



Autorité environnementale

**Avis délibéré de l’Autorité environnementale
sur la modification substantielle du grand
accélérateur national d’ions lourds (14)**

n°Ae : 2022-117

Avis délibéré n°2022-117 adopté lors de la séance du 9 mars 2023

Préambule relatif à l'élaboration de l'avis

L'Ae¹ s'est réunie le 9 mars 2023 en visioconférence. L'ordre du jour comportait, notamment, l'avis sur la modification substantielle du grand accélérateur national d'ions lourds (GANIL).

Ont délibéré collégalement : Hugues Ayphassorho, Sylvie Banoun, Nathalie Bertrand, Karine Brulé, Marc Clément, Virginie Dumoulin, Bertrand Galtier, Louis Hubert, Christine Jean, François Letourneux, Serge Muller, Jean-Michel Nataf, Alby Schmitt, Véronique Wormser

En application de l'article 4 du règlement intérieur de l'Ae, chacun des membres délibérants cités ci-dessus atteste qu'aucun intérêt particulier ou élément dans ses activités passées ou présentes n'est de nature à mettre en cause son impartialité dans le présent avis.

Étaient absent(e)s : Barbara Bour-Desprez, Philippe Ledenvic, Éric Vindimian

* *

L'Ae a été saisie pour avis par le préfet du Calvados, l'ensemble des pièces constitutives du dossier ayant été reçues le 20 décembre 2022. Cette saisine étant conforme aux dispositions de l'article R. 122-6 du code de l'environnement relatif à l'autorité environnementale prévue à l'article L. 122-1 du même code, il en a été accusé réception. Conformément à l'article R. 122-7 du même code, l'avis a vocation à être rendu dans un délai de deux mois.

Conformément aux dispositions de ce même article, l'Ae a consulté par courriers en date du 9 janvier 2023 :

- le préfet de département du Calvados, qui a transmis une contribution en date du 14 février 2023,
- le directeur général de l'Agence régionale de santé (ARS) de Normandie,

En outre, sur proposition des rapporteurs, l'Ae a consulté par courrier en date du 9 janvier 2023 :

- la direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement de Normandie,

Sur le rapport de Éric Vindimian et Véronique Wormser, qui se sont rendus sur site le 21 février 2023, après en avoir délibéré, l'Ae rend l'avis qui suit.

Pour chaque projet soumis à évaluation environnementale, une autorité environnementale désignée par la réglementation doit donner son avis et le mettre à disposition du maître d'ouvrage, de l'autorité décisionnaire et du public. Cet avis porte sur la qualité de l'étude d'impact présentée par le maître d'ouvrage et sur la prise en compte de l'environnement par le projet. Il vise à permettre d'améliorer sa conception, ainsi que l'information du public et sa participation à l'élaboration des décisions qui s'y rapportent. L'avis ne lui est ni favorable, ni défavorable et ne porte pas sur son opportunité.

La décision de l'autorité compétente qui autorise le pétitionnaire ou le maître d'ouvrage à réaliser le projet prend en considération cet avis. Une synthèse des consultations opérées est rendue publique avec la décision d'octroi ou de refus d'autorisation du projet (article L. 122-1-1 du code de l'environnement). En cas d'octroi, l'autorité décisionnaire communique à l'autorité environnementale le ou les bilans des suivis, lui permettant de vérifier le degré d'efficacité et la pérennité des prescriptions, mesures et caractéristiques (article R. 122-13 du code de l'environnement).

Conformément au V de l'article L. 122-1 du code de l'environnement, le présent avis de l'autorité environnementale devra faire l'objet d'une réponse écrite de la part du maître d'ouvrage qui la mettra à disposition du public par voie électronique au plus tard au moment de l'ouverture de l'enquête publique prévue à l'article L. 123-2 ou de la participation du public par voie électronique prévue à l'article L. 123-19.

Le présent avis est publié sur le site de l'Ae. Il est intégré dans le dossier soumis à la consultation du public.

¹ Formation d'autorité environnementale de l'Inspection générale de l'environnement et du développement durable (IGEDD)

Synthèse de l'avis

Le Grand accélérateur national d'ions lourds (Ganil) est un « *très grand équipement de recherche* »², complexe d'accélérateurs d'ions stables et radioactifs relié à des zones expérimentales. L'installation nucléaire de base (INB) n°113 constitue le cœur de ces équipements. Instituée en 1976 sous la forme d'un groupement d'intérêt économique (GIE) regroupant alors le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) et le Centre national de la recherche scientifique (CNRS). Le GIE est maître d'ouvrage du projet « Desir » (pour Désintégration, excitation et stockage d'ions radioactifs) d'extension de cette INB. Après la création des équipements Spiral 1 au début des années 2000 et la phase 1 de Spiral 2 en 2012, l'installation Desir consiste en la création d'un nouveau hall d'expériences pouvant utiliser les deux faisceaux que produit déjà l'installation constitués d'ions instables (radioactifs), de basse énergie. Elle nécessite d'étendre le périmètre de l'INB, soumis à la réglementation spécifique aux installations nucléaires, à l'intérieur de la surface occupée par l'ensemble du Ganil.

Pour l'Ae, les principaux enjeux environnementaux du projet concernent les effets sur la santé humaine et les écosystèmes d'éventuels rejets de substances chimiques, toxiques ou radioactives, dans l'air et les eaux.

L'étude d'impact, proportionnée aux enjeux, est centrée sur les rejets radiologiques et chimiques de l'installation et décrit de façon pertinente les états successifs de l'installation Ganil originelle, de la phase Spiral 1, de la phase 1 de Spiral 2 et de l'installation Desir. Les aires d'étude sont adaptées aux enjeux, en particulier sanitaires. Les incidences et mesures prises pour les éviter ou les réduire sont décrites et paraissent pertinentes. Le fonctionnement de l'installation Desir s'appuie pour l'essentiel sur des installations, dispositifs, mesures de suivi et de surveillance existants et ayant jusqu'ici fait leurs preuves. Les impacts de la phase de travaux sont réduits par le choix d'un stockage de déblai sur le site du Ganil et d'un bâti intégré au sein de la plateforme existante. L'enjeu relatif aux espèces végétales exotiques envahissantes, principal enjeu de biodiversité, est identifié et des mesures sont prévues.

Les recommandations de l'Ae portent sur :

- l'accessibilité du dossier pour un public non scientifique, justifiant de réviser le résumé non technique afin qu'il soit compréhensible par le public,
- la caractérisation plus fine de l'évolution de la fréquentation du site par les scientifiques et ses conséquences en termes de fonctionnement du site ;
- les dernières données environnementales disponibles, à joindre au dossier d'enquête publique,
- les effets des substances chimiques dont la toxicité est établie au-dessus d'un seuil, en comparant pour chaque substance sa concentration totale dans l'environnement avec le seuil la concernant ;
- le retour d'expérience sur les situations incidentelles et accidentelles des installations du Ganil ou de même type.

L'Ae explicite ces recommandations dans l'avis détaillé.

² Infrastructure d'intérêt national et international permettant à la communauté scientifique de réaliser des expérimentations suite à leur sélection par des appels à projets.

Avis détaillé

1. Contexte, présentation du projet et enjeux environnementaux

1.1 Contexte, périmètre et localisation du projet

Le Grand accélérateur national d'ions lourds (Ganil) est un laboratoire, unique en France, chargé d'expériences et de projets scientifiques en physique nucléaire ainsi que dans des domaines pluridisciplinaires ayant recours aux faisceaux d'ions. Il est institué sous la forme d'un groupement d'intérêt économique (GIE) créé en 1976 regroupant alors le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) et le Centre national de la recherche scientifique (CNRS). Ce GIE est maître d'ouvrage du projet. Il est classé dans la catégorie des « *très grands équipements de recherche* ».

Le Ganil est une installation nucléaire de base (INB 113) au sens de l'article R.593-3 du code de l'environnement. Il est situé sur le campus Jules Horowitz au nord de Caen et met en œuvre un complexe d'accélérateurs d'ions stables et radioactifs reliés à des zones d'expérimentations. Il emploie 250 à 300 permanents et accueille un public international de chercheurs et d'intervenants (environ 1 000 scientifiques), issus notamment d'organismes partenaires européens.

