

  	RAPPORT DE SYNTHÈSE	SP2_SP_8530_AT-097251_V1
	<b>Projet SPIRAL2</b> <b>Rapport de synthèse CS IN2P3 2016</b>	Date de création : 02/05/2016
		Page 1 sur 14

## ***Projet SPIRAL2***

### ***Rapport de synthèse pour le Conseil Scientifique de l'IN2P3 du 16-17 juin 2016***

***F.VARENNE (GANIL/SPIRAL2)***

## SOMMAIRE

<b>1. Expression du besoin et objectifs fixés.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Spiral2 phase 1 : LINAC et AEL .....</b>	<b>4</b>
1.1.1. Le LINAC.....	4
1.1.2. Les AEL.....	6
<b>1.2. Le système de Production .....</b>	<b>7</b>
<b>1.3. L'installation DESIR (Désintégration, Excitation et Stockage d'Ions Radioactifs, Equipex) .....</b>	<b>9</b>
<b>1.4. Injecteur A/Q=7.....</b>	<b>10</b>
<b>2. Stratégie de construction .....</b>	<b>11</b>
<b>3. Planning Directeur.....</b>	<b>12</b>
3.1. Planning directeur de SPIRAL2 phase 1 .....	12
3.2. Planning directeur de SPIRAL2 phase 1+ .....	13
3.3. Planning directeur SPIRAL2 phase 1++ .....	13
<b>4. Coûts et ressources .....</b>	<b>14</b>

## REMERCIEMENTS :

J'adresse mes remerciements à :

- Eric Petit : Chef de Projet SPIRAL2
  - Patrick Bertrand : Responsable ACCELERATEUR SPIRAL2
  - Robin Ferdinand : Responsable LINAC et Mise en service faisceau SPIRAL2
  - Xavier Ledoux : Responsable scientifique NFS
  - Jean-Charles Thomas : Responsable scientifique DESIR
  - Christelle Stodel : Responsable cibles S3
  - Hervé Savajols : Chef de projet S3 et Responsable scientifique SPIRAL2
- pour l'aide qu'ils m'ont apportée dans la rédaction de ce rapport de synthèse.

## 1. Expression du besoin et objectifs fixés

Le projet SPIRAL2 (Système de Production d'Ions Radioactifs en Ligne de 2eme génération) est en construction sur le site du GANIL (Grand Accélérateur National d'Ions Lourds), centre de physique nucléaire spécialisé dans l'étude du noyau atomique. Élément déterminant de la stratégie européenne pour la recherche en physique nucléaire, SPIRAL2 a été retenu dès 2006 par l'European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI) qui définit la stratégie européenne pour la construction des futures infrastructures de recherche, en concordance avec la construction de l'Espace Européen de la Recherche.

SPIRAL2 est un projet d'extension majeure des capacités de production de noyaux exotiques de l'ensemble GANIL-SPIRAL1 et permettra d'étendre significativement les capacités de production de faisceaux radioactifs. Il délivrera des faisceaux très intenses d'ions lourds et de neutrons (phase 1) et offrira une grande variété d'ions radioactifs produits avec la technique ISOL à des intensités 10 ou 100 fois plus élevées que les installations concurrentes (phase 2). Ces faisceaux radioactifs seront utilisés soit à très basse énergie dans l'installation DESIR, soit après post-accélération dans les salles d'expériences existantes du GANIL. SPIRAL2 fera du GANIL dès 2016, avec le démarrage de la phase 1, l'un des leaders mondiaux de cette science.

L'installation SPIRAL2 fera franchir à la communauté nationale et internationale une étape significative et cruciale dans la compréhension du noyau, et fournira également des résultats en astrophysique pour les modèles de nucléosynthèse stellaire, en physique atomique sur les études de collisions ion-ion, ou encore sur la synthèse de nouveaux isotopes pour la médecine nucléaire. De plus, la source de neutrons rapides de très grande intensité, conçue dans le cadre de SPIRAL2, ouvrira de nouveaux domaines de recherche en science des matériaux et donnera accès à des données nucléaires importantes pour la conception des réacteurs de nouvelle génération. Ainsi, outre leur impact scientifique, de nombreuses retombées de SPIRAL2 seront à même de répondre à des enjeux sociétaux. Enfin, grâce au dynamisme impulsé par SPIRAL2, de nombreux étudiants pourront être attirés et formés à la recherche et aux techniques de la physique nucléaire et de ses applications, renforçant ainsi la synergie entre les Universités et les organismes de recherche tutelles du GANIL.

Le schéma de l'installation GANIL/SPIRAL2 (cf. *Figure 1*) présente les différents « modules » du projet SPIRAL2 :

- L'accélérateur linéaire (LINAC), les salles d'expériences du LINAC (AEL) comprenant les salles S3 et NFS et les servitudes générales (UTILITES), qui constituent la phase 1 de SPIRAL2,
- Le bâtiment de PRODUCTION et la salle d'expérience DESIR ainsi que les canaux de délivrance des faisceaux secondaires qui constituent la phase 2 de SPIRAL2,
- L'injecteur A/Q=7 qui constitue la phase 1++ de SPIRAL2.

