

Rapport transparence

Rapport transparence

et sécurité nucléaire 2023



NEUTRONS
FOR SOCIETY

RAPPORT ANNUEL RÉACTEUR HAUT FLUX INSTITUT LAUE LANGEVIN

SOMMAIRE

EDITORIAL	3
1. INTRODUCTION	4
2. PRÉSENTATION DE L'INSTITUT ET DU RÉACTEUR À HAUT FLUX	5
2.1 Le réacteur	6
2.2 L'utilisation des neutrons par les scientifiques	7
Modernisation des instruments	9
Exemples de belles réussites scientifiques en 2023	12
3. DISPOSITIONS PRISES EN MATIÈRE DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE ET DE RADIOPROTECTION	14
3.1 Dispositions générales d'organisation	15
3.2 Dispositions techniques en matière de sûreté nucléaire	16
Faits marquants en matière de sûreté	17
Système de management intégré	18
Audits internes et externes	18
Inspections de l'ASN	18
Bilan des transports de matières radioactives	19
Exercices de préparation aux situations d'urgence	19
Perspectives pour l'année 2024	20
3.3 Dispositions techniques en matière de radioprotection	20
Faits marquants de l'année 2023	21
Dosimétrie du personnel : résultats	21
4. ÉVÈNEMENTS SIGNIFICATIFS EN MATIÈRE DE SÛRETÉ ET DE RADIOPROTECTION	22
4.1 Bilan 2023	23
5. RÉSULTATS DES MESURES DES REJETS LIQUIDES ET GAZEUX	24
5.1 Les rejets gazeux	24
5.2 Les rejets liquides	25
5.3 Les rejets non radioactifs	26
5.4 Impact des rejets sur l'environnement	27
Impact des rejets gazeux	27
Impact des rejets liquides	27
6. GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS	28
6.1 Quantité de déchets évacués en 2023	28
6.2 Quantité de déchets présents dans l'installation en fin d'année 2023	29
7. GLOSSAIRE	30
8. RECOMMANDATIONS DU CSE DE L'ILL	32



Depuis la fin de l'arrêt en février 2023 consacré au remplacement du doigt de gant et aux améliorations de la sûreté de l'installation, après 16 mois de travaux, le réacteur a redémarré et a réalisé avec succès trois cycles d'exploitation fin 2023. Au total, le réacteur a délivré 166 jours de fonctionnement à différentes puissances pour optimiser le cycle du combustible et le programme des utilisateurs des neutrons pour des applications scientifiques essentiellement.

Ces trois cycles de fonctionnement ont permis également de produire des radio-isotopes, notamment du lutétium 177, très efficace dans le traitement de certaines formes de cancer.

Comme c'est le cas depuis quelques années, les relations avec l'Autorité de sûreté nucléaire française (ASN) restent bonnes, comme en témoigne la confiance exprimée par l'ASN envers l'ILL lors de la dernière réunion du bilan annuel de janvier 2023. Les inspections de l'ASN en 2023 se sont également bien déroulées dans la continuité des années précédentes. Pour exemple, avant le début du premier cycle de 2023, l'ASN a inspecté les essais de requalification pour le redémarrage du réacteur, et les conclusions ont été plutôt positives. Pour compléter, un exercice national de sûreté a été organisé en novembre 2023 pour tester notamment l'organisation de crise à l'ILL.

Par ailleurs, dans le cadre de la préparation du futur arrêt long en 2024 et 2025 et faisant suite aux décisions de l'ASN à l'issue du dernier réexamen de sûreté, la division Réacteur de l'ILL a :

- Poursuivi les opérations d'assainissement de l'installation de détritiation en retirant certains composants/équipements afin de préparer l'installation d'une unité de recombinaison du tritium gaz. Cette unité de recombinaison aura pour but de recombinaison le tritium et le deutérium avec de l'oxygène à très faible concentration, afin de produire de l'eau lourde pour la réinjecter dans le circuit primaire à l'horizon 2025,
- Continué la préparation du remplacement du chariot et du renforcement du pont polaire au niveau D et démontage du système de levage 1t,
- Poursuivi la préparation de l'installation d'un système de sprinklers (la colonne incendie dans l'espace annulaire a été finalisée, le début de l'installation de canalisations supplémentaires pour alimenter les sprinklers à partir d'une réserve d'eau qui sera située à l'extérieur),
- Préparé le chantier du renfort des supports des canalisations situées au fond du canal de transfert 2,
- Préparé les chantiers de renforcement des casemates H1H2 et H5 pour protéger les traversées enceinte du bâtiment réacteur en cas de séisme.

Concernant le cycle du combustible, l'ILL continue de participer au programme Européen HERACLES avec pour objectif d'utiliser de l'Uranium faiblement enrichi d'ici dix ans. Le projet de conversion du réacteur, pour utiliser ce combustible moins enrichi, a franchi une étape importante en 2023 avec la fin des études de faisabilité. Il est prévu de lancer la phase d'étude détaillée en vue d'une première irradiation en 2029 avant la conversion industrielle qui est conditionnée à une décision positive des Associés concernant l'avenir de l'ILL.

Grâce à ses investissements scientifiques et à la sûreté de ses installations, l'ILL continuera d'être le leader mondial des infrastructures de recherche utilisant les neutrons pour les années à venir.

Jérôme Estrade

Directeur adjoint en charge de l'exploitation de l'INB n° 67 et chef de la division réacteur

1 INTRODUCTION

L'Institut Laue Langevin (ILL) est un organisme de recherche international à la pointe des sciences et techniques neutroniques. L'ILL propose aux scientifiques une instrumentation de haute technologie, et en tant qu'institut de service met ses installations et son expertise à la disposition des visiteurs scientifiques du monde entier. Plus de 1000 expériences sont effectuées chaque année à l'ILL, et environ 1600 chercheurs viennent y réaliser leurs expériences, sélectionnés par un comité scientifique.

L'Institut est doté d'une source de neutrons très intense, le Réacteur nucléaire à Haut Flux qui constitue l'Installation Nucléaire de Base n° 67. L'installation est soumise au Décret n° 94-1042 du 5 décembre 1994 portant nouvelle autorisation de création par l'Institut Max Von Laue-Paul Langevin d'une installation dénommée Réacteur à Haut Flux, sur le site de Grenoble (Isère).

Conformément à l'article L125-15 du Code de l'Environnement, l'Institut Laue Langevin, en tant qu'exploitant d'une Installation Nucléaire de Base, doit produire chaque année le présent rapport d'information du public.

2 PRÉSENTATION DE L'INSTITUT ET DU RÉACTEUR À HAUT FLUX

L'Institut Laue Langevin et le Réacteur à Haut Flux sont situés au Nord du polygone scientifique de Grenoble, sur le site EPN-Campus regroupant plusieurs organismes scientifiques :

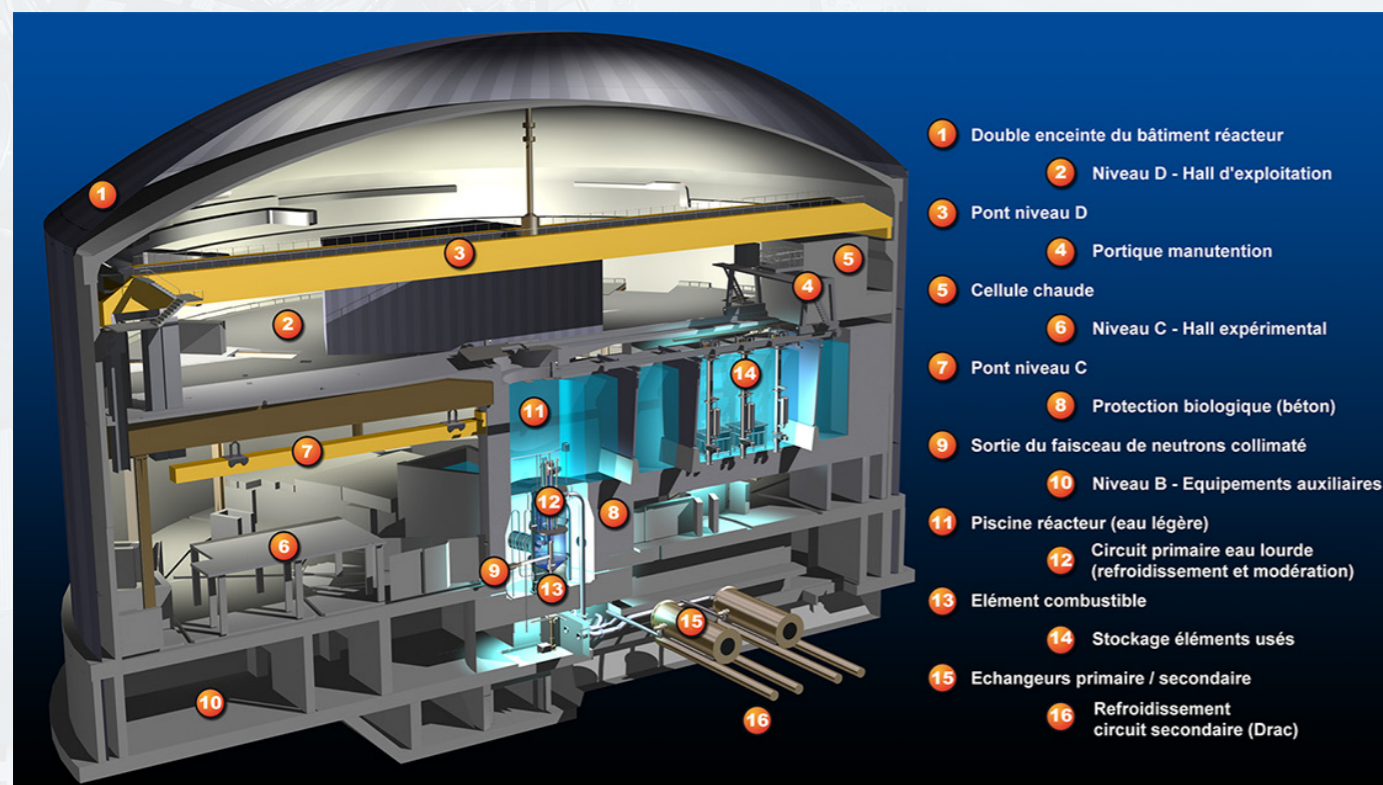
- l'ILL, Institut Laue Langevin.
- l'ESRF, European Synchrotron Radiation Facility.
- l'EMBL, European Molecular Biology Laboratory.
- le CIBB, Carl-Ivar Bränden Building, bâtiment abritant des partenariats scientifiques en biologie structurale et en virologie.
- l'IBS, Institut de Biologie structurale.

Environ 1300 personnes travaillent sur le site.

L'Institut Laue Langevin est géré par trois pays associés, la France (CEA et CNRS), l'Allemagne et le Royaume Uni. Onze partenaires scientifiques participent également à son financement. Son budget pour 2023 était de 117 M€. 527 personnes d'une trentaine de nationalités différentes travaillent à l'ILL.



2.1 LE RÉACTEUR



Coupe du bâtiment réacteur de l'ILL.