La réalisation du Ganil a comporté plusieurs étapes : la construction initiale, puis l'ajout des équipements (accélérateurs et salles d'expérimentation) Spiral 1, puis Spiral 2 dont la phase 1 s'est achevée en 2019. Le projet Desir (Désintégration, excitation et stockage d'ions radioactifs), objet du présent avis constitue la phase 1+ de Spiral 2.

D'après le dossier, l'installation Desir « *constitue un nouvel espace expérimental dédié aux études de très grande précision, dans les meilleures conditions possibles, des propriétés des noyaux exotiques³ dans leur état fondamental* ». L'installation mettra à disposition des chercheurs des instruments de mesure et plusieurs faisceaux d'ions radioactifs issus de Spiral 1, d'une installation de Spiral 2 phase 1 nommée S3 et à terme de Spiral 2 phase 2. Les études qui seront permises par Desir concerneront la connaissance de la structure du noyau atomique et les interactions en son sein, les modes rares de radioactivité⁴ et la modélisation des processus stellaires de synthèse des éléments chimiques.

La phase 1+ de Spiral 2 sera suivie à l'horizon 2030 par la phase 1++ consistant à installer un nouvel injecteur⁵, puis par la phase 2 qui produira des noyaux radioactifs riches en neutrons.

³ Un noyau exotique est un noyau atomique dont le rapport du nombre de neutrons au nombre de protons est très différent de celui des noyaux stables. Il est instable et radioactif et n'existe pas à l'état naturel parce que sa durée de vie est très courte. Il ne peut être observé qu'immédiatement après sa création par des dispositifs expérimentaux dédiés.

⁴ La radioactivité se traduit par l'émission de noyaux d'hélium (radioactivité α), d'électrons (radioactivité β^-), de positons (radioactivité β^+) ou du rayonnement γ , plus rarement de protons ou de neutrons, de capture d'électrons. En 2002, le Ganil, simultanément avec son homologue allemand, a observé la radioactivité 2-protons, phénomène rare théorisé en 1960. Source [Wikipedia](#).

⁵ Dispositif permettant de créer des ions notamment par enlèvement d'électrons puis de les injecter grâce à un champ électrique dans l'accélérateur.

Le projet consiste en une « modification significative » de l'INB 113 nécessitant donc une autorisation. La demande d'autorisation intègre une révision du périmètre de l'INB afin d'y inclure un espace supplémentaire de 300 m², aujourd'hui qualifié de friche industrielle, une zone d'entreposage de matériels faiblement radioactifs, cinq piézomètres de surveillance de la nappe phréatique, deux stations de surveillance de l'environnement, un bassin d'orage, des groupes électrogènes et une réserve d'eau d'extinction d'incendie, tous existants. La figure 1 montre les différents bâtiments du site, actuels et prévus ainsi que le périmètre de l'INB existant et projeté.

Le périmètre du projet, au sens du code de l'environnement, est donc celui de l'ensemble des installations et activités du Ganil (en vert dans la figure 1).

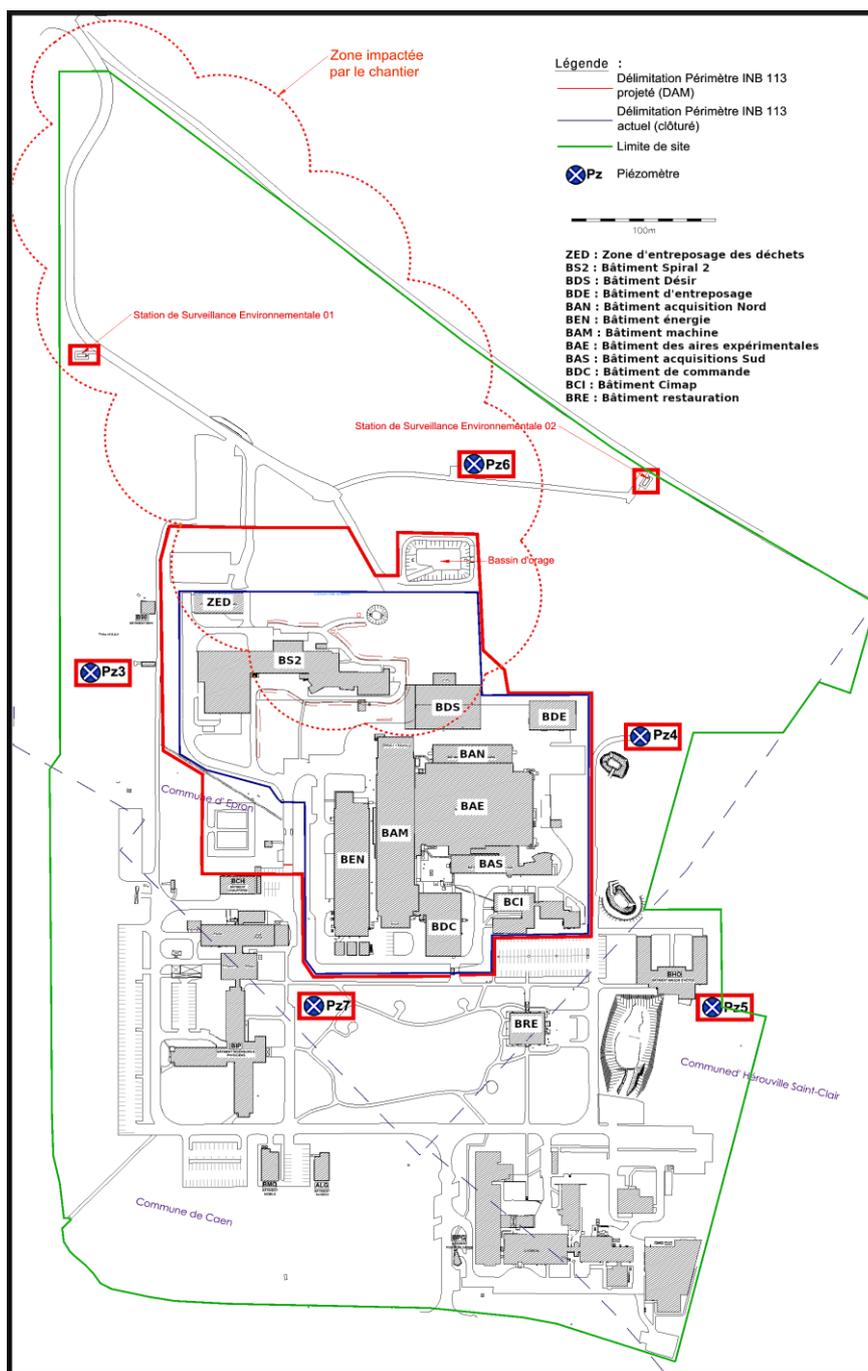


Figure 1 : Plan de l'INB 113 (d'après dossier)

Le site du Ganil est situé au nord de la ville de Caen sur les communes de Caen, Hérouville-Saint-Clair et Épron (cf. figure 2).