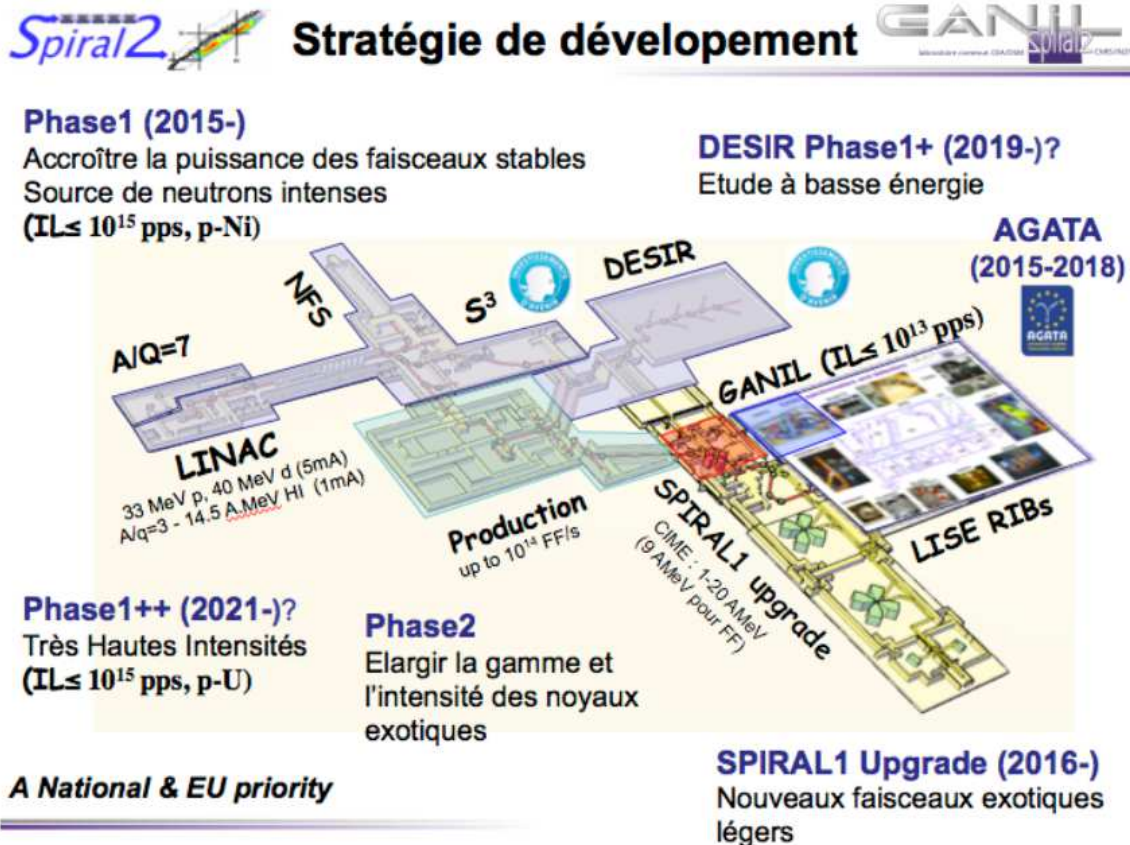


Figure 1 : Schéma de l'installation GANIL/SPIRAL2

## 1.1. Spiral2 phase 1 : LINAC et AEL

### 1.1.1. Le LINAC

Le LINAC a pour vocation d'accélérer des faisceaux à des énergies intermédiaires : jusqu'à 14,5 MeV/A pour des ions carbone et des ions de masse supérieure, 40 MeV pour des deutons et 33 MeV pour des protons. Outre une intensité supérieure, l'installation SPIRAL2 phase 1 permet d'accélérer des ions légers (protons, deutons, hélium à 20 MeV/A), l'installation GANIL d'origine n'accélérait que des ions de masse supérieure ou égale à 12. Les intensités de faisceaux stables pourront aller jusqu'à 5 mA pour les deutons et 1 mA pour les ions de masse supérieure ou égale à 12. Les bâtiments sont maintenant finalisés et les équipements de l'accélérateur ont commencé à être installés avec un premier faisceau de particules à basse énergie obtenu en décembre 2014 (sortie source) puis un second à énergie moyenne (sortie RFQ) obtenu en décembre 2015. Le premier faisceau accéléré à l'énergie nominale (sortie LINAC) est prévu au cours du dernier trimestre 2016.

L'architecture du LINAC a été figée en 2006. Elle se calque sur la large variété des attentes de la physique de cette époque. Ainsi, des faisceaux intenses de proton, deutons et d'ions plus lourds dans la gamme du mAe peuvent être produits à une énergie égale à 20 MeV par nucléon pour les noyaux légers et moindre pour les plus lourds. Le tableau ci-après résume ses objectifs :

Particule	H+	3He2+	D+	Ion A/Q=3	Ion A/Q=6
Intensité nom. (mAe)	5	5	5	1	1
Energie (MeV/A)	0,75 – 33	0,75 – 24	0,75 – 20	0,75 – 15	0,75 – 9
Puissance (kW)	165	180	200	45	54

L'enjeu majeur de cette machine est sa capacité à produire un faisceau de deutons de 200kW en mode continu et des faisceaux d'ions en mode pulsé tout en ménageant une bonne évolutivité vers des énergies supérieures ou des masses plus élevées. C'est dans cette optique que son architecture a été définie comme une succession de cryostats contenant chacun 1 à 2 cavités supraconductrices (voire plus si un upgrade en énergie est souhaité) séparés par des sections chaudes de focalisation transverse et d'analyse faisceau.