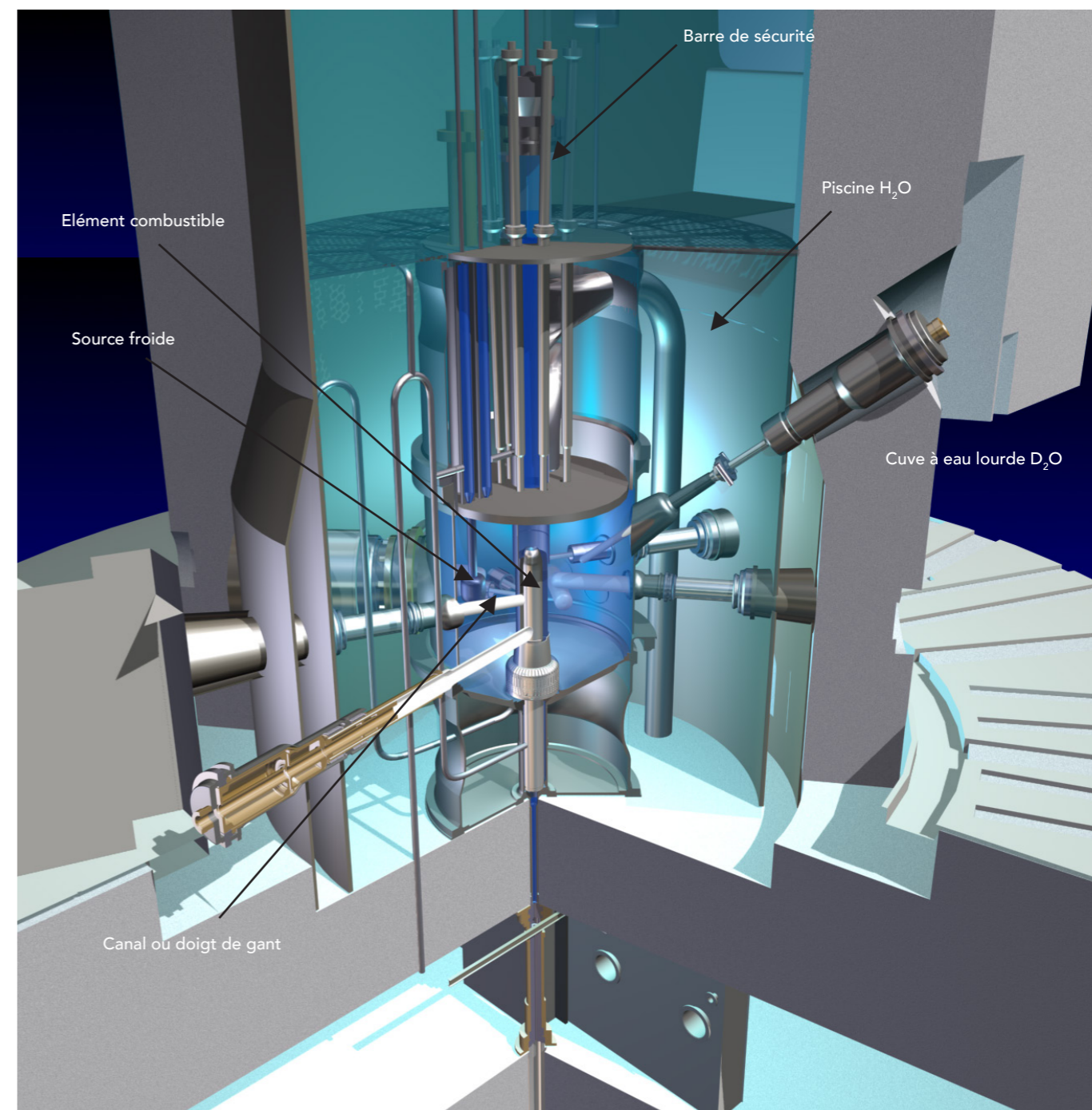
Le Réacteur à Haut Flux de l'ILL fonctionne en continu durant des cycles de 50 jours. Son coeur est constitué d'un élément combustible unique d'uranium très enrichi refroidi à l'eau lourde et permet ainsi de produire le flux de neutrons le plus intense du monde soit $1,5 \times 10^{15}$ neutrons par seconde et par cm^2 . La puissance thermique, de 58 MW, est évacuée par un circuit secondaire alimenté par l'eau du Drac. La cuve à eau lourde contenant le coeur est située dans une piscine remplie d'eau déminéralisée qui assure une protection vis-à-vis des rayonnements neutrons et gammas émis par le coeur. Le réacteur est piloté au moyen d'une barre absorbante de neutrons que l'on extrait au fur et à mesure de la consommation de l'uranium. Il possède en outre 5 barres de sécurité, également absorbantes de neutrons, dont la fonction est l'arrêt d'urgence du réacteur.

Les neutrons produits dans le réacteur par la réaction de fission ont une très grande énergie (vitesse : 20 000 km/s). Ils sont ralentis par l'eau lourde afin de pouvoir à la fois provoquer de nouvelles fissions pour entretenir la réaction en chaîne (neutrons thermiques dont la vitesse est de 2,2 km/s) et alimenter les dispositifs expérimentaux des scientifiques.

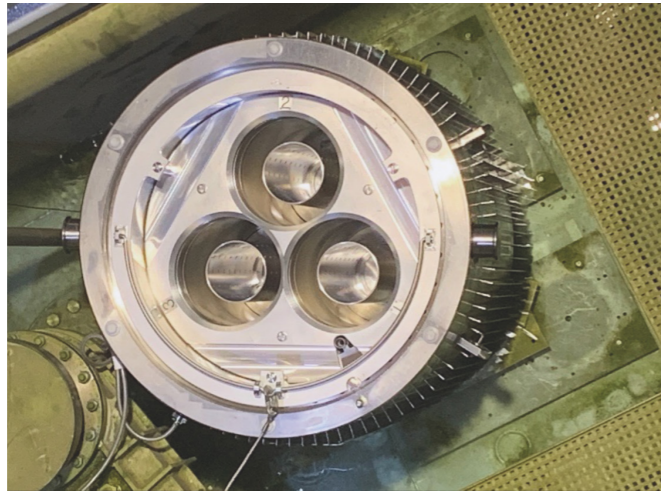
Trois dispositifs situés à proximité immédiate du coeur permettent également de produire des neutrons chauds (10 km/s) ainsi que les neutrons froids et ultra-froids (700 m/s et 10 m/s) : il s'agit de la source chaude, constituée d'une sphère de graphite maintenue à 2600°C et de deux sources froides, dont la plus importante est constituée d'une sphère contenant 20 litres de Deutérium maintenue à l'état liquide à -248°C dans laquelle les neutrons, par une succession de collisions avec les atomes de deutérium sont ralentis à l'énergie recherchée. Les neutrons sont alors prélevés au sein de la cuve par une vingtaine de canaux, dont certains pointent sur l'une des sources froides ou chaude. Ces canaux, prolongés par des guides de neutrons alimentent ensuite une quarantaine d'aires expérimentales équipées d'une instrumentation de pointe situées jusqu'à 100 mètres du réacteur.

2.2 L'UTILISATION DES NEUTRONS PAR LES SCIENTIFIQUES

Les neutrons permettent d'explorer la matière de façon non-destructive, dans les domaines scientifiques les plus variés : physique, chimie, biologie et biotechnologies, nanotechnologies, géosciences ou génie civil. Le principe de la majorité des expériences est toujours le même : les scientifiques placent l'échantillon de matière à étudier dans le faisceau de neutrons issu du réacteur (après avoir sélectionné finement l'énergie des neutrons au moyen de monochromateurs et de sélecteurs) ; les neutrons sont diffusés par l'échantillon ; la détection et la mesure des neutrons diffusés leur fournissent, après traitement, des informations sur les caractéristiques physiques de leur échantillon. L'objectif essentiel est d'approfondir les connaissances sur la matière, quel que soit son état, afin de développer les matériaux et les médicaments du futur, par exemple.



Le réacteur de l'ILL.



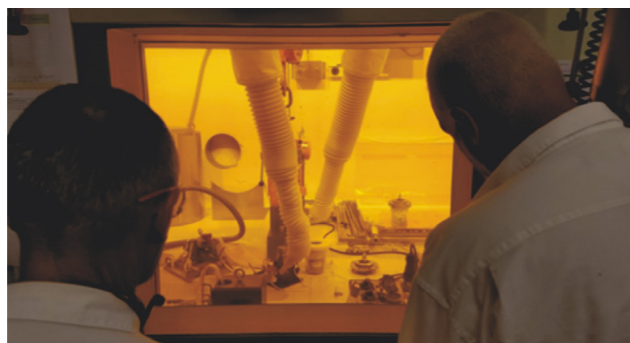
Château de transport TNMTR pour l'évacuation des combustibles irradiés.



Remplacement du charriot et renforcement du pont polaire du niveau D du bâtiment réacteur.



Installation d'un système de sprinkler au niveau C du bâtiment réacteur.



Cellule chaude pour la production des radio-isotopes.

MODERNISATION DES INSTRUMENTS

Pour maintenir son leadership mondial, l'ILL a multiplié ses capacités d'innovation et d'ingénierie en construisant de nouveaux instruments toujours plus performants. Dans la continuité du programme Millénum, le programme Endurance (2016 – 2023) a vu la mise à niveau, la modernisation ou le renouvellement complet de plus de 30 instruments et projets d'infrastructure, dont beaucoup sont déjà disponibles pour les utilisateurs.

Pendant la période d'arrêt H1-H2 d'octobre 2021 à février 2023, nous avons procédé à la modernisation et /ou au renouvellement d'une partie de nos instruments et de nos infrastructures en parallèle avec d'importants travaux de maintenance, de sécurité et de sûreté sur le réacteur. Le nouveau guide H24 et les instruments associés ont été achevés et mis en service avec le redémarrage du réacteur le 27 février 2023. Le guide H15 et les instruments associés seront achevés et intégrés dans le programme utilisateur en 2024.

Grâce aux programmes Millennium et Endurance des deux dernières décennies, l'ILL dispose désormais d'un ensemble

d'instruments de classe mondiale entièrement modernisé, prêt à être utilisé pour la décennie à venir.

Les gains de performance attendus avec les nouveaux instruments doivent s'accompagner d'un programme de recherche et d'innovation dans tous les domaines techniques, y compris la simulation (calculs, réalité virtuelle...) pour améliorer la conception des instruments et de leur environnement.