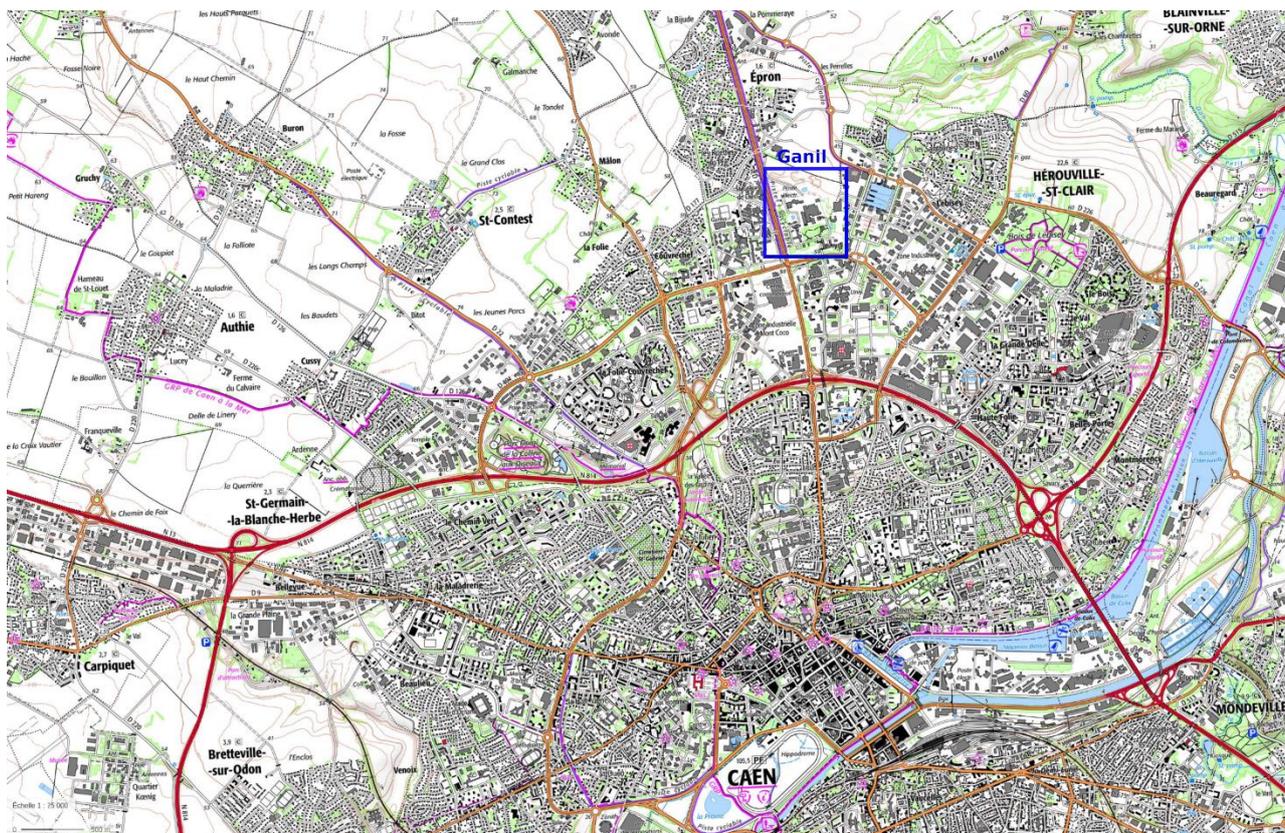


Figure 2 : Carte de situation du Ganil (source : dossier)

Le faisceau historique et son évolution Spiral 1 comportent un injecteur, trois accélérateurs de type cyclotron⁶ et des dispositifs de guidage et de focalisation du faisceau (fig. 4). Un « éplucheur » permet de retirer des électrons afin de créer des ions de charge positive élevée avant le passage du faisceau dans le dernier cyclotron. Des fentes métalliques placées dans des spectromètres de masse sont utilisées afin de purifier le faisceau, une des caractéristiques originales du Ganil étant sa capacité à produire des faisceaux d'ions de grande pureté.

Spiral 2 est un accélérateur linéaire⁷ (Linac) comportant un injecteur puis une série de cavités supraconductrices générant un champ électrique pulsé à 87 MHz entre lesquelles sont intercalés des quadripôles permettant de focaliser le faisceau.

À ces accélérateurs sont associées des installations destinées aux expériences dans chacun des bâtiments existants, évoluant en fonction du programme annuel, validé à l'échelle du Ganil. Les périodes de fonctionnement de ces faisceaux et donc des expériences sont très réduites, de quelques heures à quelques jours par expérience.

⁶ Dans un cyclotron, les particules placées dans un champ magnétique constant suivent une trajectoire en forme de spirale composée de demi-cercles successifs de rayon croissant à chaque impulsion par un champ électrique alternatif de fréquence constante. Source Wikipédia.

⁷ Un accélérateur linéaire est un dispositif permettant d'accélérer des particules chargées afin de leur fournir une énergie cinétique importante dans le but de produire des réactions avec la matière. Les particules accélérées peuvent être des électrons, des protons, ou bien des ions lourds. Source Wikipédia.

1.2 Présentation du projet et des aménagements prévus

Le projet Desir consiste à construire et équiper un nouveau bâtiment (noté BDS sur la figure 1) au croisement des faisceaux d'ions issus des accélérateurs Linac (Spiral 1) et S3 (Spiral 2 phase 1) comme illustré sur la figure 3. Les faisceaux circuleront dans des canaux de jonction enterrés avant de rejoindre le bâtiment Desir où seront installés les matériels nécessaires aux expériences qui bénéficient des ions lourds produits par les accélérateurs. Le nouveau bâtiment, semi enterré, de 1 500 m² d'emprise et 8,3 m au-dessus du sol, comporte plusieurs niveaux :

- niveau -1 : hall d'expériences (11 000 m³) et divers locaux annexes ;
- niveau 0 : salles de commande, salles de réunion, sanitaires ;
- niveau +1 : dispositif de ventilation, extraction d'air, production et distribution de fluides.

Plusieurs locaux annexes sont prévus pour les lasers, la production d'azote liquide, d'eau chaude et glacée, etc. Les canaux de jonction abritent les enceintes sous vide poussé (10⁻⁷ hPa⁸), les pompes à vide, les dispositifs de guidage⁹ et de focalisation des faisceaux¹⁰ et les dispositifs de protection des opérateurs contre les rayonnements ionisants. Ces derniers sont de type passif, protections en béton, et actifs par la gestion automatisée des entrées dans les salles abritant les instruments et le faisceau.

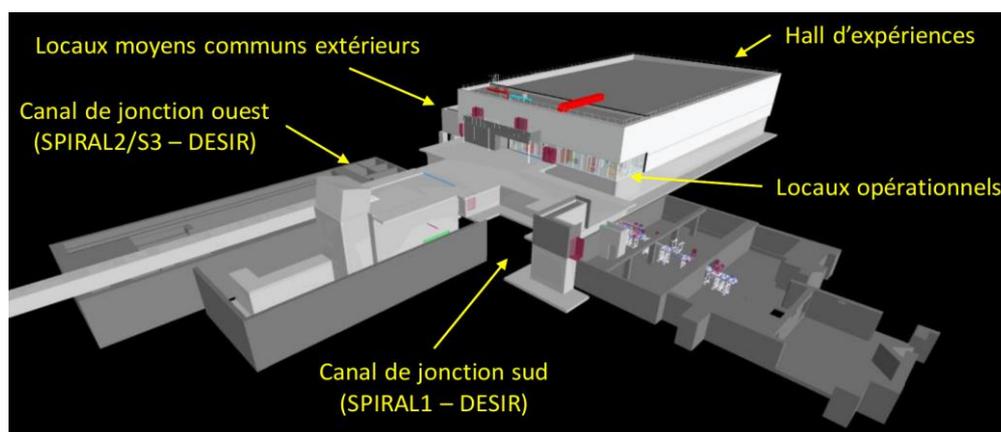


Figure 3: Vue tridimensionnelle de l'installation. Source dossier.

Les deux faisceaux seront guidés vers le bâtiment Desir dans lequel ils seront orientés vers différents dispositifs expérimentaux, nouveaux, disposés en arêtes de poisson. Une purification très forte des faisceaux sera opérée, pour permettre de disposer de flux d'ions de basse énergie très purs. Leur installation dans le bâtiment est prévue entre 2024 et 2025 pour une mise en exploitation en 2026. Le nombre de chercheurs accueillis sur le site devrait doubler de ce fait.

⁸ Le Pascal (Pa) est l'unité de pression du système international correspondant à un newton par mètre carré, on utilise couramment l'hectopascal (hPa), l'atmosphère au niveau de la mer ayant en moyenne une pression de 1 Bar soit 100 000 Pa soit 1000 hPa et donc 10⁻⁷ hPa correspond à une pression d'un dix milliardième de la pression atmosphérique.

⁹ Des aimants appliquent aux ions des champs magnétiques qui permettent de modifier la direction du faisceau.