La spécificité de cette machine est de devoir opérer avec un large panel d'ions et d'intensités, ce qui a imposé un développement soigné des diagnostics faisceau permettant son réglage. Ils doivent en effet être compacts, innovants et disposer d'une large dynamique de mesure.

En outre, bien que son mode fondamental d'opération soit le mode continu, l'ensemble du LINAC, injecteur compris, doit pouvoir fonctionner en mode pulsé, ce qui n'est pas nécessairement le mode le plus adapté à des cavités supraconductrices fortement chargées. La solution retenue a donc été de les faire travailler en mode nominal à un champ relativement conservatif en regard à ce que leur technologie permet (soit 6,5MV/m pour une conception à 8MV/m).

Concernant les principaux composants de l'accélérateur, les principales caractéristiques sont :

- une source d'ions lourds performante (l'injecteur 1 est limité à des ions A/Q=3 afin de ménager une transmission optimale en deuton dans le RFQ)
- une source proton-deuton stable en régime continu à l'intensité nominale (5-10mA) mais pouvant opérer à intensité réduite (125µA) et en mode pulsé
- un RFQ visant une transmission de 100% sur l'ensemble de son domaine de fonctionnement (97% min.). En effet, toute perte de deuton induit une forte production de neutrons et de sérieuses complications des opérations de maintenance inhérentes à l'exploitation de cet accélérateur. Cette contrainte a grandement contribué dans le choix d'une technologie 4-vannes avec des contraintes dimensionnelles particulièrement fortes quant à la réalisation des lames de focalisation quadrupolaire. La fréquence de l'injecteur étant fixée à 88,05MHz, meilleur compromis trouvé en regard au dimensionnement des premières cavités du LINAC, des plages d'énergies désirées et de l'évolutivité de l'ensemble vers de plus hautes énergies, il en découle la réalisation d'un RFQ de dimension importante (80 cm de diamètre en regard à une précision d'usinage de l'ordre de 40µm)
- des cavités supraconductrices pouvant générer 6,5MV/m disposées dans des cryomodules indépendants. Le besoin de compacité inhérent à l'optique d'accélération et la nécessité d'intégrer un écrantage thermique dans chaque cryomodule (les cavités en Cu/Nb doivent être refroidies à température de l'hélium liquide) ont imposé à leurs concepteurs une grande ingéniosité de définition et d'intégration de leurs composants internes, tant les transitions 300K/60K/4K que les sources potentielles de pollution interne, que le positionnement relatif des coupleurs RF 20kW alimentant les cavités
- un système de sûreté complexe ne surveillant pas uniquement l'environnement radiologique des locaux d'intégration de l'accélérateur mais aussi les pertes faisceaux afin de limiter

automatiquement la quantité de neutrons générés tout le long de la structure et contenir le classement radiologique de la zone dans une limite acceptable.

Les premières étapes de mise en service de cet accélérateur ont débuté fin 2014 avec la production de protons dans la ligne basse énergie. Fin 2015, le premier faisceau de protons a été accéléré avec succès dans le RFQ. Il atteint sans difficulté son énergie nominale avec une transmission de 100%. Il en est depuis de même pour les faisceaux  $A/Q = 2$  (hélium, oxygène). Le RFQ est actuellement en cours de formation à pleine puissance afin de permettre la poursuite de son commissioning en ions  $A/Q=3$  puis enfin en deutons.

En parallèle de ce développement faisceau, les prochaines étapes de mise en service seront une première descente en froid partielle du LINAC supraconducteur à l'horizon de l'été 2016, une descente en froid complète en fin d'année puis, dès réception de l'autorisation de mise en service complète de l'installation par l'Autorité de Sûreté Nucléaire, un premier faisceau accéléré en fin d'année 2016 ou début 2017. Les études faisceaux nécessaires au LINAC avant sa mise en opération complète se poursuivront en 2017. Durant cette période et par alternance, les faisceaux produits seront envoyés dans les installations expérimentales (NFS dans un premier temps puis S3 en 2018) pour la réalisation de premières expériences et de leur commissioning.

#### 1.1.2. Les AEL

##### → NFS (*Neutron for Science*) :

Les protons et les deutons accélérés par le LINAC peuvent générer une source de neutrons extrêmement intense par interaction avec un convertisseur. L'installation NFS permet d'obtenir des données de base, en particulier des sections efficaces de réactions induites par neutrons, dont certaines sont importantes pour la recherche fondamentale, mais aussi pour des applications dans les domaines des réacteurs nucléaires pilotés par faisceau (ADS), de la fusion contrôlée, de la radiobiologie, des matériaux, pour la production de radio-isotopes innovants. Les bâtiments sont finalisés et l'installation des équipements a débuté au cours de l'été 2015. Les premières expériences sont prévues début 2017.