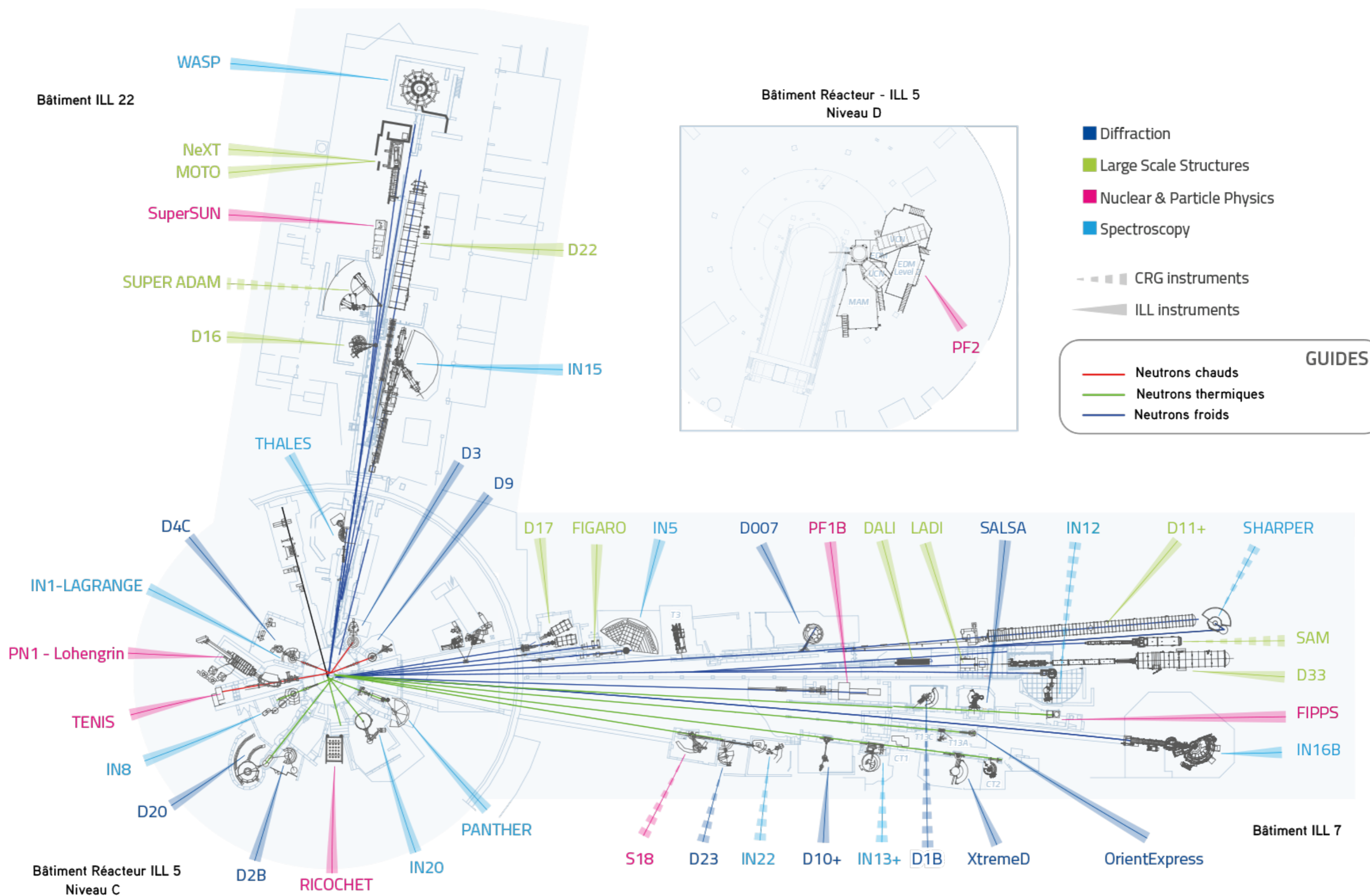
Tout ce programme de nouveaux projets, de recherche et développement permettra aux instruments de l'ILL de rester la référence des technologies neutroniques.

En plus de ces projets de modernisation, le personnel de l'ILL s'investit constamment dans des activités nécessaires au quotidien comme les travaux de maintenance et de rénovation des infrastructures techniques et des équipements informatiques associés.



Remplacement du guide H1-H2 (en bas à gauche), essentiel pour l'installation de nouveaux instruments scientifiques améliorés dans le cadre du programme Endurance.

Plus de quarante instruments permettent aux physiciens du monde entier de venir effectuer des expériences, dont les résultats devront être publics (publication dans des revues scientifiques) et dont les applications devront rester dans le domaine civil.



EXEMPLES DE BELLES RÉUSSITES SCIENTIFIQUES EN 2023

Les neutrons oscillent-ils vers un monde caché ?

Aujourd'hui, les physiciens peuvent décrire notre monde avec une précision croissante : Le Modèle Standard de la physique des particules décrit parfaitement l'ensemble des observations faites concernant trois des quatre interactions fondamentales - l'interaction électromagnétique, l'interaction faible et l'interaction forte. La gravitation, la quatrième interaction connue, est entièrement expliquée par la théorie de la relativité générale. L'application de cette théorie à l'ensemble de l'univers, en tenant compte du modèle standard de la physique des particules, conduit au modèle standard de la cosmologie, qui explique de manière remarquablement bien de nombreux détails des observations astronomiques.

Toutefois, de nombreuses questions restent sans réponse sur le plan théorique, et de nombreuses observations conduisent à la conclusion que notre perception globale actuelle de l'univers est incomplète. Un exemple marquant est la preuve observationnelle de la matière noire, bien qu'aucune détection directe n'ait été confirmée à ce jour.

Pour résoudre ces questions, les scientifiques travaillent sur des extensions du modèle standard de la physique des particules ou de la relativité générale, sur d'éventuelles théories quantiques de la gravité, sur des explications alternatives des phénomènes observés, etc. Ces théories amènent naturellement les expérimentateurs sur le devant de la scène. Ils commencent par tenter de réinterpréter les données existantes afin de vérifier si la théorie est déjà expérimentalement exclue. Si tel n'est pas le cas, des expériences spécifiques sont conçues pour tester les nouvelles idées théoriques.

Une idée de longue date est celle des "secteurs cachés" en physique. Dans un tel scénario, toutes les particules connues et les interactions du Modèle Standard auraient des copies jumelles dans une sorte de "Univers parallèle". Ces copies jumelles pourraient interagir avec nos particules ordinaires via l'interaction gravitationnelle et éventuellement des interactions nouvelles et exotiques. Ainsi, le mystère de la Matière Noire observée par exemple dans les courbes de rotation des galaxies pourrait être résolu.

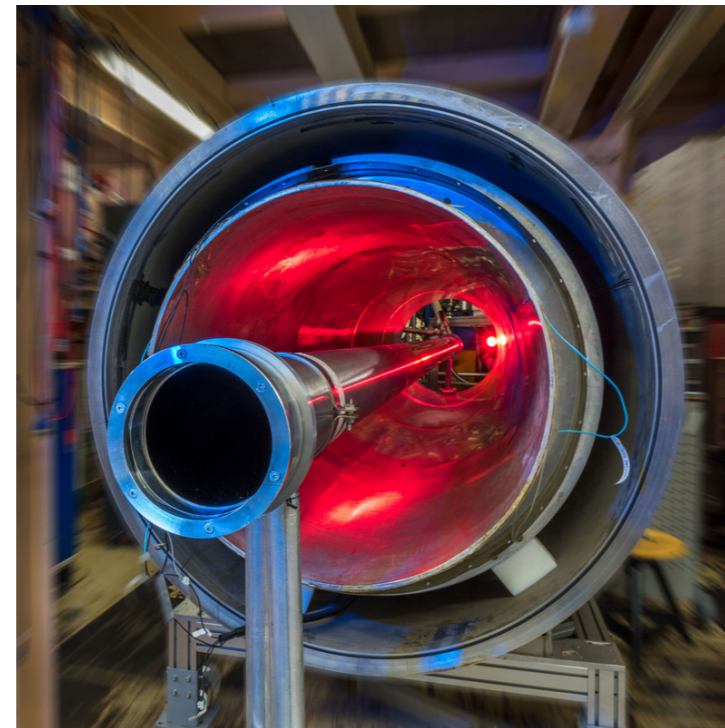
Dans une étude récemment publiée dans *Physical Review Letters*, une collaboration franco-suisse de l'Université de Caen, de l'Université de Zurich/CH, de l'Université Grenoble-Alpes, de l'Université Sorbonne de Paris, de l'Institut Paul-Scherrer à Villigen/CH et de l'ILL a utilisé le faisceau le plus intense de neutrons ultra-froids au monde sur l'instrument PF2 à l'ILL afin de tester l'existence de secteurs cachés. Pour ce faire, la collaboration a installé un guide de neutrons ultra-froids de six mètres de long suivi de leur détecteur nouvellement développé, GADGET. "La caractéristique clé du détecteur de neutrons UCN GADGET est sa capacité à haut débit. "PF2 était l'endroit optimal pour

tester nos développements et réaliser cette expérience", explique William Sáenz-Arévalo, l'un des principaux auteurs de l'étude, qui a également défendu sa thèse de doctorat sur ce projet.

La théorie des "secteurs cachés" prédit que pendant leur temps de vol dans l'instrument, les neutrons pourraient osciller vers leurs copies jumelles. Étant donné que GADGET n'est pas en mesure de détecter les jumelles, on pourrait observer une baisse du taux de comptage. La probabilité de cet effet devrait dépendre de l'amplitude du champ magnétique induit par le solénoïde.

Bien entendu, la stabilité du flux de neutrons entrant est d'une importance cruciale. Une diminution du flux entrant pourrait imiter un effet faux positif. L'équipe n'a pas opté pour la solution évidente à ce problème, à savoir un moniteur de faisceau, car cela aurait considérablement réduit le flux élevé de PF2 et pourrait également induire de nouveaux effets systématiques. Au lieu de cela, la collaboration a appliqué un algorithme d'auto-normalisation. Ils ont divisé chaque cycle de données de 200 secondes en sous-cycles en appliquant trois amplitudes différentes de champ magnétique. "En prenant des rapports des comptages de neutrons de différents sous-cycles de manière astucieuse, toutes les instabilités linéaires s'annulent, et nous pouvons profiter de l'intensité totale du faisceau", explique Stephanie Rocca, qui a développé cette méthode et a convaincu ses collègues de sa validité.

"Accessoirement, nous avons beaucoup appris sur la stabilité de l'instrument PF2 à court et moyen terme. Cela est très utile pour l'ensemble de notre communauté", déclare Tobias Jenke, responsable de l'instrument PF2.



Le guide d'ultraneutrons ultra-froid utilisé pour cette expérience.

Article original : [Do Neutrons oscillate into a hidden world?](#)

Filmer l'auto-assemblage de macromolécules au ralenti !

Dans un article publié dans *ACS Macro Letters*, une équipe de physico-chimistes décrit une nouvelle approche qui utilise les neutrons et de la lumière pour surveiller *in situ* l'auto-assemblage de polymères amphiphiles dans des conditions de quasi-équilibre. Ces résultats offrent une multitude de possibilités pour observer et mieux comprendre l'organisation de macromolécules biologiques et synthétiques complexes en solution aqueuse.

Les micelles, les vésicules, les polymèresomes, les membranes lipidiques... ce ne sont là que quelques-unes des structures auto-assemblées formées par les macromolécules amphiphiles. Ces molécules contiennent à la fois une partie hydrophile (« qui aime l'eau ») et une partie hydrophobe (« qui craint l'eau ») et sont largement utilisées dans des produits de la vie quotidienne, des peintures et produits pharmaceutiques aux aliments et cosmétiques. Elles permettent de disperser une phase huileuse dans une phase aqueuse et de stabiliser des nano-objets - et des structures de toutes sortes de géométries - dans différents milieux. Leur auto-assemblage spontané est entraîné par de faibles interactions entre les parties hydrophobes, qui se regroupent pour minimiser leur surface de contact avec l'eau, tandis que les parties hydrophiles se repoussent mutuellement.

Les mécanismes d'auto-assemblage des macromolécules amphiphiles ont été largement étudiés et sont, en théorie, prévisibles, à condition qu'ils soient contrôlés par la thermodynamique. En pratique, cependant, la mobilité et la dynamique de réorganisation des grosses molécules sont très lentes. Souvent, les structures obtenues ne sont pas les structures thermodynamiquement les plus stables, mais celles qui se forment le plus rapidement.

Ces structures hors équilibre dépendent beaucoup des conditions expérimentales dans lesquelles elles sont formées, ce qui pose la question :

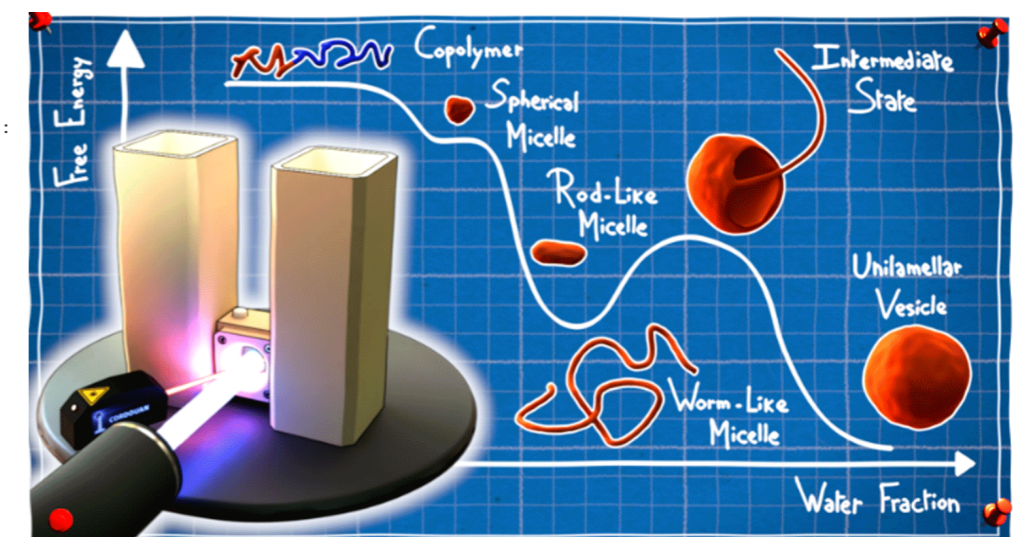
"comment pouvons-nous ralentir ce processus suffisamment pour pouvoir observer quelles structures sont vraiment les plus stables, et surveiller les différentes étapes de leur formation ?"