¹⁰ Des quadripôles magnétiques jouent un rôle de lentilles électriques et focalisent les faisceaux d'ions



Figure 4 : Vue d'un dispositif de guidage au premier plan et de quadripôles de focalisation au deuxième plan.
Photo Ae

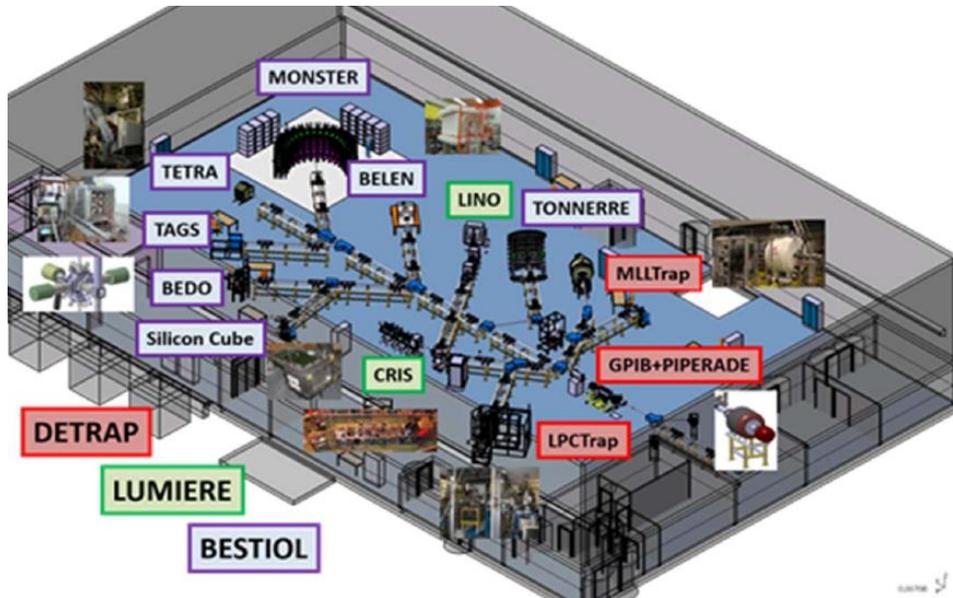


Figure 5 : disposition en arêtes de poisson des différentes expériences autour du faisceau d'ions. Source dossier.

Le coût du projet est de 25,6 millions d'euros HT, pour moitié du matériel.

1.3 Procédures relatives au projet

Le projet Desir constitue une modification substantielle de l'INB 113 qui relève de l'[article L.593-14 du code de l'environnement](#). La demande d'autorisation sera instruite par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), une demande de mise en service suivra, toujours instruite par l'ASN.

La demande d'autorisation est soumise à une enquête publique au dossier de laquelle sera joint le présent avis. Suite à cette enquête, il est prévu qu'un décret d'autorisation de modification soit pris et qu'un permis de construire soit délivré.

Le site étant situé à un peu plus de sept kilomètres de deux ZPS qualifiées au titre du réseau Natura 2000¹¹, l'étude d'impact comporte une évaluation des incidences sur ces sites qui conclut à leur absence sur les espèces ayant permis de désigner ces sites, ce à quoi l'Ae souscrit.

Le dossier présente une analyse particulièrement fouillée de l'articulation du projet avec 62 plans et programmes en vigueur sur le territoire et au niveau national. Le chapitre correspondant donne à connaître les mesures prises par le Ganil pour respecter les prescriptions des plans qui le concernent et explicite sa contribution, comme par exemple celle de la mesure de la radioactivité dans l'air pour lequel il contribue aux actions de surveillance du schéma régional climat, air, énergie de la région Basse-Normandie, remplacé depuis juillet 2020 par le schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires, pour lequel l'analyse serait à mettre à jour.

1.4 Principaux enjeux environnementaux du projet relevés par l'Ae

Pour l'Ae, les principaux enjeux environnementaux du projet concernent les effets sur la santé humaine et les écosystèmes d'éventuels rejets de substances chimiques toxiques ou radioactives dans l'air et les eaux.

2. Analyse de l'étude d'impact

L'étude d'impact est très complète et détaillée. Le domaine est complexe techniquement, ce qui rend la lecture de l'étude difficile pour un non spécialiste. Le résumé non technique, proportionné aux enjeux et au projet, présente les mêmes difficultés et sera utilement repris ou complété par des éléments directement compréhensibles par le public. Les unités utilisées sont souvent spécifiques du secteur de la physique des particules. Les ordres de grandeur des données et paramètres sont parfois très grands, allant de l'infinitésimal aux très grands nombres, d'où la reprise par l'Ae de la numération en puissance de 10 du dossier, peu habituelle dans ses avis.

L'Ae recommande de reprendre le résumé non technique de l'étude d'impact afin qu'il soit compréhensible par le public.

2.1 Analyse de la recherche de variantes et du choix du parti retenu

L'analyse explicite les choix scientifiques et le mode de gouvernance de ces choix qui aboutissent à la décision de mettre en œuvre le projet Desir. Il fait mention de choix qui s'apparentent plus à des mesures de réduction d'impact, pas seulement dans le champ environnemental, qu'à des choix opérés entre plusieurs solutions de substitution raisonnables (isolation thermique, pompe à chaleur, réduction des volumes d'eau de refroidissement, adaptation du volume des biocides utilisés pour

¹¹ Les sites Natura 2000 constituent un réseau européen en application de la directive 79/409/CEE « Oiseaux » (codifiée en 2009) et de la directive 92/43/CEE « Habitats faune flore », garantissant l'état de conservation favorable des habitats et espèces d'intérêt communautaire. Les sites inventoriés au titre de la directive « habitats » sont des zones spéciales de conservation (ZSC), ceux qui le sont au titre de la directive « oiseaux » sont des zones de protection spéciale (ZPS)

combattre le risque de légionellose, choix de bétons à faible contenu en fer, utilisation d'accélérateurs à cavités supraconductrices¹² en cuivre recouvert de niobium et aussi réduction du périmètre, stockage des déblais, insertion du bâtiment, traitement des espèces exotiques envahissantes).

À l'initiation du projet Desir, il était prévu de créer une emprise plus importante sur la friche arbustive située au nord du site. Le dialogue avec le bureau d'étude chargé des questions écologiques et l'ASN a permis de restreindre l'emprise du projet au minimum, y compris le périmètre de l'INB.

De fait, l'installation Desir se situant au croisement des deux faisceaux déjà construits ne peut faire l'objet d'alternatives, les choix (faisceau Spiral 2 et donc Desir perpendiculaire à Spiral 1, faisceau enterré avec salles de contrôle situées au-dessus, etc.) ont été opérés au moment de l'instruction du dossier de Spiral 2 et dictent aujourd'hui l'implantation de Desir.

Il n'est pas formellement présenté de scénario sans projet. Ce scénario est néanmoins implicitement présent car l'étude d'impact reprend et actualise avec précision les incidences des installations historiques, Spiral 1 et Spiral 2 phase 1 puis indique clairement les incidences ajoutées de Desir.

2.2 État initial, analyse des incidences du projet et des mesures d'évitement, de réduction et de compensation

L'étude d'impact reprend, avec raison, les rejets et le suivi des installations passées, actuelles et futures, de l'installation d'origine (Ganil initial), Spiral 1 et Spiral 2 phase 1 et jusqu'à Desir, et leurs incidences sur la santé humaine.