Les neutrons sont produits par l'interaction des faisceaux de protons et de deutons de LINAG avec des cibles de carbone, de béryllium ou de lithium. Ce sont l'épaisseur et la nature des cibles qui détermineront la distribution en énergie et le flux de neutrons souhaités par chaque expérience. Le domaine en énergie ainsi accessible s'étend de 100 keV à 40 MeV pour des flux moyens d'un ordre 100 fois supérieurs (continus ou quasiment mono-énergétiques). L'installation est composée de 2 salles. La première, dite « convertisseur » est naturellement équipée des différents types de convertisseur neutron mais aussi d'un déviateur magnétique et d'un collimateur permettant la réjection du faisceau primaire et en conséquence la purification du faisceau de neutrons produit. La seconde salle, dite « temps de vol », est la salle dans laquelle pourront être installés les grands dispositifs expérimentaux intégrant leur cible d'étude (et en particulier des cibles d'actinides) et les détecteurs associés. Un second collimateur prendra en outre place dans cette salle afin de parfaire la collimation du flux de neutrons pour certaines expériences spécifiques.

##### → S3 (*Super Séparateur Spectromètre, Equipex*) :

S3 ouvrira de nouveaux horizons à la physique nucléaire et à la physique atomique. En physique nucléaire, il permettra d'une part, l'étude des éléments super-lourds dans le but ultime de produire de nouveaux éléments et ainsi compléter le tableau périodique de Mendeleïev et d'autre part élargira

considérablement notre compréhension de la structure nucléaire loin de la stabilité, en particulier pour les noyaux déficients en neutrons. Il sera complété pour ce faire par les ensembles REGLIS3 et SIRIUS. En physique atomique il permettra d'étudier, associé à FISIC, la contribution des différents processus conduisant à la modification du cortège électronique des ions traversant la matière. Ces phénomènes sont la clé de voûte de la compréhension de l'endommagement des matériaux et des transferts d'énergie dans les plasmas. Les bâtiments sont finalisés et l'installation des équipements commencera en 2016. Les premières expériences sont prévues second semestre 2017.

La clé de la réussite de S3 réside dans son exigence de séparer des événements très rares d'un milieu très intense (sections efficaces visées de l'ordre du picobarn). Trois défis technologiques ont donc été résolus au travers de sa conception : la capacité de supporter des faisceaux primaires de forte puissance (l'ordre du mAe pour des énergies comprises entre 0,75 et 14,5MeV/A), la réalisation de fortes résolutions en masse ( $M/DM > 300$ ) et une acceptance en moment particulièrement large (+/- 10%). Le spectromètre S3 est pour ce faire composé de 2 étages de séparation disposés en aval d'une cible tournante.

Concernant les cibles de production, deux types de cibles tournantes sont développés. L'une est composée d'isotopes stables et l'autre d'isotopes radioactifs. Les fortes vitesses de rotation (3 à 5000 t/min), leur dimension et la parfaite gestion de la synchronisation des pulses faisceau leur permettent d'utiliser les faisceaux d'ions produits par LINAG via son injecteur actuel  $A/Q = 3$  mais aussi ceux qui proviendront de son futur injecteur  $A/Q = 7$ . La première cible stable a été testée au GANIL à faible intensité et est désormais prête à recevoir les faisceaux SPIRAL2. Dans le même temps, son système de surveillance d'intégrité associé, un système à même de reconstruire une image 3D de la cible par analyse de son interaction avec un faisceau d'électrons pinceau, a lui aussi été testé avec succès.

Concernant le spectromètre lui-même, il est composé de deux sections optiques indépendantes et complémentaires. La première est composée d'une structure magnétique compensée chromatiquement (réjection du faisceau primaire et recombinaison des trajectoires secondaires fortement dispersées). La seconde est un plus classique séparateur de masse. Dans l'achromat, l'association d'aimants chauds de très large ouverture au proche de la cible de production et d'aimants supraconducteurs en aval, incluant des bobines de corrections sextupolaires et octupolaires permet la forte réjection souhaitée tout en conservant une acceptance importante. Dans le séparateur en masse, c'est l'association d'éléments électrostatiques et magnétiques qui permet d'accéder aux résolutions souhaitées malgré les fortes dispersions analysées.

Deux systèmes de détection complémentaires sont associés à S3. SIRIUS, une station de décroissance réalisera la spectroscopie et l'identification des isotopes rares produits dans la cible. En parallèle, REGLIS3, une cellule gazeuse permettant la purification et la ré-accélération des isotopes sélectionnés, permettra de les transporter vers une station d'identification faible bruit ou vers la future installation DESIR.

## **1.2. Le système de Production**

Le bâtiment de production et son procédé faisceau, qui pourraient être construits dans la seconde phase de SPIRAL2, doit permettre la production d'un large panel de faisceaux radioactifs, essentiellement très riches en neutrons, et leur transport vers l'installation DESIR (faisceaux radioactifs de basse énergie), ou vers le cyclotron CIME de SPIRAL1 pour être post-accélérés puis transportés vers les salles d'expériences actuelles du GANIL. L'utilisation des installations existantes correspond