Pour trouver la réponse à cette question, des physico-chimistes experts en matière molle de 4 laboratoires du CNRS ont collaboré avec des scientifiques de l'Institut Laue Langevin (ILL) pour développer un protocole expérimental innovant utilisant un dispositif de dialyse

développé à l'ILL, qui permet à l'eau de diffuser lentement dans un mélange contenant un solvant miscible.

L'augmentation très progressive de la proportion d'eau active lentement l'attraction entre les parties hydrophobes, ce qui déclenche à son tour l'auto-assemblage de macromolécules en solution. Ce qui rend ce dispositif si unique, c'est qu'il permet d'observer les mécanismes d'auto-assemblage *in situ* en utilisant une combinaison de diffusion dynamique de la lumière (DLS) et de diffusion des neutrons à petit angle (SANS), tous deux adaptés à l'étude des nanostructures allant de 1 à 100 nm. Les scientifiques ont donc pu surveiller l'auto-assemblage de chaînes de copolymères diblocs amphiphiles constituées de poly(éthylène glycol) et de poly(diméthylsiloxane) (PEG-PDMS) tout au long du processus, et établir leur diagramme de phase sous quasi-équilibre thermodynamique. L'étude a été complétée par la cryo-microscopie électronique et l'analyse de la tension de surface des structures formées.

Présentée dans *ACS Macro Letters*, cette méthode peut être appliquée à tous types de macromolécules synthétiques et biologiques et colloïdes. En effet, la technique de dialyse mise en œuvre sur le diffractomètre SANS à grand intervalle dynamique D22 de l'Institut Laue-Langevin permet la diffusion lente non seulement des solvants, mais aussi de toutes autres molécules capables de déclencher l'auto-assemblage, telles que les acides ou bases, ions, donneurs/accepteurs de liaisons hydrogène et ligands biologiques. Pour ceux de la communauté de la chimie physique cherchant à comprendre les mécanismes d'auto-assemblage de ces systèmes, cette nouvelle technique ouvre des perspectives passionnantes.



Les étapes de changement morphologique qui se produisent lors de l'auto-assemblage de copolymères blocs amphiphiles dans des conditions de quasi-équilibre peuvent être capturées à tout moment à l'aide d'une cellule de dialyse compatible avec l'analyse par diffusion de la lumière dynamique et la diffusion des neutrons aux petits angles. Courtoisie de : Martin Fauquignon et Christophe Schatz.

Article original: [Filming the self-assembly of macromolecules in slow motion!](#)

3 DISPOSITIONS PRISES EN MATIÈRE DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE ET DE RADIOPROTECTION



Evaporateurs Beta.

L'une des spécificités des installations nucléaires est de présenter des risques potentiels liés à la mise en œuvre de substances radioactives émettant des **rayonnements ionisants**. Dans le cas du Réacteur à Haut Flux, il s'agit essentiellement des **produits de fission radioactifs** produits dans le cœur du réacteur par la réaction de fission, et des **produits d'activation** résultant de l'action des neutrons (issus de la fission) sur les matériaux constituant les structures proches du cœur. En cas d'accident, ces substances radioactives, si elles étaient relâchées dans les bâtiments de l'installation et dans l'environnement, pourraient entraîner des expositions significatives des travailleurs et des personnes du public, ainsi que des contaminations de l'environnement. C'est pourquoi, à l'ILL comme dans

toute installation nucléaire, des dispositions techniques et organisationnelles sont mises en œuvre pour réduire les risques à un niveau jugé acceptable. Ceci constitue le domaine de la sûreté nucléaire, qui recouvre les dispositions destinées à :

- Assurer le fonctionnement normal du réacteur, en respectant les normes en matière de rejets d'effluents radioactifs (gazeux et liquides) et en matière d'exposition du personnel,
- Prévenir les incidents et accidents,
- Limiter les conséquences des éventuels incidents et accidents susceptibles de se produire malgré les mesures prises pour les éviter.

3.1 DISPOSITIONS GÉNÉRALES D'ORGANISATION

L'Institut Laue Langevin, exploitant nucléaire du Réacteur à Haut Flux est organisé en quatre divisions :

- La Division Science (DS) qui regroupe les scientifiques et les techniciens affectés aux aires expérimentales, ainsi que les équipes support du programme expérimental,
- La Division Projets Techniques (DPT) qui conçoit et assure la maintenance des outils expérimentaux : guides neutrons, monochromateurs, spectromètres, diffractomètres et détecteurs,
- La Division Administration (DA), chargée des achats, des finances et des ressources humaines,
- La Division Réacteur (DRe) qui est chargée d'assurer le fonctionnement, la maintenance et la sûreté du réacteur.

Le Chef de la Division Réacteur est le Chef de l'INB 67 par délégation du Directeur de l'ILL. Il est responsable de la sûreté nucléaire et de l'exploitation du Réacteur à Haut Flux. Il s'appuie pour cela sur la Cellule Sûreté (CS) et sur les trois services responsables de l'exploitation et de la conduite du réacteur, ainsi que de sa maintenance (soit environ 90 personnes).

La conduite du réacteur est assurée par 6 équipes de quart, composées chacune de 5 agents qui travaillent en 2x12h.

Un Ingénieur est d'astreinte en permanence et assume, par délégation du chef de la Division Réacteur, la responsabilité d'intervention immédiate dans les différentes phases de fonctionnement du réacteur.

L'exploitation du Réacteur à Haut Flux est réalisée conformément à son référentiel de sûreté, composé entre autres d'un rapport de sûreté et de règles générales d'exploitation approuvés par l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN), ainsi que de prescriptions techniques notifiées par cette dernière pour le domaine de fonctionnement autorisé. Toute modification de l'installation, visant par exemple à atteindre un meilleur niveau de sûreté ou à l'adapter aux besoins évolutifs de la recherche est soumise à autorisation de l'ASN si elle nécessite une évolution de la démonstration de sûreté, tout en restant conforme au décret d'autorisation de création.

La maîtrise des situations d'urgence repose sur une organisation décrite dans le **Plan d'Urgence Interne (PUI)** approuvé par l'ASN. Si les conséquences d'une situation

d'urgence dépassaient les limites du site de l'ILL, la préfecture appliquerait le **Plan Particulier d'Intervention (PPI)**. Chaque année, au moins un exercice PUI permet aux personnes impliquées dans l'organisation de crise de s'entraîner. En ce qui concerne le risque incendie, trois personnes formant l'**ELPS** (Equipe Locale de Première Secours) sont disponibles à tout moment pour intervenir sur un départ de feu avant l'arrivée de la FLS (Formation Locale de Sécurité) du CEA Grenoble et/ou du **SDIS 38**. Il s'agit de personnels formés et entraînés au risque incendie qui assument cette fonction en plus de leur poste de travail.

L'organisation de l'ILL relative à la protection des intérêts et des travailleurs s'appuie également sur trois services directement rattachés à la direction de l'institut et présentés dans les trois paragraphes suivants.

La Cellule Qualité Sûreté Risques (CQSR) est chargée du suivi, de l'amélioration et de la surveillance du système de management intégré, qui permet de garantir que les exigences relatives à la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement sont systématiquement prises en compte dans toute décision concernant l'installation. En outre, la CQSR est responsable de la gestion globale des risques à l'ILL et assure également des missions de prévention de la corruption.

Le Service Radioprotection Sécurité et Environnement (SRSE) est chargé d'assurer la protection contre les rayonnements ionisants du personnel de l'ILL ainsi que la sécurité du travail. L'activité de surveillance de l'environnement auparavant assurée par le CEA Grenoble pour le compte de l'ILL est maintenant assurée par le Laboratoire de surveillance de l'environnement du SRSE. Ce service gère également le Groupe de Traitement des Déchets Actifs (GTDA) ainsi que la dosimétrie du personnel.

Le Service Médical du Travail Commun (STMC) assure le suivi particulier des salariés travaillant en milieu ionisant.

3.2 DISPOSITIONS TECHNIQUES EN MATIÈRE DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Les études de sûreté réalisées tout au long de la vie de l'installation (conceptions, modifications) reposent sur le principe de la défense en profondeur, qui comporte cinq niveaux.

- Premier niveau : Prévention des anomalies de fonctionnement et des défaillances des systèmes. Le premier niveau comprend donc un ensemble de dispositions visant à réduire le risque de sortie du domaine de fonctionnement normal. Il s'agit de dispositions de conception prenant en compte des marges de sécurité, de mise en œuvre de programmes de maintenance préventive, de l'établissement de procédures particulières pour les opérations réalisées par les opérateurs.
- Deuxième niveau : Maintien de l'installation dans le domaine autorisé. Le deuxième niveau vise donc à maîtriser les écarts par rapport au fonctionnement normal, avant que ceux-ci ne puissent conduire à un accident. Cela peut concerner non seulement la mise en place de systèmes d'arrêt d'urgence, mais aussi la réalisation de contrôles périodiques de bon fonctionnement.
- Troisième niveau : Maîtrise des accidents sans fusion de cœur (prévention). Le troisième niveau vise donc à mettre en place des systèmes de sauvegarde ou des dispositions permettant de limiter les conséquences des accidents en postulant la défaillance des premiers et deuxièmes niveaux. En particulier, pour les réacteurs, ce niveau vise à prévenir les risques d'accidents pouvant conduire à une fusion du cœur du réacteur.
- Quatrième niveau : Maîtrise des accidents avec fusion de cœur (mitigation). Le quatrième niveau vise donc à mettre en place des systèmes de mitigation. En particulier, pour les réacteurs, ce niveau permet de limiter les rejets consécutifs à une fusion de cœur.
- Cinquième niveau : Limitation des conséquences radiologiques en cas de rejets importants (crise).

L'exemple des produits de fission présents dans l'élément combustible dès que le réacteur a fonctionné quelques heures permet d'illustrer ces principes :

- L'élément a été conçu et fabriqué pour que la gaine entourant le combustible nucléaire et donc les produits de fission qui s'y accumulent au cours du cycle de fonctionnement de 50 jours soit une barrière étanche dans les conditions normales de fonctionnement. Le circuit

primaire, lui, a été dimensionné pour assurer l'évacuation de la puissance thermique dégagée par la fission et maintenir l'élément en dessous de sa température de fusion : cela constitue l'un des éléments du premier niveau.