Milieu humain et fréquentation

Installée initialement en secteur agricole au nord de Caen en quasi discontinuité urbaine, au nord du futur centre hospitalier, l'INB 113 est aujourd'hui intégrée dans un tissu urbain (résidences étudiantes, campus universitaire, laboratoires et activités industrielles dans un premier cercle, logements au-delà) desservi par des voies routières et de transport en commun (tramway) structurantes de l'agglomération. Ce tissu se densifie encore au nord et à l'ouest, par la construction de logements sur la commune d'Épron notamment, au nord-ouest du site. Au nord-est, de nouvelles activités sont en cours d'implantation à Hérouville-Saint-Clair, desservies par la nouvelle bretelle nord de Caen mise en service en 2022. L'INB 113 et plus largement le Ganil ne font pas l'objet de servitudes en matière d'urbanisme. L'opération Desir induira un flux de chercheurs deux fois plus important que le flux actuel, non précisé et non caractérisé, sans que la question des modalités de leur accueil sur place (hébergement notamment et aussi sécurité du site) soit abordée. La maison d'hôtes du Ganil serait selon la maîtrise d'ouvrage à réhabiliter ; la communauté urbaine de Caen-

¹² L'effet supraconducteur est la propriété d'un matériau de présenter une résistance électrique nulle. Cet effet survient généralement à très basse température. Il permet de faire circuler des intensités élevées sans échauffement et de créer ainsi des champs magnétiques très intenses.

la-Mer prévoirait la construction d'une maison des chercheurs en bordure du site, dont le terrain lui appartient. La plupart de ces éléments restent implicites dans le dossier. En revanche, les évolutions projetées de la population dans un périmètre de 2 km (adultes et enfants, habitants, usagers, étudiants, avec ou sans jardin) sont prises en compte dans l'ensemble de l'analyse des incidences du dossier.

L'Ae recommande de décrire l'évolution prévue de l'urbanisation aux abords du site du Ganil et de caractériser l'évolution de la fréquentation du site du Ganil du fait du projet, ses incidences éventuelles en matière de logements et de gestion de la sécurité ainsi que les réponses apportées.

Effets des rejets de radionucléides à l'atmosphère

Les éléments gazeux produits par l'installation proviennent soit des interactions du faisceau avec les éléments solides présents dans les chambres à vide, soit des interactions avec les cibles¹³ bombardées par les flux ioniques y compris les cibles dites d'« arrêt faisceau »¹⁴, soit de la production de radionucléides dans l'air des bâtiments traversés par le faisceau du fait des flux de neutrons¹⁵ issus des réactions nucléaires au sein des installations. Les radionucléides émis au sein des chambres à vide abritant le faisceau sont évacués par les systèmes de pompage destinés à maintenir un vide de 10^{-7} hPa, pompes raccordées à un système d'évacuation. À hauteur des cibles, ils sont également évacués par les systèmes de pompages avec stockage des effluents gazeux dans des bouteilles pendant deux ans afin de laisser la radioactivité décroître naturellement. Enfin, les radionucléides émis dans l'air des bâtiments sont évacués par les systèmes de ventilation des bâtiments, le rejet à l'extérieur passant par des filtres à très haute efficacité. L'arrêt de la filtration entraîne celui de la ventilation.

La dispersion dans l'atmosphère des radionucléides gazeux issus de l'installation procède des estimations suivantes :

- calcul du terme source¹⁶ pour chacune des installations susceptibles d'émettre des radionucléides, sur la base de conditions « enveloppe » majorantes des rejets réels ;
- évaluation du rejet à l'atmosphère de l'ensemble des installations ;
- modélisation de la dispersion dans l'air ambiant des radionucléides rejetés en fonction des différentes orientations des vents (fig. 6) et d'hypothèses de vitesse du vent et de pluviométrie.

¹³ Éléments métalliques placés dans le flux d'ion afin de produire des radionucléides d'intérêt pour les expérimentations

¹⁴ Cibles placées sur le trajet des faisceaux d'ions dans le but d'en interrompre le flux

¹⁵ Tout matériau traversé par un flux de neutrons subit progressivement une transmutation par capture neutronique qui rend une partie de ses noyaux radioactifs.

¹⁶ Quantités de substances et radionucléides émises, sous forme d'une enveloppe majorante.

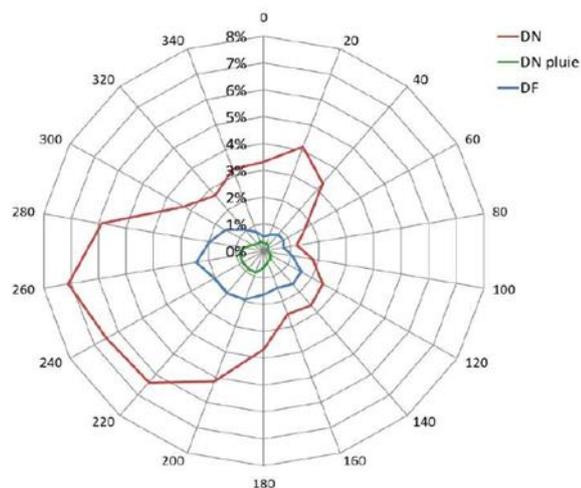


Figure 6 : rose des vents du site. Source dossier.

Le dossier souligne que les activités des radionucléides utilisés pour les expérimentations de l'installation Desir proprement dite sont faibles et ne permettent pas l'activation neutronique des radionucléides. Elles ont été prises en compte dans l'évaluation des incidences de l'installation Spiral 2 phase 1. Les gaz de pompage, qui comportent potentiellement les radionucléides produits par l'installation, sont repris dans les systèmes de ventilation nucléaire des deux accélérateurs. Du fait de la faiblesse des activités et de la période courte des radionucléides utilisés dans l'installation Desir, l'essentiel de la radioactivité sera désactivée pendant le transit dans les systèmes d'évacuation des flux d'air du système de pompage du vide.

La demande d'autorisation de rejets est donc inchangée par rapport à celle qui avait été accordée pour Spiral 2 phase 1.

Le tableau 1 ci-après récapitule les rejets autorisés sur lesquels est fondée l'évaluation, ainsi que les rejets mesurés du faisceau de l'installation initiale. Aucune donnée sur les rejets réels de Spiral 2 n'est fournie, ce que le dossier justifie par le fait que l'installation Spiral 2 a été autorisée en 2019. Les rapporteurs ont été informés que les mesures de rejets de l'année 2021 avaient été publiées en 2022. La figure 7 les représente en pourcentage des valeurs autorisées, la variabilité est importante. Ces valeurs restent inférieures aux valeurs autorisées. Les iodes¹⁷ sont à 80 % de l'autorisation, laquelle est bien plus faible que celle de Spiral 1. De fait, ces rejets sont très variables car ils dépendent des expériences conduites au Ganil qui, par définition, ne sont jamais identiques. Les valeurs autorisées sont calculées comme l'enveloppe de ce qui est possible et ne doit pas être dépassé dans une année. Ce facteur n'a jusqu'ici pas été limitant pour l'élaboration du programme annuel d'expériences.

¹⁷ Isotopes 117 à 122, et 128 de l'iode.

Catégorie	Activité annuelle installation d'origine et DESIR (Bq ¹⁸)	Activité annuelle SPIRAL2 Phase 1 et DESIR (Bq)	Moyenne des rejets gazeux radioactifs de l'installation d'origine 2016-2019 (Bq/an)	Proportion de la limite annuelle
Tritium	2,1.10 ⁹	6,5.10 ⁹	6,7.10 ⁷	3,2 %
Gaz rares	3,27.10 ¹⁰	2,2.10 ¹²	7,8.10 ⁹	23,8 %
Iodes	1,94.10 ⁸	5.10 ⁵	7,2.10 ⁷	37,1 %
Autres émetteurs β γ	9,7.10 ¹²	1,4.10 ¹²	8,3.10 ¹¹	8,6 %

Tableau 1 : Rejets autorisés du faisceau d'origine du Ganil et du faisceau de Spiral 2 phase 1, moyennes des rejets constatés pour le premier faisceau et pourcentage de l'autorisation. Source dossier.

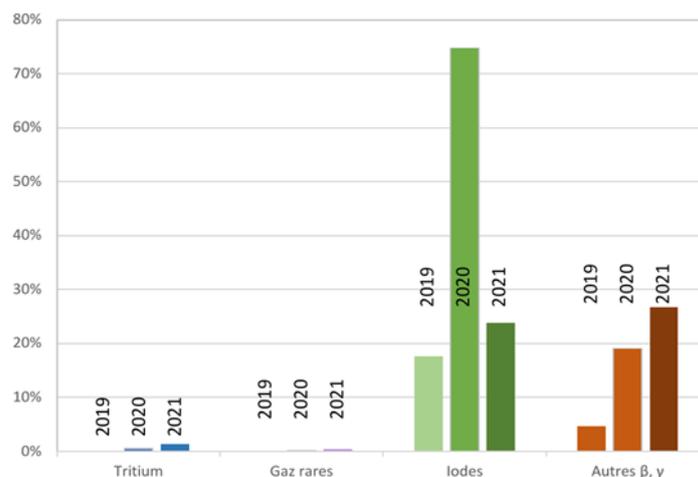


Figure 7 : Rejets de radioactivité, en pourcentage de l'autorisation de rejet, de l'installation Spiral2. Source : rapport environnemental 2021 du Ganil.