ainsi à la meilleure optimisation du projet complet (phase 1 + phase 2) dans l'environnement du GANIL. Le mode principal de production des faisceaux radioactifs de la phase 2 prévoit d'envoyer le faisceau de deutons nominal du LINAC (5mA CW) sur un convertisseur en Carbone afin de produire un flux intense de neutrons (quelques  $10^{14}$  n/s en angle avant). Ces neutrons rapides ( $\sim 14$ MeV) induiront des fissions dans une cible de Carbone d'Uranium de gros volume (principale différence par rapport aux installations existantes ou en projet). Les taux de fission évalués dans la cible sont de l'ordre de  $5 \times 10^{13}$  à  $10^{14}$  fissions/seconde. D'autres modes de production utilisant les neutrons rapides ou les ions lourds sur différentes cibles, ou encore les faisceaux de protons et deutons directement sur la cible de Carbone d'Uranium, pourront être exploités pour accéder à la plus grande variété possible de noyaux radioactifs. Les noyaux exotiques ainsi produits seront ensuite ionisés dans une source d'ions, puis envoyés dans le bâtiment existant des accélérateurs du GANIL pour y être accélérés grâce au cyclotron CIME de l'installation SPIRAL1, et ensuite envoyés dans les salles d'expériences du GANIL. Les expériences pourront donc bénéficier de toute l'infrastructure existante, d'une part pour les ensembles de détection et d'autre part pour l'acquisition et le traitement des données. Outre les détecteurs déjà disponibles actuellement, de nouveaux détecteurs sont actuellement en cours de construction dans le cadre de plusieurs collaborations européennes, pour réaliser une nouvelle génération d'expériences. Les thématiques abordées ont trait à la structure nucléaire loin de la stabilité, aussi bien du côté des noyaux riches en neutrons que riches en protons, à la forme de ces noyaux et à leurs modes collectifs, à l'astrophysique nucléaire, et à la dynamique nucléaire dans la gamme des énergies qui seront produites.

Le développement du bâtiment Production et du procédé de production et de transport faisceau associé a été suspendu en 2012 pour raisons économiques. Leur niveau de définition alors atteint était globalement un niveau d'études détaillées. Les prototypes indispensables à la validation de son procédé avaient pour la plupart été testés expérimentalement (en particulier le four de la cible d'UCx et la cible de conversion d/n) et les premières têtes de série étaient en cours de lancement en fabrication.

Le bâtiment Production a été étudié par le même Maître d'Œuvre bâtiment et infrastructure que ceux de la phase 1 mais avec un groupement d'entreprises plus impliquées dans la technologie des installations nucléaires. Il est constitué d'une structure compacte et cubique en majeure partie enterrées (contrainte sismique). En son centre, une cellule chaude d'environ 1000 m<sup>3</sup> (zone rouge) permet l'intégration d'un module de production multi-usage et son positionnement en regard à l'arrivée du faisceau dimensionnant de LINAG (5 mA de deutons à 40 MeV soit 200 kW) et d'une ligne d'analyse en masse des faisceaux secondaires produits. Pour des raisons de coût et de compacité, cette cellule intègre dans le même espace l'ensemble de production et d'extraction du faisceau ainsi que l'ensemble des outillages et postes de travail par télé-opération requis pour leur maintenance et leur conditionnement. Autour de cette cellule chaude, un ensemble de zones avant et arrière, de sas d'introduction de matériel neuf et d'évacuation normalisée de matériel irradié ou contaminé, de ventilation et de réfrigération se développe afin de la rendre opérationnelle (ainsi que le procédé faisceau). Se développe aussi une cascade de zones de confinement décroissantes permettant d'intégrer le procédé transport et délivrance faisceau au fur et à mesure de sa purification (réduction de niveau de confinement, donc du coût de réalisation, corrélé avec la réduction de l'impact radiologique accidentel envisageable). Ainsi, d'un faisceau secondaire ne pouvant être produit et transporté que dans une cellule de classe IV par des équipements nécessairement télé-opérés, un premier étage de purification (sélection de A purs) permet de rapidement le transporter dans une zone dans laquelle l'intervention physique d'opérateurs est possible (bien que fortement contrainte en temps et moyens). Un second permet ensuite son transport dans une zone de niveau de confinement équivalent à celui déjà exploité sur l'installation SPIRAL1. Le développement du procédé faisceau (optique et mécanique) a donc été très fortement contraint par les spécificités des zones dans lesquelles il doit être exploité (lignes faisceaux radioactifs



classique avec optimisation des temps d'intervention pour les zones vertes, lignes et équipements modulaires extractibles à distance avant intervention en salle spécifiquement équipée (boîtes à gants, hotte, paillasse décontaminables pour les zones jaunes et lignes et module de production totalement télé-opérables et conditionnables pour mise au déchet pour la zone de production).

Concernant la zone de production (zone rouge), le convertisseur neutron a été construit et testé avec succès sous flux équivalent d'électrons. Les opérations de montage et démontage associées ont de même été testées et validées sur banc. Bien que la construction de la tête de série des modules de production ait été suspendue en 2012, celle de son module de pompage secondaire a été menée à terme et il a pu être testé, à froid, avec succès (test vide et mécanique). La particularité de ce module de production, une enceinte à vide d'une dizaine de tonnes tout équipée et intégrant convertisseur et blindage neutronique, est de pouvoir s'adapter à différentes configurations d'ensembles cible source utilisant ou non le convertisseur neutron. Spécificité de l'ensemble, il peut par exemple être couplé, entre autres, à une source d'ionisation par laser, le faisceau laser étant introduit dans la source suivant le même axe que le faisceau secondaire extrait (salle laser concourante à la cellule de production). Concernant la ligne d'analyse faisceau, sa facture relativement monolithique et robuste permet de pallier optiquement l'absence de diagnostics faisceaux classiques dans cet environnement impropre à leur fonctionnement et mécaniquement par la suppression de tout élément mobile non indispensables à son fonctionnement. Les autres ensembles considérés comme critiques techniquement ou technologiquement ont été étudiés en détail et prototypés lorsque nécessaire (sources tout type, cible UCx avec four, interfaces de raccordement servitudes et vide, diagnostics spéciaux, connectique de traversée de cellule et télé-opérable...).