- La pression de l'eau du circuit primaire est un des paramètres nécessaires au bon refroidissement du combustible lors du fonctionnement du réacteur. La pression doit donc être supérieure à une valeur minimale pour garantir une marge satisfaisante sur le refroidissement du combustible. Elle est mesurée en permanence par trois capteurs redondants qui provoquent un arrêt automatique du réacteur, par la chute des barres de sécurité, en cas de détection par deux de ces trois capteurs d'une pression inférieure au minimum requis. Cette action est donc bien une action qui relève du second niveau de la défense en profondeur.
- Dans le cas d'un scénario où les systèmes du second niveau seraient inopérants, par exemple brèche importante sur un des canaux permettant la sortie des neutrons utilisés par les scientifiques, un système de détection de fuite permet la fermeture automatique de vannes de sécurité permettant de reconstituer l'étanchéité du circuit primaire et donc d'éviter le dénoyage du combustible. Celui-ci est alors toujours correctement refroidi en simple convection naturelle. Le système de sauvegarde constitué de la détection et de la vanne de sécurité dans chaque canal est donc un système permettant de prévenir le risque de fusion du cœur lors d'un accident de brèche sur le circuit primaire. Il relève donc bien du troisième niveau de la défense en profondeur.
- Enfin, en postulant la défaillance des trois niveaux précédents, la fusion du cœur conduit au relâchement, dans l'enceinte de confinement, d'une partie des produits de fission radioactifs qui s'y sont accumulés pendant le fonctionnement. Le confinement de ces produits de fission est alors assuré par une double enceinte avec une pressurisation de 135 mbar dans l'espace entre les deux enceintes (spécificité du RHF). Le confinement est aussi assuré par les systèmes de filtration associés. Ces équipements nécessaires au maintien du confinement permettent par conséquent de limiter l'activité rejetée à l'extérieur. Ils participent donc bien au quatrième niveau de la défense en profondeur.

Les études de sûreté prennent en compte non seulement les défaillances intrinsèques possibles des circuits ou éléments d'installations étudiés, mais aussi les agresseurs de type interne (risques d'incendie, risques liés aux chutes de charge, risques

d'explosion...) et les agresseurs externes (risques sismique, risques d'explosion externe, risques d'inondation, risques de chute d'avion ...).

Ce sont ces études de sûreté que l'on trouve dans le rapport de sûreté de l'installation et qui conduisent à définir le domaine de fonctionnement de l'installation dans les RGE (Règles Générales d'Exploitation).

Ces documents étant établis, la sûreté en exploitation vise à s'assurer que l'installation est exploitée conformément aux règles établies, à mettre en place les procédures et consignes nécessaires, ainsi qu'à analyser toute nouvelle opération ou toute modification envisagée sous l'angle de la sûreté.

FAITS MARQUANTS EN MATIÈRE DE SÛRETÉ

ANOMALIES (HORS ÉVÈNEMENTS SIGNIFICATIFS)

- Cycle 192, lors du redémarrage du réacteur faisant suite à l'arrêt de remplacement du doigt de gant H1-H2, des oscillations de la puissance du réacteur sont constatées. Elles font suite au dysfonctionnement d'un équipement d'un doigt gant vertical devant recevoir initialement des chambres à fission. Le réacteur a été arrêté puis redémarré après remise en configuration du doigt de gant ».
- Cycle 194, deux des trois pompes de refroidissement du circuit secondaire sont indisponibles. La puissance du réacteur doit être abaissée.
- Le 19 octobre, une alerte à la bombe au niveau du restaurant commun du site a conduit à la fermeture temporaire des entrées du site et de l'installation.
- Le 29 octobre, un rassemblement pacifiste de militants anti-nucléaire d'une vingtaine de personnes est organisé à proximité de l'ancienne entrée du site, pendant quelques dizaines de minutes.

OPÉRATIONS D'EXPLOITATION

- Évacuation de trois éléments combustibles irradiés vers La Hague par emballage de transport TN-MTR.

TRAVAUX

- Fin des travaux de remplacement du doigt de gant H1-H2, remontage des guides de neutrons.
- Fin des travaux de renforcement de la prise d'air frais du bâtiment réacteur.
- Fin de l'installation de systèmes sprinkler manuels dans les casemates du circuit primaire.
- Remplacement des batteries CRA.
- Démontage de la verrière de la zone arrière de la cellule chaude, montage d'un sas d'entrée en cellule chaude.
- Travaux préparatifs au renforcement du pont polaire du niveau D du bâtiment réacteur et remplacement du chariot : mise en place de palans de manutention sur le dôme, suppression du portique de manutention 1T.
- Travaux préparatifs à la mise en place d'un système sprinkler au niveau C du bâtiment réacteur : installation d'une colonne incendie.
- Travaux préparatifs au pré-assainissement de la détritiation : découpe et mise aux déchets d'anciennes capacités.

SYSTÈME DE MANAGEMENT INTÉGRÉ

Conformément à la réglementation, en 2023, la Direction a reconduit et diffusé largement sa Politique en Matière de Protection des Intérêts (PMPI) pour 2019-2024.

Après six années de fonctionnement, le SMI (Système de Management Intégré) est mature et en amélioration permanente. Ainsi, en 2023, le système a encore été adapté afin de le rendre encore plus fluide et plus opérationnel et de prendre en compte les modifications de réglementation.

AUDITS INTERNES ET EXTERNES

Conformément au SMI, un planning des audits internes et externes pour l'année a été réalisé.

En 2023, cinq audits ont été effectués dont deux internes :

- Audit du processus « Gestion des matières dangereuses non radioactives »,
- Audit du processus « Gestion des équipements contenant des GES fluorés »,

et trois externes :

- Audit de SOBEN : fournisseur de suspensions,
- Audit de FRAMATOME : maintenance d'équipements de contrôle-commande pour les réacteurs nucléaires,
- Audit de MONTEIRO : fournisseur et installateur de sprinklers.

Douze vérifications par sondage internes ont également été réalisées.

Les audits et les vérifications par sondage des processus ont permis de vérifier le bon fonctionnement des processus, le respect des exigences définies et de proposer des axes d'amélioration afin de rendre ces processus encore plus robustes.

INSPECTIONS DE L'ASN

Tableau récapitulatif des inspections de l'année 2023 :

Date	Thème de l'inspection
09/01/2023	Respect des engagements
02/03/2023	Qualifications des équipements et matériels
14/03/2023	Gestion des sources de rayonnements ionisants
27/04/2023	Conduite accidentelle
22/06/2023	Génie civil
04/07/2023	Transport de substances radioactives
12/07/2023	Organisation et moyens de crise
24/08/2023	Fonctions supports dont alimentations électriques et fluides
10/10/2023	Politique de protection des intérêts et système de gestion intégré
29/11/2023	Gestion des écarts

BILAN DES TRANSPORTS DE MATIÈRES RADIOACTIVES

Les transports de matières radioactives sont soumis à une réglementation particulière contenue dans l'arrêté du 29 mai 2009 (arrêté TMD) pour les transports par route. En 2023, le bilan des transports de matières radioactives est le suivant :

Colis expédiés

Numéro UNO	Désignation officielle de transport	Matière transportée	Emballage	Nombre de colis	Nombre de transports
UN 2908	Matières radioactives, emballages vides comme colis exceptés	Emballage vide	Type B (U)	1	1
UN 2910	Matières radioactives, quantités limitées en colis excepté	Déchets, linge contaminé, sources, matériels	Colis excepté	22	15
UN 2912	Matières radioactives de faible activité spécifique (LSA-I)	Déchets solides	Type IP-2	2	2
UN 2913	Matières radioactives, objets contaminés superficiellement (SCO-I)	Outils contaminés	Type IP-1	2	1
UN 2915	Matières radioactives en colis de type A, qui ne sont pas sous forme spéciale, non fissiles	Sources	Type A	21	17
UN 2916	Matières radioactives en colis de type B (U), non fissiles	Sources	Type B (U)	87	30
UN 3329	Matières radioactives en colis de type B(U), fissiles	Eléments combustibles usés	Type b (U) fissile	1	1
			Totaux	136	67

Colis réceptionnées

Numéro UNO	Désignation officielle de transport	Matière transportée	Emballage	Nombre de colis	Nombre de transports
UN 2908	Matières radioactives, emballages vides comme colis exceptés	Emballage vide	Type b (U)	93	30
UN 2908	Matières radioactives, emballages vides comme colis exceptés	Emballage vide	Type B (U), fissile	1	1
UN 2910	Matières radioactives, quantités limitées en colis excepté	Sources, matériels divers, linge contaminé	Colis excepté	27	21
UN 2912	Matières radioactives de faible activité spécifique (LSA-I)	Matériel divers	Type IP-1	1	1
UN 2913	Matières radioactives, objets contaminés superficiellement (SCO-I)	Outils contaminés	Type IP-1	2	1
UN 2915	Matières radioactives en colis de type A, qui ne sont sous forme spéciale, non fissiles	Sources	Type A	6	2
			Totaux	130	56

EXERCICES DE PRÉPARATION AUX SITUATIONS D'URGENCE

En total, il y a eu 16 exercices en 2023 dont :

- Les exercices réalisés lors du recyclage des équipes Locales de Premier Secours (ELPS) intégrant chacun 2 exercices par équipe, soit 12 exercices réalisés en 2023,
- 1 exercice national de crise avec la participation du SDIS, de la préfecture, de l'ASN et de l'IRSN. Cet exercice a permis à l'ILL de gérer tous ses postes de crise avec succès, et a été riche d'enseignements tant pour l'organisation interne de l'ILL que pour les interfaces avec les interlocuteurs externes.
- 3 exercices simulant une situation de crise amenant à déclencher le PUI dont 1 avec les secours externes en présence du SDIS38.

PERSPECTIVES POUR L'ANNÉE 2024

Pour 2024, après deux cycles de fonctionnement du réacteur, le réacteur sera maintenu à l'arrêt jusqu'en 2025 afin de permettre la mise en œuvre d'engagements pris par l'ILL à l'issue du réexamen périodique :

- Le renforcement sismique du pont polaire du niveau C du bâtiment réacteur, l'amélioration de la fiabilité des chaînes de levage.
- La mise en place d'un système sprinkler automatique au niveau D du bâtiment réacteur.
- Le renforcement sismique des casemates des guides H1-H2.

L'ILL prévoit par ailleurs :

- La réalisation du plan d'actions à la suite du réexamen en conformité avec les priorités d'instructions des autorisations discutées avec l'ASN le 28 janvier 2021 et conformément à la décision ASN consécutive au réexamen de sûreté,
- La poursuite des opérations sur l'installation Détritiation pour pré-assainissement,
- La poursuite du projet de Renforcement de la Protection Physique,
- La Poursuite de l'instruction pour la mise à jour de l'Autorisation de Rejets et de Prélèvement des Eaux.

Par ailleurs l'ILL considère qu'il est important de maintenir la robustesse de son Système de Management Intégré (culture de conformité, suivi des engagements, adaptation des ressources au besoin).

3.3 DISPOSITIONS TECHNIQUES EN MATIÈRE DE RADIOPROTECTION

La radioprotection est l'ensemble des règles et des moyens de prévention et de surveillance visant à éviter ou à réduire l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants. A l'ILL, ces rayonnements proviennent essentiellement du réacteur lui-même (neutrons, gammas de haute énergie) et des substances radioactives produites par l'action des neutrons sur tous les matériaux de structure qu'ils rencontrent. La radioprotection repose sur trois principes fondamentaux :

- Le principe de justification : l'exposition aux rayonnements ionisants est justifiée lorsque le bénéfice qu'elle peut apporter est supérieur aux inconvénients de cette utilisation,
- Le principe d'optimisation ou principe **ALARA** : les expositions individuelles et collectives doivent être maintenues aussi bas qu'il est raisonnablement possible en dessous des limites et ce, compte tenu de l'état des techniques et des facteurs économiques et sociétaux,
- Le principe de limitation : les expositions individuelles ne doivent pas dépasser les limites de doses réglementaires.

