvent jouer un rôle de chemin préférentiel pour le transfert de l'eau au travers de la couche argileuse.



Suivi de l'ouverture d'une fissure d'origine tectonique.



# Quelles sont les propriétés de la roche ?



*Evaluer la capacité de confinement de l'argilite : un enjeu majeur de la sûreté à long terme d'un stockage géologique.*

## L'argilite, un milieu vraiment imperméable ?

La très faible teneur en eau (environ 10% en volume) et la petite taille des pores (inférieure à la centaine de nanomètres) des roches argileuses indurées constituent un milieu très peu perméable où les écoulements d'eau, en l'absence de fracturation, sont extrêmement faibles. Dans ces conditions, le transfert des solutés doit se produire essentiellement par diffusion moléculaire.

Les temps de résidence des eaux contenues dans l'argilite de Tournemire (eaux porales) ont pu être déterminés par l'analyse de tests hydrauliques et de profils de traceurs naturels obtenus sur l'épaisseur de la couche argileuse. Ces techniques confirment que l'eau circule très lentement dans la roche (de l'ordre du cm par million d'années), au point de pouvoir être considérée comme immobile à l'échelle de temps humaine. Elles confirment que la diffusion y est bien le mode de transport dominant. Localement, des circulations plus rapides sont observées dans des fractures où l'eau collectée, plus mobile, provient d'échanges avec les aquifères calcaires encadrants. Le prélèvement des eaux circulant dans ces fractures et l'analyse de leur composition chimique et isotopique renseignent les chercheurs de l'IRSN sur leur origine, leur mode et leur vitesse de transfert. A titre de comparaison, les eaux circulant dans les fractures de la roche argileuse se déplacent à des vitesses de l'ordre du kilomètre par million d'années.

## Le comportement de la roche face aux sollicitations liées au stockage

Le creusement d'un ouvrage souterrain entraîne, à sa périphérie, une perturbation du champ des contraintes mécaniques et de la déformation dans la roche, avec pour conséquence la création d'une zone de roche endommagée, appelée EDZ (Excavation Damaged Zone). L'étendue et l'intensité de cette perturbation évoluent dans le temps sous l'effet de l'ensemble des sollicitations thermiques, hydrauliques et chimiques liées au stockage. Dans

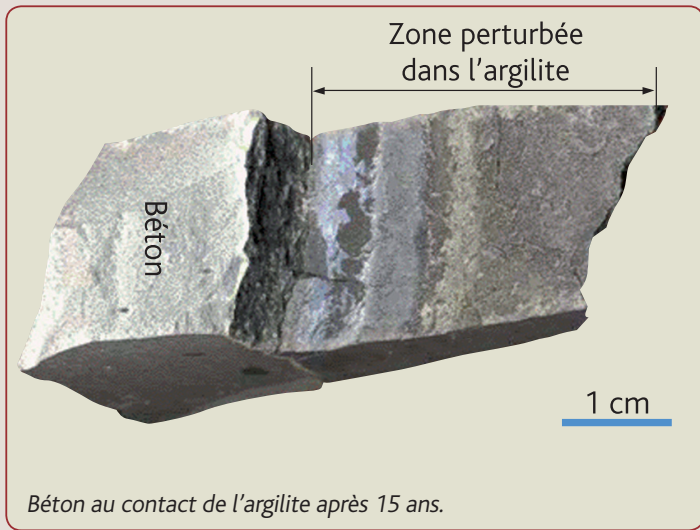
la station expérimentale de Tournemire, les observations et expériences conduites ont montré l'existence d'une EDZ initiale liée au creusement de l'ouvrage ainsi que d'une EDZ supplémentaire (fissuration sub-horizontale) résultant de la ventilation des galeries et de la dessiccation associée de la roche argileuse. La caractérisation des fissures et de leur évolution spatio-temporelle est un aspect qui doit être pris en compte pour l'évaluation de la sûreté à long terme du stockage.



*Machine à attaque ponctuelle utilisée pour le creusement des galeries.*



*Prélèvement de l'eau présente dans quelques fractures d'origine tectonique.*



Béton au contact de l'argilite après 15 ans.

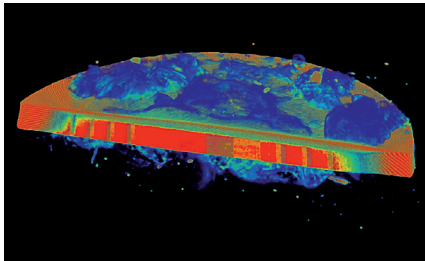
# Quelles interactions avec les matériaux du stockage ?

*Les perturbations chimiques, une cause potentielle d'altération des propriétés de confinement de l'argilite.*

## Les perturbations associées aux matériaux rapportés

Certaines expérimentations conduites par l'IRSN dans la station expérimentale de Tournemire visent à identifier et caractériser les perturbations de la roche induites par des matériaux exogènes introduits dans le milieu géologique.