Concernant les structures de transport et de conditionnement des faisceaux en aval (zone jaune), leur conception 100% modulaire en termes d'optique et de confinement des matières radioactives en fait une exception dans le domaine des lignes de transport faisceau. Un important effort de standardisation et d'optimisation de la conception en regard aux temps d'intervention associés (montage/démontage, réparation, repositionnement...) a été fait tant sur le process faisceau lui-même que sur ses servitudes et les outillages associés à son exploitation. Les éléments les plus critiques (inter-modules sous vide automatisés, interface de raccordement auto-centrés, RFQ-cooler de très forte acceptance, spectromètre de forte résolution, booster de charge et station d'identification des noyaux radioactifs nucléarisés ont été construits et testés avec succès (hormis le HRS, toujours en cours de construction dans le cadre de la phase 1+).

### **1.3. L'installation DESIR (Désintégration, Excitation et Stockage d'Ions Radioactifs, Equipex)**

DESIR consistera en un grand hall d'expérimentation qui pourra recevoir des faisceaux de basse énergie issus de S3, de l'installation GANIL/SPIRAL1 d'origine, ou du futur bâtiment de production de la phase 2 de SPIRAL2. DESIR sera une installation unique et très polyvalente. Ses équipements sont portés par un consortium international (DECA) regroupant des laboratoires français (dont sept laboratoires CNRS) et européens. Les techniques de préparation de faisceau combinées avec des dispositifs de détection hautement efficaces permettront d'atteindre des régions inconnues de la carte des nucléides, de mener en parallèle des études en physique du solide, et de trouver des applications industrielles à ces recherches.

La particularité du Hall expérimental DESIR par rapport au reste des installations expérimentales du GANIL est de permettre l'implantation de dispositifs expérimentaux existants ou novateurs dans un environnement rendant leur exploitation aussi simple que possible dans une INB. La maîtrise des

risques radiologiques en cours d'expérience ne sera en effet plus assurée dans ce hall par isolement des dispositifs de détection à l'intérieur de salles d'expérience confinées mais par le contrôle de l'intensité des faisceaux incidents et de la radioactivité associée. L'objectif clairement exprimé est en effet de réserver aux expérimentateurs une accessibilité à leurs dispositifs aussi large que possible dans le cadre de la réglementation des INB.

Les faisceaux radioactifs issus de REGLIS3 (S3) et de SPIRAL1, puis éventuellement ultérieurement du bâtiment production de SPIRAL2, sont conduits dans le hall expérimental après avoir traversé un système de purification composé du RFQ-cooler et du spectromètre haute résolution développé initialement pour le bâtiment production (objectif de purification 1/20000 en masse). A l'entrée du hall, ils seront injectés dans un second RFQ-cooler, groupeur celui-ci, qui permettra de le conditionner en temps et en dimension en fonction des caractéristiques des dispositifs expérimentaux situés en aval (faisceaux froids, continus ou pulsés, du keV à quelques dizaines de keV).

Dès la mise en exploitation de ce hall expérimental, un premier groupe de dispositifs expérimentaux sera mis en opération (GPIB, PIPERADE, LPCTrap, MLLTrap). Le travail de leur intégration technique est actuellement en cours, au même titre que celui des lignes de transport amont des faisceaux. Dans les années qui suivront, le hall s'enrichira d'autres plateformes expérimentales (déjà identifiées et opérationnelles ou en cours de développement ou encore en projet). Il s'agira des groupes 2 et 3 réunissant les dispositifs associés à LUMIERE (salle laser TiSa et colorants, Ligne de polarisation laser, CRIS) ainsi qu'à BESTIOL (MONSTER, BELEN, GPDS/BEDO/SiCUBE, TAS). L'architecture des lignes de distribution des faisceaux a donc été prévu pour être la plus adaptative possible, tant optiquement que mécaniquement. Elle pourra être revue au fur et à mesure de la consolidation des caractéristiques et des contraintes d'exploitation de chacun des dispositifs. Cette adaptabilité sera en outre un avantage non négligeable dans sa capacité à aussi accueillir des dispositifs expérimentaux non encore identifiés à ce jour.

#### **1.4. Injecteur A/Q=7**

La construction d'un nouvel injecteur, appelé Injecteur A/Q=7 et complémentaire à l'injecteur A/Q=3 de la phase 1, doit permettre d'augmenter les intensités délivrées aux expériences S3 et DESIR et ainsi augmenter la compétitivité de SPIRAL2. Il sera en particulier nécessaire pour le programme de recherche lié aux éléments super-lourds qui nécessitera des faisceaux de très haute intensité, et de masse relativement élevée. Une réservation est prévue dans le bâtiment du LINAC.