La réponse au premier principe n'est autre que la raison d'être de l'ILL : faire progresser la connaissance scientifique. Le Service chargé de la radioprotection est le garant des deux principes suivants qui se traduisent, par exemple, par la mise en place de méthodes de travail appropriées ou d'écrans de protections vis-à-vis des rayonnements.

Les agents de radioprotection sont présents auprès des

personnels amenés à travailler dans des zones où les rayonnements ionisants sont présents afin d'effectuer des mesures et de proposer des moyens de protections adaptés.

Leurs missions sont :

- La responsabilisation des acteurs qui passe par la formation et la sensibilisation,
- La prise en compte technique du risque radiologique dès la conception des nouvelles installations à risques radiologiques comme, par exemple, les nouveaux instruments de physique. La réalisation systématique d'un bilan dosimétrique prévisionnel lors des opérations à risque, et la recherche de moyens de limitation et d'optimisation des doses par la mise en place d'écrans de protection vis-à-vis des rayonnements par exemple,
- L'utilisation de moyens techniques performants pour la surveillance en continu des niveaux de rayonnements dans l'installation. Les agents de radioprotection exploitent ainsi une « chaîne de santé », qui regroupe une quarantaine de capteurs dans l'installation. Ils réalisent également de nombreuses mesures dans les différentes zones de l'installation avant toute intervention de personnel ; ils sont présents lors des chantiers pour assister les opérateurs du point de vue de la radioprotection,
- L'organisation du suivi dosimétrique des personnels.

L'année 2023 a vu la mise en place d'un nouveau seuil d'exposition au cristallin et le suivi du personnel pour s'assurer de l'absence de dépassement du critère au sein de l'ILL.

FAITS MARQUANTS POUR 2023

Les actions suivantes ont été poursuivies en 2023 :

- Recyclage radioprotection : 221 personnes ont été recyclées (dont 21 LTV)
- Formation nouveaux arrivants : 94 personnes formées (dont 15 LTV)
- Examen du pôle de compétence en radioprotection en vue d'une optimisation (démarche **ALARA**).
- Avis du pôle de compétence en radioprotection sur les créations ou modifications d'équipement nucléaire ou d'activité se déroulant en milieu nucléaire.

DOSIMÉTRIE DU PERSONNEL : RÉSULTATS

L'évaluation des doses reçues par les salariés en matière d'**exposition externe** est réalisée au moyen de deux types de dosimétrie conformément à la réglementation :

- La dosimétrie passive, qui repose sur l'utilisation de dosimètres à lecture différée dont la durée de port est le mois (travailleurs catégorie A) ou le trimestre (travailleurs catégorie B) : les travailleurs exposés aux rayonnements sont classés en catégorie A ou B selon qu'ils sont susceptibles de recevoir, dans les conditions normales de travail, des doses supérieures ou non à 6 mSv/an (le **Sievert** Sievert étant l'unité de mesure des doses). La limite annuelle pour les travailleurs de catégorie A est de 20 mSv sur 12 mois consécutifs. Cette dosimétrie est présentée dans le tableau ci-après pour l'ensemble du personnel,
- La dosimétrie opérationnelle qui repose sur l'utilisation de dosimètres électroniques permettant de mesurer en temps réel l'exposition reçue et qui délivrent des alarmes sur seuils prédéfinis de dose ou de débit de dose.

La dosimétrie opérationnelle du personnel pour l'année 2023 s'élève à 75 H.mSv (ILL, expérimentateurs extérieurs, entreprises intervenantes). Le tableau suivant montre la répartition par catégorie de personnel sur l'année 2023 :

Année	Dose collective agents ILL	Dose max agents ILL	Nb agents ILL	Dose collective expérimentateurs	Dose max Expérimentateurs	Nb expérimentateur	Dose collective entreprises extérieures	Dose max entreprises extérieures	Nb agent entreprises extérieures
2023	54,2	0,86	514	15,6	0,34	1560	5,20	0,23	243
2022	54,4	2,52	517	1,9	0,2	117	10,4	0,43	386
2021	65,26	1,73	539	15,29	0,71	950	6,56	0,27	338

Aucun salarié n'a reçu une dose supérieure à 1 mSv en 2023. La dose collective ILL est inférieure à 2021, dernière année où le réacteur avait fonctionné, et donc accueilli un grand nombre d'utilisateurs. Les doses reçues individuellement restent donc faibles.

4 ÉVÈNEMENTS SIGNIFICATIFS EN MATIÈRE DE SÛRETÉ ET DE RADIOPROTECTION

Le retour d'expérience des installations nucléaires est organisé en priorité sur la base de la détection et de l'analyse des écarts et anomalies d'exploitation (par exemple, constatation lors d'un essai périodique, d'un défaut d'efficacité d'un filtre de la ventilation nucléaire).

L'ASN a défini aux exploitants nucléaires des critères précis de déclaration des événements significatifs dans les domaines de la sûreté, de la radioprotection et des transports. Chaque événement significatif fait l'objet d'une déclaration rapide, puis d'une analyse qui vise à établir les faits, à en comprendre les causes, à examiner ce qui pourrait se passer dans des circonstances différentes, pour finalement décider des meilleures solutions à apporter aux problèmes rencontrés. L'analyse des événements significatifs est ainsi un outil essentiel d'évaluation continue et d'amélioration de la sûreté.

Les événements déclarés à l'ASN, à l'exception des événements liés à l'environnement, sont accompagnés d'une proposition de classement dans l'échelle INES (voir tableau ci-dessous). Cette échelle est utilisée au plan international depuis 1991 et permet à l'ASN de classer tous les événements se produisant dans les Installations Nucléaires de Base et lors des transports radioactifs. Elle se fonde sur trois critères de classement (colonnes 2, 3 et 4 du tableau).

	CONSEQUENCES A L'EXTERIEUR DU SITE	CONSEQUENCE A L'INTERIEUR DU SITE	DEGRADATION DE LA DEFENSE EN PROFONDEUR
7 ACCIDENT MAJEUR	Rejet majeur : effets considérables sur la santé et l'environnement		
6 ACCIDENT GRAVE	Rejet important susceptible d'exiger l'application intégrale des contre-mesures prévues		
5 ACCIDENT	Rejet limité susceptible d'exiger l'application partielle des contre-mesures prévues	Endommagement grave du cœur du réacteur ou des barrières radiologiques	
4 ACCIDENT	Rejet mineur : exposition du public de l'ordre des limites prescrites	Endommagement grave du cœur du réacteur ou des barrières radiologiques ou exposition mortelle d'un travailleur	
3 INCIDENT GRAVE	Très faible rejet : exposition du public représentant au moins un pourcentage des limites fixées par le guide AIEA	Contamination grave ou effets aigus sur la santé d'un travailleur	Accident évité de peu ou perte des barrières
2 INCIDENT		Contamination importante ou surexposition d'un travailleur	Incidents assortis de défaillances importantes des dispositions de sécurité
1 ANOMALIE			Anomalie sortant du régime de fonctionnement autorisé
0 ECART			

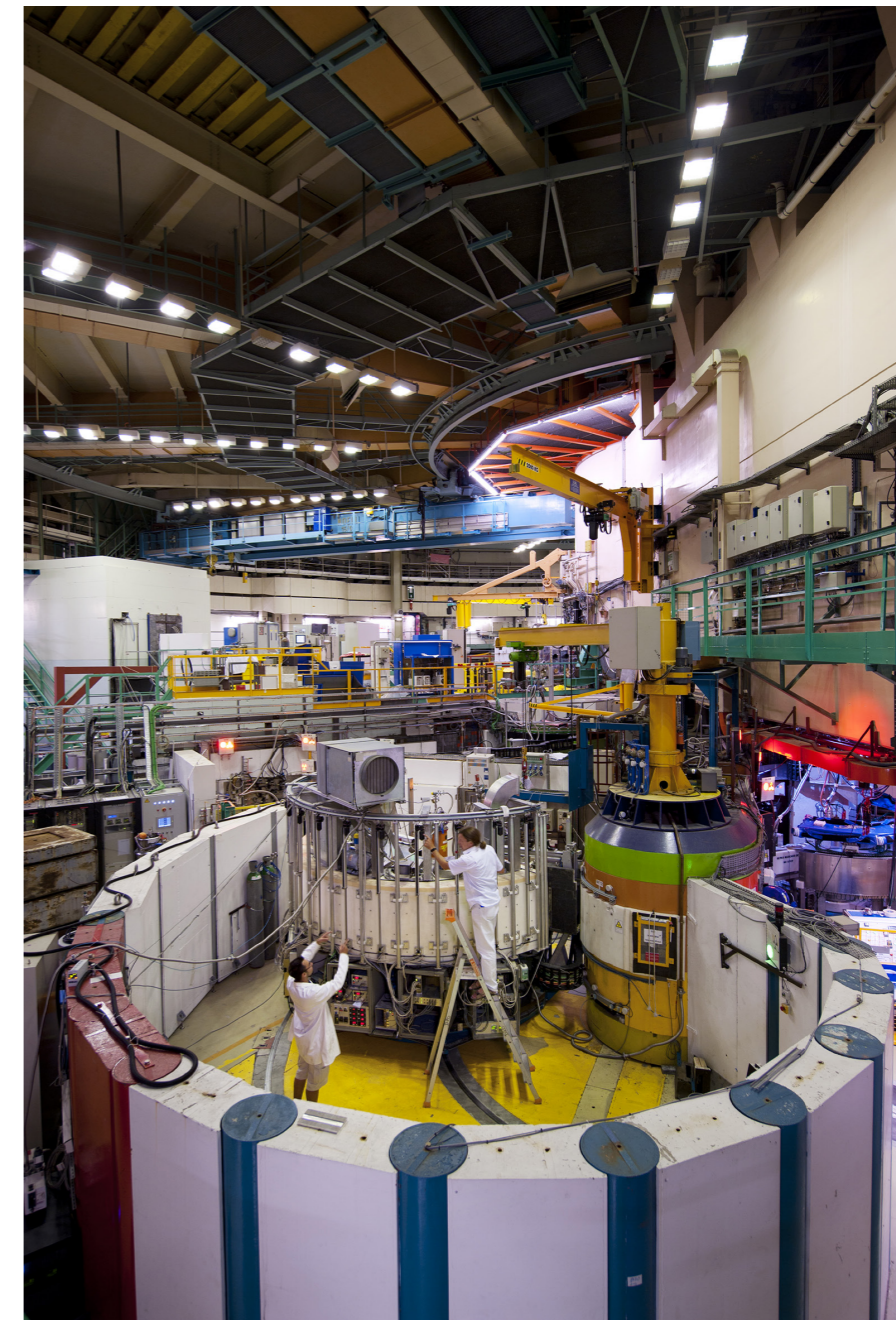
Tableau échelle INES.

En France, plusieurs centaines d'événements sont classés chaque année au niveau 0 et environ une centaine au niveau 1. Le niveau 2 ne concerne que quelques événements par an. Les incidents de niveaux plus élevés sont rares, y compris dans le monde. Le niveau maximal atteint en France est le niveau 4, avec, en 1980, l'endommagement du cœur à la centrale de Saint Laurent des Eaux. Le dernier accident de niveau 4 est l'accident de criticité de Tokai-mura en 1999 qui a fait deux victimes et occasionné de faibles rejets radioactifs. Le niveau 5 a été atteint en 1979 aux Etats Unis avec l'accident de la centrale de Three Mile Island (fusion partielle du cœur). L'accident ayant affecté 4 des 6 réacteurs de la centrale de Fukushima Daiichi a été classé au niveau 7, comme l'accident de Tchernobyl en 1986.