L'Ae recommande de joindre au dossier le rapport environnemental le plus récent disponible au moment de l'enquête publique.

Une série de cibles a été envisagée pour l'évaluation des risques en tenant compte des personnes fréquentant les environs du site et en distinguant la direction par rapport à la rose des vents, le temps passé sur place en pourcentage du temps total et le type d'habitat. Le tableau 2 récapitule les principales caractéristiques de ces populations.

	Type de population	Lieu / temps de présence		Azimut	Origine des aliments		
					Jardin	Elevage	Céréales
Groupe A	Résidence Etudiants	400 m / 100%		235°	2 km	2 km	2 km
Groupe B	Travailleurs	400 m / 25%		90°	2 km	2 km	2 km
Groupe C	Résidents et enfants	500 m / 100%		283°	2 km	2 km	2 km
Groupe D	Résidents et enfants	800 m / 100%		43°	800 m (autoconsommation)	2 km	2 km
Groupe E	Résidents travaillant au groupe B	400 m / 25%	800 m / 75%	90° et 43°	800 m (autoconsommation)	2 km	2 km
Groupe I	Résidence Etudiants	500 m / 100%		80°	2 km	2 km	2 km

Tableau 2 : Groupes de population pour lesquels l'évaluation des risques a été effectuée. Source dossier.

Les hypothèses de contamination des fruits, légumes et viandes consommés par les riverains sont majorantes puisque les riverains possédant un jardin sont supposés ne consommer que les produits

¹⁸ La radioactivité se mesure en Becquerels (Bq), 1 Bq correspond à une désintégration par seconde.

de leur jardin, les autres consomment exclusivement des produits végétaux et animaux provenant de terres à 2 km de l'installation. Les aliments ne sont pas préparés (pas de lavage ni d'épluchage).

Les résultats des expositions calculées pour chacun de ces groupes obtenus en cumulant toutes les sources de Spiral 1, Spiral 2 et Desir, ce dernier étant négligeable, aboutissent à des expositions plus de cent fois plus faibles que le maximum réglementaire de 1 mSv¹⁹. L'exposition naturelle en France est en moyenne d'environ 3 mSv.

Doses efficaces annuelles en mSv/an		après 1 an			après 50 ans	après 70 ans	
Groupe	Lieu / présence	Enfant de 1 à 2 ans	Enfant de 10 ans	Adulte	Adulte	Enfant de 1 à 2 ans	Enfant de 10 ans
A	400 m W - 100%	sans objet	sans objet	2.73E-03	2.74E-03	sans objet	sans objet
B	400 m E - 25%	sans objet	sans objet	2.29E-03	2.29E-03	sans objet	sans objet
C	500 m NW - 100%	2.14E-03	2.15E-03	2.04E-03	2.04E-03	2.14E-03	2.16E-03
D	800 m NE - 100%	2.42E-03	2.44E-03	2.30E-03	2.30E-03	2.42E-03	2.44E-03
E	800 m NE 75% 400 m E 25%	sans objet	sans objet	3.61E-03	3.61E-03	sans objet	sans objet
I	500 m E - 100%	sans objet	sans objet	4.33E-03	4.34E-03	sans objet	sans objet

Tableau 3 : Doses efficaces²⁰ annuelles pour les riverains selon le groupe. « E-x » signifie 10^{-x}. Source dossier

Effets des rejets de substances chimiques à l'atmosphère

Les effets sanitaires des substances chimiques rejetées à l'atmosphère sont évalués avec une méthodologie similaire à celle employée pour les radionucléides. L'Ae observe cependant qu'ils sont affectés d'une erreur méthodologique. Le dossier considère en effet que pour « *une substance avec effet de seuil, les concentrations inhalées sont égales aux concentrations ajoutées dans l'environnement* ». À l'évidence, ce qu'inhalent les riverains est bien la concentration totale de la substance considérée. La comparaison de la concentration ajoutée avec le seuil de toxicité n'a pas de sens, d'autant que le Ganil est loin d'être l'émetteur principal de ces substances qui proviennent essentiellement de la circulation automobile. De plus, s'agissant d'une évaluation d'effet sanitaire, il convient d'utiliser valeurs seuils établies par l'Organisation mondiale de la santé en 2021 après une analyse exhaustive de la littérature scientifique.

L'Ae recommande de présenter les effets des substances chimiques dont la toxicité est établie au-dessus d'un seuil en comparant pour chaque substance sa concentration totale dans l'environnement avec le seuil la concernant en prenant, quand elles existent, les valeurs guides publiées par l'organisation mondiale de la santé.

L'interaction du rayonnement γ avec l'oxygène de l'air provoque la synthèse d'ozone qui est évacuée par les systèmes de ventilation. Les estimations des quantités rejetées et des concentrations au droit

¹⁹ Le Sievert (Sv) est l'unité dérivée du Système international utilisée pour mesurer une dose radioactive permettant d'évaluer quantitativement l'impact biologique d'une exposition humaine à des rayonnements ionisants.

²⁰ En radioprotection, la dose efficace est une grandeur mesurant le degré d'exposition du corps humain à des rayonnements ionisants, notamment des sources de radioactivité (source : Wikipédia)

des cheminées de rejets sont établies par calcul pour les deux faisceaux Spiral 1 et Spiral 2 et présentées au chapitre qui décrit le projet. Le calcul de la production d'ozone néglige la réactivité de l'ozone et se trouve ainsi probablement très majorant. D'ailleurs, des mesures effectuées en 2011 n'ont pas permis de mesurer de rejet d'ozone. En outre, l'installation Desir proprement dite ne produit pas d'ozone en quantité significative du fait de sa faible puissance. Au final, les concentrations ajoutées dans l'environnement, de 0,17 µg/m³ en moyenne horaire, ne contribuent pas significativement à la pollution, avérée, de l'environnement par l'ozone.

Les rejets de dioxyde de soufre et d'oxydes d'azote sont également quantifiés. Ils ne peuvent être distingués pour chacune des composantes de l'installation. Le rejet annuel de 30 000 m³ d'eau par les six aéroréfrigérants des installations Spiral 1 et 2 est mentionné. Des analyses sont effectuées chaque mois et n'ont pas révélé de présence de légionnelles.

Effets des rejets dans les eaux

Aucun effluent n'est rejeté directement dans le milieu naturel. Les rejets rejoignent le réseau d'assainissement, l'exutoire de la station d'épuration étant situé sur la commune de Colombelles. Des effluents contenant du tritium pour une quantité annuelle inférieure correspondant à 10⁶ Bq sont susceptibles de rejoindre le milieu aquatique. L'évaluation des risques sanitaires associés considère que cette valeur maximale transite par la station d'épuration du Nouveau monde – Caen-la-Mer qui rejette ses effluents épurés dans l'Orne, avec un débit de 25 m³/s au niveau de la commune de Colombelles.

Les habitants de cette commune ont été pris en compte comme population de référence pour l'évaluation des risques sanitaires. L'hypothèse majorante est qu'ils boivent exclusivement l'eau de la rivière, que leur alimentation ne provient que de cultures locales irriguées par l'eau de la rivière et qu'ils consomment des poissons pêchés dans ce cours d'eau. Les doses pour les enfants, les jeunes et les adultes sont toutes inférieures à 10⁻¹⁰ Sv, soit dix millions de fois moindres que la limite réglementaire de 1 mSv par an. Rappelons qu'il s'agit des rejets de l'ensemble du Ganil, ceux ajoutés par Desir étant non significatifs.

Une analyse similaire est présentée pour les rejets des substances chimiques. Toutes les concentrations ajoutées de substances dans l'environnement sont très inférieures aux concentrations seuil d'effet pour les espèces vivant dans les milieux aquatiques. Les évaluations de risque sanitaire conduisent également à des doses très inférieures aux seuils de toxicité humaine et à des excès de risques individuels²¹ très inférieurs à la valeur repère de 10⁻⁵.