Si son étude détaillée est à lancer dès 2017 pour envisager une mise en opération à l'horizon 2021, 2016 est essentiellement réservée à un travail de définition de ses spécifications de besoin en termes de faisceaux et d'intensité. Il en découlera la détermination des technologies qui s'avèreront les plus adaptées à les remplir :

- Type de source : ECR chaude ou froide, EBIS
- Type de RFQ : 4-vanes ou 4-rods

Il est toutefois à noter que ces spécifications seront bien évidemment contraintes par les capacités d'intégration des locaux SPIRAL2 déjà construits et les limitations en acceptation des systèmes associés (LINAC et réglementation INB).

## 2. Stratégie de construction

La stratégie de construction en deux phases de SPIRAL2 a été entérinée par le Comité de Pilotage dès 2006, la phase 1 (ACCELERATEUR + NFS + S3) étant dans un état de définition plus avancé que la phase 2 (PRODUCTION + DESIR).

La construction des bâtiments de la phase 1 a débuté en 2011, alors que la phase 2 était encore à l'état d'avant projet. Le jalon du passage d'APS à APD prévu fin 2011 n'a pas été passé car l'estimation de fin d'APS pour le coût du bâtiment de production était trop haute. Les tentatives de réduction des coûts n'ont pas pu aboutir dans les proportions souhaitées.

En raison du contexte budgétaire très tendu des organismes, en particulier sur les TGIR depuis 2010, les tutelles CEA et CNRS du GANIL ont décidé en 2013 de reporter sine die la construction du bâtiment de production de la Phase 2 du projet SPIRAL2, et de définir une nouvelle stratégie pour la phase 1, afin de délivrer les premiers faisceaux et de produire des résultats scientifiques le plus rapidement possible. Une phase 1+ a ainsi été définie, correspondant à la phase 1 (LINAC avec S3 et NFS), à laquelle est ajoutée la construction de l'installation DESIR, initialement prévue dans la phase 2 du projet SPIRAL2. Les tunnels reliant DESIR à S3 et au bâtiment existant de GANIL/SPIRAL1 ont également été inclus dans cette phase 1+.

La salle d'expérience DESIR recevra donc dans un premier temps, avant la construction du bâtiment Production (SPIRAL2 phase 2), des faisceaux radioactifs de basse énergie provenant soit de la salle S3, soit de l'installation existante SPIRAL1. Les résultats de l'appel à projets lancé par le GANIL il y a quelques années pour de futures expériences sur DESIR montrent que les faisceaux venant de S3 et SPIRAL1 permettent de réaliser environ la moitié du programme expérimental prévu, l'autre moitié correspondant à des faisceaux nécessitant le bâtiment de production de la phase 2 de SPIRAL2.

Le choix d'un injecteur  $A/Q=3$  au début du projet SPIRAL2 était lié à la disponibilité de la source associée, qui remplissait entièrement le cahier des charges pour les faisceaux requis pour la phase 2, avec des intensités très élevées pour les protons, deutons, ions lourds jusqu'au Nickel. Toutefois, il avait été clairement identifié dès le début du projet que cet injecteur ne permettrait pas à S3 d'être compétitif au meilleur niveau international pour le programme de recherche sur les noyaux superlourds. Une place avait donc été réservée dans le bâtiment du LINAC pour un second injecteur  $A/Q=7$ , permettant de produire des ions plus lourds que le Nickel aux intensités requises pour S3, mais pour lequel des études de R&D étaient nécessaires. Une conséquence du nouveau scénario défini en 2013, où la phase 2 est reportée et où S3 doit produire des résultats le plus rapidement possible, est qu'il devient urgent de mener les études de R&D pour l'injecteur  $A/Q=7$ , afin de pouvoir l'installer dès que possible pour compléter la phase 1+.