4.1 BILAN 2023

En 2023, 5 événements sont survenus et ont été déclarés à l'Autorité de Sûreté Nucléaire (5 au niveau 0 sur l'échelle INES) :

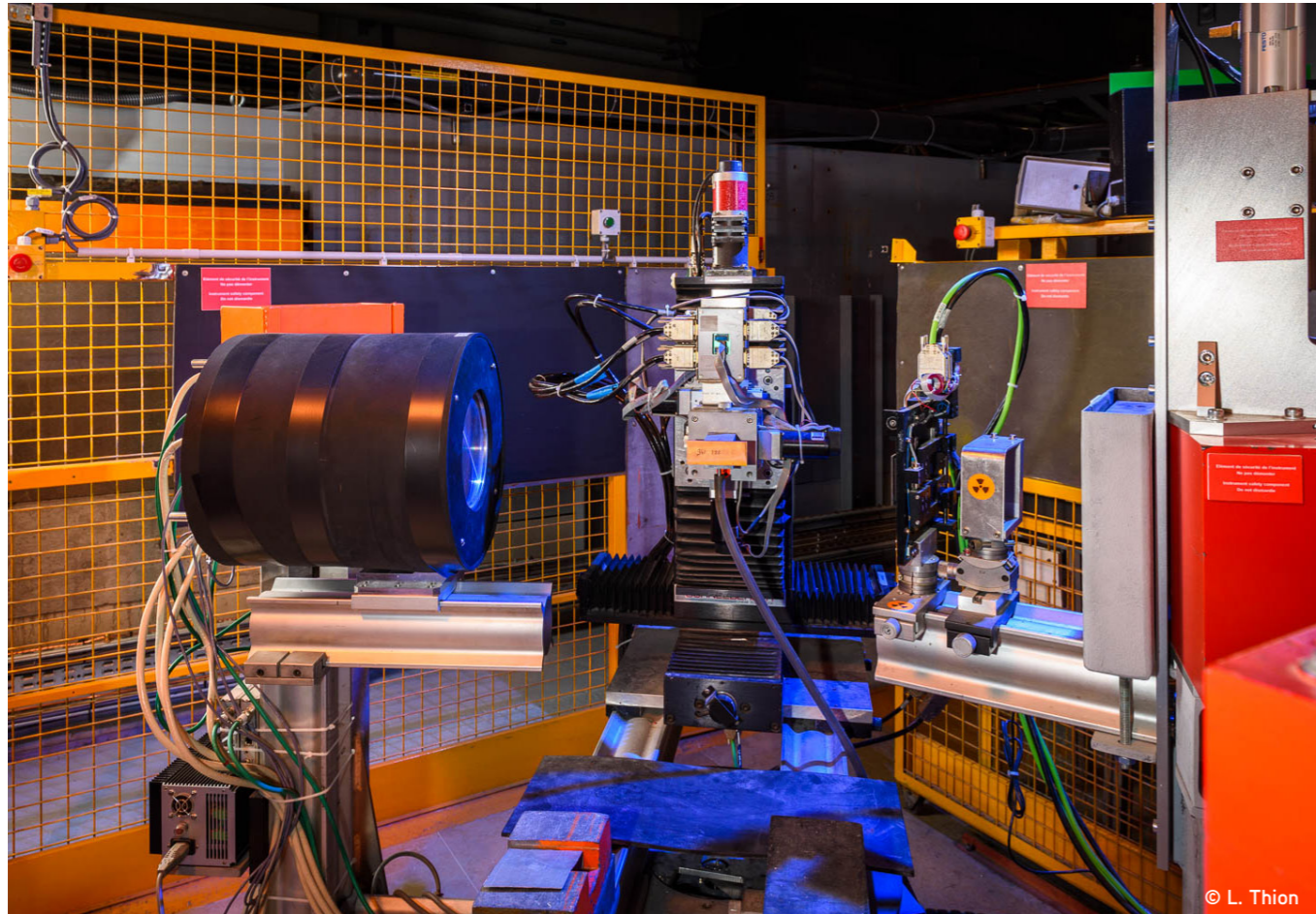
02/03/2023	Arrêt du réacteur sur débit de refroidissement secondaire inférieur à 250 m ³ /h au niveau des échangeurs primaire-secondaire
14/03/2023	Déclenchement intempestif des circuits de sauvegarde de confinement du bâtiment réacteur (CDS et GAS)
28/03/2023	Départ de feu en zone contrôlée dans un laboratoire de l'EMBL
20/09/2023	Arrêt du réacteur sur défaut du compresseur C du circuit de réfrigération des sources froides
02/12/2023	Arrêt du réacteur suite à l'ouverture du disjoncteur ALC2 du circuit de sécurité



D20. Diffractomètre à deux axes haute intensité à résolution variable.

5 RÉSULTATS DES MESURES DES REJETS LIQUIDES ET GAZEUX

Les rejets liquides et gazeux de l'ILL sont régis par l'arrêté du 3 août 2007. Cet arrêté a été établi sur la base d'une étude d'impact environnemental présentée en enquête publique en 2007.



T13A - Un instrument de test pour l'optique des neutrons exploité par le groupe SON.

5.1 LES REJETS GAZEUX

La surveillance des effluents radioactifs gazeux est assurée au niveau de 2 émissaires, en aval des systèmes de filtration des effluents :

- La cheminée de 45 m du réacteur,
- La cheminée de 17 m du bâtiment de détritiation,

Les rejets gazeux sont classés en 5 catégories de radionucléides :

- Les gaz autres que le tritium,
- Le tritium,
- Les iodes,
- Les aérosols,
- Le carbone 14.

Les 5 catégories sont quantifiées à la cheminée de 45 mètres du réacteur, par deux ensembles de chaînes de mesure redondantes. Le bâtiment de détritiation n'étant susceptible de rejeter que du tritium, sa cheminée de 17 mètres est équipée de deux mesures tritium redondantes.

Les rejets en gaz sont quantifiés par la voie de mesure des gaz temps réel et par un prélèvement représentatif hebdomadaire mesuré en laboratoire pour établir le spectre des radioéléments gazeux. Le tritium et le carbone 14 sont piégés en continu par barbotage, les barboteurs étant relevés et mesurés chaque semaine en laboratoire. Les iodes et les aérosols sont prélevés en continu respectivement sur cartouche de charbon actif et sur filtre mesurés également chaque semaine en laboratoire.

Le tableau suivant présente les rejets gazeux en 2023 exprimés en Tera-Becquerel (TBq).

EFFLUENTS GAZEUX	REJETS 2023	LIMITE ANNUELLE Arrêté du 03/08/2007
Gaz rares (TBq)	1.3	10
Tritium (TBq)	12	75
Carbone 14 (TBq)	$7.5 \cdot 10^{-2}$	2
Iodes (TBq)	$1.2 \cdot 10^{-6}$	10^{-3}
Aérosols (TBq)	$4.2 \cdot 10^{-6}$	10^{-4}

Le principal gaz rare radioactif émis est l'argon 41 (^{41}Ar) qui possède une période radioactive courte (< 2 heures). Ce gaz provient majoritairement de l'activation par les neutrons de l'air contenu dans l'eau légère de la piscine réacteur.

Le tritium (^3H), dont la période radioactive est de 12 ans, provient quant à lui principalement de l'activation du deutérium, contenu dans l'eau lourde. Une infime partie de ce tritium est rejetée par évaporation lors des ouvertures de circuits contenant de l'eau lourde.

Le carbone 14 (^{14}C), dont la période radioactive est de 5730 ans, provient principalement de l'activation par les neutrons de l'oxygène 17 (^{17}O).

L'iode 131 (^{131}I), dont la période est de 8 jours, est un produit de fission. Il peut provenir principalement, dans le cas des rejets, d'une expérience située sur l'un des canaux de neutrons où sont irradiées de petites cibles de matière fissile.

Le radioélément prépondérant dans les aérosols est le cobalt 60 (^{60}Co).

Les rejets gazeux restent en deçà des autorisations avec une marge significative.

Il est à noter qu'en ce qui concerne les rejets d'halogènes et d'aérosols, les activités rejetées sont rarement supérieures à la limite de détection, de l'ordre de quelques millièmes de l'autorisation de rejet.

5.2 LES REJETS LIQUIDES

L'émissaire par lequel sont effectués et contrôlés les rejets liquides dans l'Isère est situé 1 km en amont de son confluent avec le Drac. Il s'agit d'une canalisation dont l'extrémité est placée dans le lit de l'Isère. C'est en ce point qu'est réglementée l'autorisation figurant dans l'arrêté du 3 août 2007. Avant rejet dans la canalisation menant au point de rejet, les effluents liquides sont stockés dans des cuves internes à l'installation. Ils y sont caractérisés sur la base d'un prélèvement représentatif effectué après brassage de la cuve. Les mesures effectuées sont les suivantes :

- Emetteurs beta/gamma,
- Iodes,
- Tritium,
- Carbone 14.

Le tableau suivant présente le bilan pour 2023, pour un volume rejeté de 450 m³ :

EFFLUENTS LIQUIDES	REJETS 2023	LIMITE ANNUELLE Arrêté du 03/08/2007
Tritium (TBq)	2.4 10 ⁻¹	1
Carbone 14 (TBq)	8.9 10 ⁻⁵	1.5 10 ⁻³
Iodes (TBq)	1.7 10 ⁻⁷	1 10 ⁻⁴
Emetteurs beta/gamma (TBq)	3.3 10 ⁻⁵	1 10 ⁻³

Les rejets sont largement en deçà des autorisations. L'absence d'émetteurs alpha dans les rejets est également vérifiée à la fois dans les rejets liquides, le seuil de décision étant 0.1 Bq.l⁻¹, et dans les rejets gazeux, le seuil de décision étant 0.0001 Bq.m⁻³.

5.3 LES REJETS NON RADIOACTIFS

Les rejets non radioactifs concernent les eaux pluviales et les eaux issues du pompage dans la nappe phréatique. Ces eaux sont rejetées dans l'Isère. L'arrêté rejet du 3 août 2007 donne des limites en termes de concentrations moyennes sur 24 heures. Ces eaux font l'objet de contrôles spécifiés dans l'arrêté rejet du 3 août 2007 et de limites associées.

Le tableau suivant compare les valeurs maximales mesurées et les limites. L'absence de radioactivité est également contrôlée.

PARAMÈTRE MESURÉ	VALEUR MAXIMALE 2023 en mg/l	VALEUR MAXIMALE AUTORISÉE Arrêté du 03/08/2007
pH	8,4	6<pH<8,5
DBO5 (Demande biologique en oxygène à 5 jours)	2,2	30
DCO (Demande chimique en oxygène)	10	125
MEST (Matières en suspension totales)	5,3	35
Azote global	1,69	30
Phosphore total	0,017	10
Hydrocarbures totaux	0,05	10
Sulfates	50,2	600
Carbonates	2	100
Nitrates	2,6	30
Sels	598	3 0000
Métaux	0,73	5

5.4 IMPACT DES REJETS SUR L'ENVIRONNEMENT

En 2007, une étude d'impact a été réalisée afin d'évaluer par le calcul les conséquences radiologiques maximales des rejets liquides et gazeux de l'ILL pour les populations résidant à proximité de l'installation. Le terme source (c'est-à-dire les quantités d'effluents gazeux et liquides) pris en compte dans cette étude, correspond aux limites de rejets par catégories figurant dans l'arrêté rejet du 3 août 2007. L'impact des rejets de l'année 2023 a été calculé en retenant les mêmes hypothèses que dans l'étude de référence.

IMPACT DES REJETS GAZEUX

Le calcul de l'impact des rejets gazeux consiste à modéliser les transferts des éléments radioactifs dans l'environnement depuis la cheminée du réacteur jusqu'à l'homme, ce, pour toutes les voies d'exposition possibles qui sont :

- L'exposition externe due à l'irradiation par les radioéléments présents dans le panache radioactif rejeté à la cheminée de l'installation,
- L'exposition externe due aux dépôts au sol : elle résulte du dépôt au sol d'une fraction des radioéléments contenus dans le panache,
- L'exposition interne due à l'inhalation des radioéléments contenus dans le panache,
- L'exposition interne due à l'ingestion de produits végétaux et animaux, eux-mêmes contaminés par le dépôt d'une fraction des radioéléments contenus dans le panache.