Irradiation directe autour du site

Les rayonnements X et γ de l'installation peuvent traverser les différentes parois et rejoindre l'environnement. Les parois étant faites de béton de forte épaisseur et une partie des installations étant

²¹ L'excès de risque individuel (ERI) s'entend pour une substance sans seuil de toxicité comme la probabilité de développer un cancer du fait de la dose d'exposition.

enterrées, les rayonnements peuvent rejoindre l'environnement par le haut (effet de ciel). Les simulations faites sur des éléments majorants, avec des faisceaux de $2,1 \cdot 10^{12}$ particules par seconde de carbone 12 accélérées avec une énergie de 95 MeV/n, aboutissent à une irradiation de 4,4 μSv au niveau de la clôture du site. Des mesures systématiques en plusieurs points sont effectuées. Elles reflètent la variabilité de l'irradiation naturelle sans mettre en évidence d'impact des installations du Ganil²².

Émissions de gaz à effet de serre

Les émissions de gaz à effet de serre du Ganil en fonctionnement sont liées à la consommation d'énergie qui est électrique (24 GWh annuels) sauf pour la centrale de chauffage à gaz à haut rendement et que l'installation Desir n'augmentera pas au-delà de 7 %. La station électrique (comportant deux transformateurs 20/90 000 V) du Ganil a été rénovée lors de la création de Spiral 2 et est suffisamment dimensionnée pour les besoins de l'installation Desir. Le chantier est émetteur de gaz à effet de serre que le dossier considère comme négligeables compte tenu de son caractère provisoire. Il n'est pas identifié de vulnérabilité particulière au changement climatique, du fait notamment de la hauteur du site qui est de 56 m au-dessus du niveau de la mer.

L'Ae recommande de procéder à une évaluation des émissions des gaz à effet de serre des travaux.

Déchets – Déblais

L'ensemble de l'INB produit annuellement 5 t de déchets radioactifs de très faible activité (dont les filtres par exemple)²³. Ces déchets sont évacués vers le Cires²⁴ à l'exception de certains déchets pour lesquels il n'existe actuellement pas de filière de gestion comme les lampes à fluorescence et les déchets d'équipements électriques et électroniques qui sont entreposés sur place²⁵. La quantité de déchets produit par Desir est estimée à 800 kg/an qui s'ajoutent aux 5 t évoquées ci-dessus.

Les travaux de Desir engendreront des déchets habituels de chantier gérés par des filières classiques. Les déblais seront déposés sur la partie à enjeux faibles de la friche située au nord du site.

Milieux naturels

La partie nord du site du Ganil, en grande partie végétalisée et d'aspect irrégulier, a été l'objet de stockages de déblais générés par la construction de Spiral 2 phase 1, et possiblement de Spiral 1 et même de la construction initiale du Ganil. La carte figure 8 montre les différents habitats « naturels » (rudéraux) modifiés par le projet. Tous ces habitats présentent au plus un enjeu faible. Le seul affecté significativement sur une surface de 1,85 ha, est une friche arbustive d'enjeu écologique

²² D'après le rapport environnemental 2021, l'irradiation la plus faible mesurée coïncide avec la plus forte activité de l'installation, ce qui indique qu'il n'y a pas de corrélation entre l'irradiation mesurée et les activités du Ganil.

²³ Activité inférieure à 100 becquerels par gramme

²⁴ Implanté sur les communes de Morvilliers et de La Chaise, dans le département de l'Aube, le Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires) est dédié, depuis 2003, au stockage des déchets de très faible activité (TFA), et depuis 2012, au regroupement de déchets radioactifs issus d'activités non électronucléaires et à l'entreposage de certains de ces déchets qui n'ont pas encore de solution de gestion définitive. Source [Andra](#).

²⁵ Les déchets nucléaires et militaires sont explicitement exclus du PRPGD de Normandie.

très faible. L'espace correspondant accueillera les déblais de la construction des installations Desir. Cette friche comporte quatre espèces exotiques envahissantes dont une forte abondance de Buddleia de David. L'impact des travaux sur la prolifération de ces espèces est jugé fort. Les rapporteurs ont constaté que l'enlèvement du Buddleia avait commencé. Il est prévu de stocker les résidus végétaux sous une couche de remblai afin d'empêcher la repousse. L'étude d'impact conclut que l'incidence sur cet habitat est modérée. Toutes les autres incidences sont faibles, très faibles ou négligeables.

En ce qui concerne les espèces présentes sur ces milieux, peu d'espèces remarquables sont affectées. On notera cependant des impacts faibles sur les oiseaux protégés dont la reproduction est inféodée aux milieux semi ouverts.

Deux mesures d'évitement et dix mesures de réduction sont prévues, elles concernent les impacts du chantier et les impacts permanents liés au remblayage des milieux arbustifs. Les habitats « naturels » modifiés sont les plus banals. Les espèces seront confinées hors du chantier à l'aide de barrières semi perméables, les travaux étant programmés en dehors des phases vulnérables du cycle de vie.

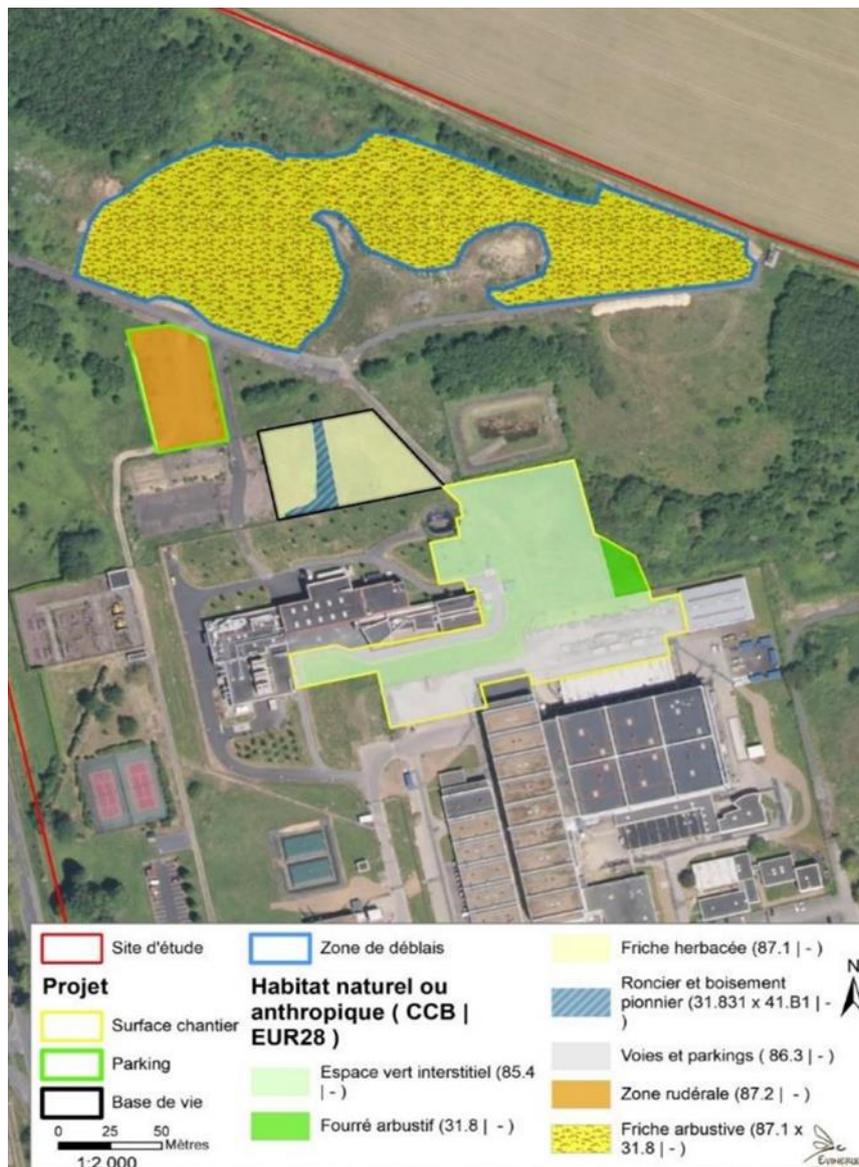


Tableau 4 : Carte des habitats « naturels » affectés par le projet. Source dossier

La mesure la plus coûteuse (75 000 €, représentant les trois-quarts du coût de l'ensemble des mesures), concerne l'éradication des espèces exotiques envahissantes et la plantation des déblais par un mélange de plantes herbacées prairiales. Le milieu ainsi recréé sera fauché tardivement afin de reconstituer un habitat favorable aux oiseaux, au Hérisson d'Europe et à l'Écureuil roux.