Les interactions entre ces matériaux et les minéraux argileux de la roche peuvent modifier leur propriétés géochimiques et impacter leur capacité de confinement des solutés. Par ailleurs, le développement de différentes communautés bactériennes, préexistantes ou introduites lors de l'exploitation du site, peut impacter certains composants (par exemple, corrosion des composants métalliques).



Échantillon d'acier laissé après 10 ans de contact avec l'argilite (image microtomographique du fer à l'interface).

## La performance des ouvrages de scellement

La fermeture progressive d'un stockage tel Cigéo repose sur la mise en place de scellements dans certains ouvrages. Les scellements sont constitués d'un matériau naturel à base d'argile, dont le gonflement à l'hydratation assure la continuité du confinement procuré par la roche. L'IRSN met en œuvre dans la station expérimentale de Tournemire un programme de recherche dédié à l'évaluation de l'efficacité et de la tenue dans le temps de tels scellements. Il consiste à examiner les principaux facteurs qui contrôlent la performance hydraulique à long terme des scellements, tels que les choix constructifs et leurs conditions d'évolution (normale ou altérée).



Insertion d'un noyau argileux instrumenté dans un forage d'essai.

## Comment observer et surveiller un futur stockage ?

*Des enjeux inédits en termes de moyens de mesure, dont les limites technologiques seront testées dans des conditions représentatives d'un stockage au sein la station expérimentale de Tournemire, dans le cadre du projet Européen Modern2020\*.*

### De nouveaux types de capteurs

Des capteurs sont en cours de développement, pour mesurer certains paramètres (p.ex. le pH) dans les conditions particulières d'un stockage. Les développements concernent également les enjeux de fiabilité et de faible consommation énergétique.

### Des conditions de fonctionnement exigeantes

Les chercheurs de l'IRSN visent à reproduire l'environnement du fonctionnement des capteurs dans un futur stockage, que ce soit en termes de pression hydraulique et mécanique, de température, de pH...

### Une transmission sans fils indispensable

La remontée des données fournies par les capteurs surveillant un stockage nécessite l'utilisation de systèmes de transmission non filaires. Dans les conditions du stockage (portée de plusieurs centaines de mètres, traversée de milieux denses), de tels systèmes sont à l'état de développement, certains pourront être testés dans le banc d'essai in situ mis en œuvre à Tournemire.

(\* Ce projet a pour objet de développer et de tester des outils et des méthodes pour la mise en œuvre d'un programme opérationnel de surveillance des installations de stockage géologique profond de déchets radioactifs.

# L'IRSN et la société

**L'IRSN a engagé depuis quinze ans une politique volontariste d'ouverture à la société, car la vigilance et le questionnement qu'exerce la société est une composante essentielle de la maîtrise des risques nucléaires et radiologiques.**

Un des objectifs de l'ouverture à la société est l'accompagnement des acteurs de la société dans leur montée en compétence sur les questions de sûreté nucléaires et de radioprotection. C'est ainsi que dans le domaine de la gestion des déchets radioactifs, l'IRSN a lancé, depuis 2012, des réflexions et des actions sur la participation de la société notamment dans le cadre de projets européens (COWAM, SITEX).

L'IRSN mène également avec l'Association nationale des comités et commissions locales d'information (ANCCLI) et avec le Comité local d'information et de suivi (CLIS) du laboratoire de Bure, une démarche

dite de « dialogue technique » destinée à construire un échange continu entre les experts et la société civile sur les enjeux techniques et scientifiques de la gestion des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue.

L'implication des acteurs de la société et la confrontation des points de vue contribuent à la robustesse de l'expertise de l'IRSN et donc des décisions qui en découlent. Aussi, est-il essentiel pour l'IRSN d'aller plus loin dans sa démarche envers les citoyens et d'innover. C'est ce qui a été fait en 2016 - 2017, en associant à un groupe d'échange, dès le début du processus d'évaluation du dossier d'options de sûreté (DOS) de Cigéo par l'Institut, des membres de la société civile issus de l'ANCCLI, du CLIS de Bure et de la Conférence de citoyens du débat public de 2013, ainsi que des experts non institutionnels.



## L'IRSN est l'expert public national en matière de risques nucléaires et radiologiques.

L'IRSN, établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) – dont les missions sont désormais définies par la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (TECV) – est l'expert public national des risques nucléaires et radiologiques. L'IRSN concourt aux politiques publiques en matière de sûreté nucléaire et de protection de la santé et de l'environnement au regard des rayonnements ionisants. Organisme de recherche et d'expertise, il agit en concertation avec tous les acteurs concernés par ces politiques, tout en veillant à son indépendance de jugement.

L'IRSN est placé sous la tutelle conjointe des ministres chargés de l'écologie, de la recherche, de l'énergie, de la santé et de la défense.

### Siège social

31, avenue de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
RCS Nanterre B 440 546 018

**Téléphone :** +33 (0)1 58 35 88 88

**Courrier :** B.P. 17  
92262 Fontenay-aux-Roses Cedex

**Site Internet :** [www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)

**Mail :** [contact@irsn.fr](mailto:contact@irsn.fr)

**Twitter :** @IRSNFrance, @radioprotection