Les calculs reposent sur des modèles reconnus et sur un grand nombre de paramètres et d'hypothèses dont la validité repose soit sur des références bibliographiques reconnues, soit sur des études de sensibilité afin d'aboutir à un calcul majorant. Par exemple, pour ce qui concerne l'exposition due à l'ingestion de produits végétaux et animaux, il est supposé que ces derniers sont tous produits localement et qu'ils sont donc contaminés par les dépôts du panache radioactif (hypothèses correspondant au groupe de référence majorant « Fontaine en autarcie » dans l'étude d'impact de 2007).

IMPACT DES REJETS LIQUIDES

Le calcul de l'impact des rejets liquides consiste à modéliser les transferts des éléments radioactifs dans l'environnement depuis l'émissaire situé dans l'Isère jusqu'à l'homme. Il dépend du transfert de la radioactivité le long du cours d'eau (dilution, sédimentation), des transferts dans les sols, les végétaux dus à l'irrigation, des transferts aux animaux via l'eau en tant qu'eau de boisson ou via les végétaux contaminés qu'ils ingèrent.

Les voies d'exposition possible pour l'homme sont :

- L'exposition interne par ingestion directe d'eau contaminée,
- L'exposition interne par ingestion de poissons,
- L'exposition interne par ingestion de produits végétaux et animaux contaminés par l'irrigation.

Comme pour le calcul des rejets gazeux, les modèles utilisés sont des modèles reconnus et les hypothèses sont majorantes, comme par exemple l'hypothèse faite que toute l'eau de boisson est constituée d'eau de l'Isère (hypothèses correspondant au groupe de référence majorant « Saint-Egrève Max » dans l'étude d'impact de 2007).

Le tableau suivant présente les résultats des calculs issus du modèle de l'étude d'impact radiologiques (CERES) ; les doses efficaces sont en micro (μ) Sievert (soit 1 millionième de sievert).

2023	ADULTE (μSV/AN)	ENFANT (μSV/AN)	BÉBÉ (μSV/an)
Impact rejets gazeux	0,14	0,13	0,14
Impact rejets liquides	0,0024	0,0022	0,0035

L'impact des rejets est donc extrêmement faible. En effet, il faut savoir que la dose moyenne due à la radioactivité naturelle et médicale est de 4500 μSievert par an en France.

6 GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

En matière de gestion des déchets radioactifs, la priorité est donnée à l'envoi des déchets aussitôt que raisonnablement possible après leur production vers les filières d'évacuation existantes. L'ensemble des zones de production est sectorisé afin d'identifier en amont les zones de production des déchets nucléaires et les zones de production de déchets conventionnels. Le « zonage déchet » de l'installation est décrit dans un document et matérialisé sur le terrain de façon claire pour les utilisateurs. Le SRSE a la responsabilité de la gestion des déchets.

6.1 QUANTITÉ DE DÉCHETS ÉVACUÉS EN 2023

Nucléaire diffus (déchets de laboratoire) vers ANDRA (CSA)
6 fûts PEHD 120 l
5 bonbonnes 30 l
Déchets solides FA incinérables vers CENTRACO
72 fûts (14,4 m ³)
Déchets solides TFA vers ANDRA (CIRES)
18 fûts métalliques (3,6 m ³)



Dispositif de prélèvement de sédiments.

6.2 QUANTITÉ DE DÉCHETS PRÉSENTS DANS L'INSTALLATION EN FIN D'ANNÉE 2023

Nature des déchets	Classification des déchets	N° de référence dans l'Étude Déchets	Radio-éléments	Déchets conditionnés		Déchets en attente de conditionnement	
				Volume	Activité	Volume	Activité
Déchets tritiés							
Huile/solvant	HA / MA-VC	21N	³ H	/	/	0.071 m ³	3.5 TBq
Déchets solides	FMA-VC	26N	³ H	/	/	0.5 m ³	100 TBq
REI							
REI	FMA-VC	17N, 18N	PA, ³ H	/	/	3 m ³	1.92 TBq
Déchets d'exploitation							
Déchets solides en casiers, caissons, fûts, pièces urinaires	TFA	14N, 15N	PA	20.5 m ³	130 MBq	138 m ³	1 GBq
Blocs béton	TFA	14N, 15N	PA	/	/	183 m ³	1.1 GBq
Déchets solides en Caisson Standard	FA-VC	8N, 9N, 10N, 11N	PA, ³ H, α	30 m ³	30 GBq	9 m ³ (15 m ^{3*})	36 GBq
Déchets solides en caisson Pré Bétonné	MA-VC	4N, 5N, 6N, 7N	PA, ³ H, α	5 m ³	50 GBq	3.25 m ³ (81 m ^{3*})	23.15 TBq
Déchets solides en Poubelle de Décroissance	HA	1N, 2N, 3N	PA, ³ H, α	/	/	0.97 m ³	1808 TBq
Déchets solides incinérables en fûts PEHD	FA-VC	12N	PA, ³ H	9.4 m ³	13 GBq	0.6 m ³	0,83 GBq
Déchets liquides	FMA-VC	22N, 23N	PA, ³ H, α	0.67 m ³	2 MBq	1 m ³	3.1 TBq
Déchets de laboratoires	FA-VC	20N	³ H, ¹⁴ C, ³² P	0.69 m ³	10 MBq	/	/

* : volume du colis fini en entreposage



Vue générale d'une station extérieure de surveillance.



Comptage d'échantillons aqueux par scintillation liquide.



Préparation du poisson avant analyse.



Broyage de végétaux après séchage à l'étuve.



Mât météorologique de l'ILL.

AIEA : L'Agence Internationale de l'Énergie Atomique est une organisation qui dépend directement du Conseil de sécurité des Nations unies. Fondée en 1957 et basée à Vienne, en Autriche, elle cherche à promouvoir les usages pacifiques de l'énergie nucléaire et à limiter le développement de ses applications militaires.

ALARA : As Low As Reasonably Achievable.

ANDRA : Agence Nationale pour la gestion de Déchets Radioactifs : Etablissement public à caractère industriel et commercial chargé de la gestion et du stockage des déchets radioactifs solides.

ARPE : abréviation de l'arrêté du 3 août 2007 autorisant l'ILL à poursuivre les prélèvements d'eau et les rejets d'effluents liquides et gazeux pour l'exploitation du site nucléaire de Grenoble (Isère).

ASN : Autorité de sûreté Nucléaire. Autorité administrative indépendante créée par la loi n° 2006-686 du 13 Juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité nucléaire (dite « loi TSN »), chargée de contrôler les activités nucléaires civiles en France. L'ASN assure, au nom de l'état, le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France pour protéger les travailleurs, les patients, le public et l'environnement des risques liés à l'utilisation du nucléaire. Elle contribue à l'information des citoyens (www.asn.fr).

BECQUEREL (TBQ) : unité de mesure de la radioactivité, c'est-à-dire le nombre d'atomes radioactifs qui se désintègrent par unité de temps (1 Bq = 1 désintégration par seconde). On utilise couramment des multiples du Bq : 1 MBq = 1 million de Bq, 1 GBq = 1 milliard de Bq, 1 TBq = 1000 milliard de Bq.

EPI : Equipe de Première Intervention.

ELPS (ex EPI) : Equipe Locale de Premier Secours

EXPOSITION EXTERNE : l'exposition externe de l'homme aux rayonnements provoque une irradiation externe. Elle a lieu lorsque celui-ci se trouve exposé à des sources de rayonnements qui lui sont extérieures (substances radioactives sous forme de nuage ou de dépôt sur le sol, sources à usage industriel ou médical...).

EXPOSITION INTERNE : l'exposition interne est possible lorsque des substances radioactives se trouvent à l'intérieur de l'organisme. Celles-ci provoquent une irradiation interne. Elles ont pu pénétrer par inhalation, par ingestion, par blessure de la peau, et se distribuent ensuite dans l'organisme. On parle alors de contamination interne. Celle-ci ne cesse que lorsque les substances radioactives ont disparu de l'organisme après un temps plus ou moins long par élimination naturelle et décroissance radioactive ou par traitement.

FISSION : la fission nucléaire est le phénomène par lequel le noyau d'un atome lourd (noyau qui contient beaucoup de nucléons, tels les noyaux d'uranium et de plutonium) est divisé en 2 ou 3 nucléides plus légers après une collision avec un neutron ou de façon spontanée. Cette réaction nucléaire se traduit aussi par l'émission de neutrons, de rayonnements gamma et un dégagement d'énergie très important (environ 200 MeV, à comparer aux énergies des réactions chimiques qui sont de l'ordre de l'eV).

INES : International Nuclear Event Scale.

PÉRIODE RADIOACTIVE : c'est le temps au bout duquel l'activité (nombre de désintégrations par seconde) d'une source radioactive a décru d'un facteur 2.

RAYONNEMENTS IONISANTS : les éléments radioactifs présents dans notre environnement émettent, lors de leurs désintégrations, des rayonnements alpha, bêta et gamma. Les rayonnements gamma sont des ondes électromagnétiques tandis que les rayonnements alpha et bêta sont des particules qui sont respectivement un noyau d'hélium et un électron. Ces rayonnements produisent des ionisations dans la matière qu'ils traversent et sont de ce fait potentiellement dangereux pour les organismes vivants.

SDIS : Service Départemental d'Incendie et de Secours.

SFH : Source froide horizontale.

SFV : Source froide verticale.

SIG : Système de Gestion Intégré.

SMI : Système de Management Intégré. Le système de management intégré assure la mise en œuvre et l'amélioration de la protection des intérêts en garantissant que les autres impératifs de l'exploitant, par exemple les impératifs de qualité, les impératifs économiques, la prévention et la lutte contre les actes de malveillance, ou d'autres éléments de contexte, ne sont pas considérés séparément des exigences relatives à la protection des intérêts, afin de prévenir leur éventuel impact négatif sur celle-ci.

TFA : Très Faible Activité (déchet).

TGV : Tube Guide Vertical.

TRD : Tampon de rejet différé.

MESURE DES EFFETS DES RAYONNEMENTS SUR L'HOMME

- La dose absorbée par la cible des rayonnements est définie comme l'énergie reçue par unité de masse de la cible, en joules par kilogramme, c'est-à-dire en Grays (Gy) dans le système SI. On définit également un débit de dose, c'est-à-dire l'énergie absorbée par kilogramme et par unité de temps, c'est-à-dire en gray par heure (Gy/h).
- La dose équivalente, H, est la dose absorbée pondérée d'un facteur représentant la nocivité du type de rayonnement considéré. L'unité du Système International SI est le **SIVERT** (Sv).
- **LA DOSE EFFICACE**, E est la somme pondérée des doses équivalentes H_T aux organes et tissus T irradiés. Elle rend compte du risque d'apparition de cancer. L'unité utilisée est également le Sievert.

8 RECOMMANDATIONS DU CSE DE L'ILL



Comité Social et Economique
INSTITUT MAX VON LAUE - PAUL LANGEVIN
CS 20156
38042 Grenoble Cedex 9
Tél. 04 76 20 72 96

MK/sr

Avis du CSE de l'ILL

Objet :

Rapport « Transparence et Sécurité Nucléaire » 2023 du CSE ILL

Lors de la séance du 25 juin 2024, le CSE a validé le rapport TSN à la majorité de ses membres.

Grenoble, le 28 juin 2024

M. KREUZ
Secrétaire du CSE ILL