Compte-tenu des mesures d'évitement et de réduction, l'étude conclut qu'il n'y a pas lieu de mettre en place de mesure compensatoire, ni qu'il soit nécessaire de demander une dérogation à la destruction d'individus ou d'habitats d'espèces protégées, conclusion à laquelle l'Ae souscrit. Pour l'Ae, la question principale en termes de biodiversité est celle des espèces exotiques envahissantes dont la gestion, prévue par le dossier, devra être rigoureuse.

2.3 Suivi du projet, de ses incidences, des mesures et de leurs effets

Les mesures de suivi du chantier sont adaptées au type de travaux envisagés. Un contrat a été passé avec un bureau d'étude spécialisé en écologie afin de vérifier la bonne application des mesures

d'évitement et de réduction. Six visites sont prévues dont les comptes rendus seront transmis à la direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement.

Les limites de rejets atmosphériques et aqueux ainsi que celles des mesures d'irradiation directe sont définies par l'ASN, ils font l'objet d'un rapport environnemental dont les rapporteurs ont pu prendre connaissance. Les objectifs sont le respect des autorisations de rejet édictées par l'ASN, qui ne seront pas modifiées. La lecture du rapport montre que les rejets mesurés, très variables, sont toujours bien inférieurs aux rejets autorisés.

3. Étude de maîtrise des risques – Rapport préliminaire de sûreté

L'étude de maîtrise des risques²⁶ présente l'inventaire des risques inhérents à l'activité de l'installation Desir et l'ensemble des dispositions et mesures prises pour prévenir ces risques (risques internes²⁷ dont nucléaires et risques externes²⁸) et limiter la probabilité des accidents et leurs effets.

Elle s'appuie sur des retours d'expériences des installations du Cern en Suisse (Isolde²⁹) et du Triumf au Canada (Isac³⁰) en termes de sûreté des accès, dont certains comme la gestion des systèmes d'accès sont d'application au Ganil depuis une vingtaine d'années, mais aussi de contamination des systèmes de vide³¹, ayant conduit à privilégier les technologies « sèches » pour les équipements de pompage, produisant moins d'huile contaminée, et à utiliser des filtres de très haute efficacité en amont de leur émissaire de rejet. Ces retours d'expérience sont déjà en application au sein de l'INB 113 et leur validité a été vérifiée au fil du temps.

Les principes de la démarche de sûreté sont décrits sachant qu'aucune situation d'accident grave (définie sur la base des rejets radioactifs qu'elle pourrait impliquer) n'est identifiée pour l'installation Desir. Les fonctions de sûreté ou fonctions importantes pour garantir la sûreté de l'installation et la protection des personnels, du public et de l'environnement sont la limitation de l'exposition du personnel aux rayonnements ionisants et le confinement des matières radioactives. Des valeurs

²⁶ Requête au titre de l'article R. 593-16-I, section 4, du décret n°2019-190 du 14 mars 2019 à l'appui d'une demande d'autorisation de création d'une INB

²⁷ Les risques radiologiques : le risque d'exposition aux rayonnements ionisants et celui de dissémination de matières radioactives. Les risques non radiologiques internes : les émissions de projectiles ; les défaillances d'équipements sous pression ; les collisions et chutes de charges ; les explosions ; les incendies ; les émissions de substances dangereuses ; les inondations trouvant leur origine dans le périmètre de l'installation nucléaire de base ; les interférences électromagnétiques ; les actes de malveillance ; les cumuls plausibles entre les agressions ci-avant.

²⁸ Les risques induits par les activités industrielles et les voies de communication, dont les explosions, les émissions de substances dangereuses et les chutes d'aéronefs ; le séisme ; la foudre et les interférences électromagnétiques ; les conditions météorologiques ou climatiques extrêmes ; les incendies ; les inondations trouvant leur origine à l'extérieur du périmètre de l'installation nucléaire de base, y compris leur effet dynamique ; les actes de malveillance ; les cumuls plausibles entre les agressions identifiées ci-avant.

²⁹ Production depuis 1960 de faisceaux radioactifs par spallation d'un faisceau incident sur une cible épaisse, et non par fragmentation d'un faisceau incident comme Spiral 1. La spallation nucléaire (de l'anglais to spall, produire des éclats) est une réaction nucléaire au cours de laquelle un noyau atomique est frappé par une particule incidente (neutron, proton...) ou une onde électromagnétique de grande énergie.

³⁰ Développé en même temps que Spiral 1, permettant aux deux installations de comparer leurs résultats

³¹ Les éléments très volatils tels que les gaz rares, le tritium, les halogènes et les alcalins, se retrouvent essentiellement dans les chambres à vide et le système d'entreposage temporaire.

limites y sont associées. Les mesures prises pour limiter l'ensemble des risques sont décrites : mesures de prévention, formation du personnel, salarié du Ganil ou non, suivi et surveillance. Elles s'appuient sur les mesures existantes dans l'ensemble du Ganil.

Le risque principal pour le personnel intervenant auprès d'un accélérateur ou de lignes de transport de faisceaux est l'irradiation par les rayonnements induits par les faisceaux. La gestion « sûre » des accès aux zones irradiantes impose en conséquence une surveillance de la possibilité de rayonnement et du rayonnement effectif dans ces zones et de la possibilité de présence simultanée de personnels ainsi qu'un système de contre-réaction instantané induisant une coupure du faisceau. Cet ensemble constitue l'exigence majeure applicable à ce type d'installation.

La maîtrise du pilotage des opérations de délivrance des faisceaux radioactifs et donc du respect des exigences de sûreté imposées seront pilotées depuis les postes de commande de chacun des faisceaux (Spiral 1 et Spiral 2/S3), en amont de l'installation Desir.

La conception du système de sécurité des accès de Desir sera identique à la conception du système de sécurité des accès de chacune des deux installations existantes qui ont fait l'objet d'une analyse des modes de défaillance et de leurs effets. Les automatismes du système d'accès sont réalisés dans l'objectif de permettre le déclenchement automatique des mesures à prendre : arrêt du faisceau, blocage des portes, filtrage du personnel, affichage de l'état de la salle, autorisations et interdictions annexes. Un réseau informatique privatif est utilisé.

Pour ce qui concerne les conséquences radiologiques, le scénario d'incendie est un scénario-enveloppe, c'est à dire qu'il majore tout ce qui paraît possible. Parmi les situations incidentelles identifiées pour l'installation Desir, l'incendie dans le local « canaux de transport faisceaux (n°311) » est considéré comme le scénario majorant pour l'impact sanitaire radiologique, du fait des taux de remise en suspension qui sont les plus élevés. Les conséquences sont déterminées pour les radionucléides présents dans les canaux de Desir (locaux n°311 et n°316) qui représentent les activités maximales des radionucléides potentiellement produits (par Spiral 1 ou par S3) et présents dans l'installation Desir. Le résultat conclut que l'impact radiologique sur les populations environnantes d'une situation accidentelle survenant dans les locaux de Desir est très limité, inférieur à 2 μSv à long terme.

Un retour d'expérience des défaillances ou situations à risque (exposition de personnes, incendies ou défaut d'alimentation par exemple) rencontrées sur le site depuis la création du Ganil aurait permis d'éclairer l'évaluation environnementale comme l'étude de sûreté.

L'Ae recommande de compléter le dossier par le retour d'expérience des situations incidentelles et accidentelles sur des installations du Ganil ou de même type.