### 3. Planning Directeur

#### 3.1. Planning directeur de SPIRAL2 phase 1

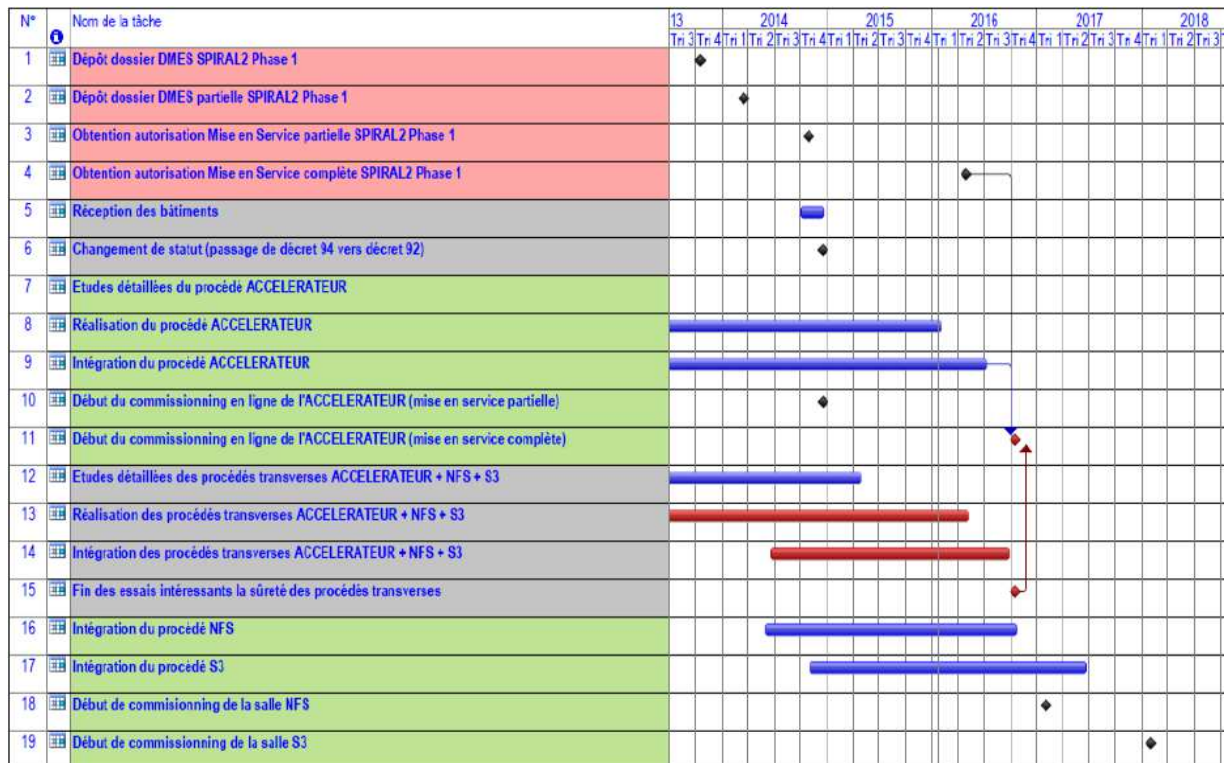


Figure 2 : Planning directeur SPIRAL2 phase 1

L'autorisation de mise en service partielle a permis de franchir le jalon important de l'injection d'un premier faisceau dans le RFQ le 3 décembre 2015, avec un retard de 6 semaines sur la date prévue initialement.

Ce planning de mise en service de la partie ACCELERATEUR est sans marge avec les jalons suivants :

- Premier faisceau (hors Deutons) avec le RFQ sur le BTI : décembre 2015 (retard de 6 semaines),
- Démarrage de la RF dans le LINAC (sans faisceau) : septembre 2016 (sous condition d'obtention de l'autorisation de mise en service complète),
- Premier faisceau injecté dans le LINAC : dernier trimestre 2016

Le chemin critique réside essentiellement dans la disponibilité de systèmes classés EIP (Equipements Importants pour la Protection) requis pour la mise en service de l'ACCELERATEUR.

### 3.2. Planning directeur de SPIRAL2 phase 1+

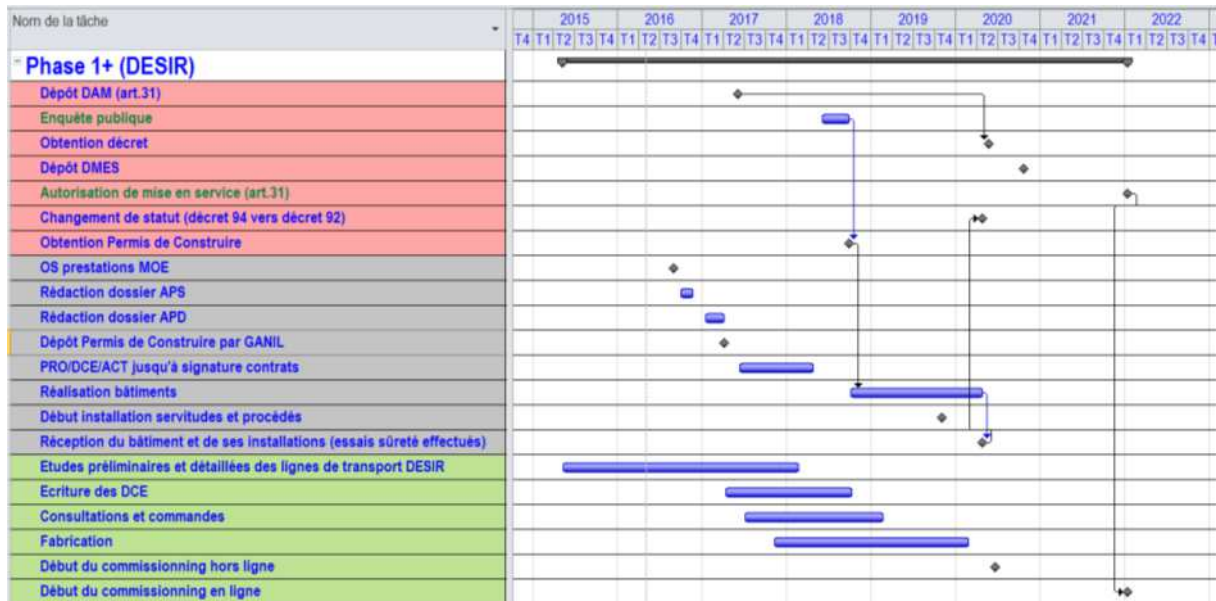


Figure 3 : Planning directeur SPIRAL2 phase 1+

Dans le cas d'une procédure d'autorisation par « article 32 », l'autorisation de mise en service de l'installation DESIR pourrait arriver 15 à 18 mois plus tôt soit en 2020.

### 3.3. Planning directeur SPIRAL2 phase 1++

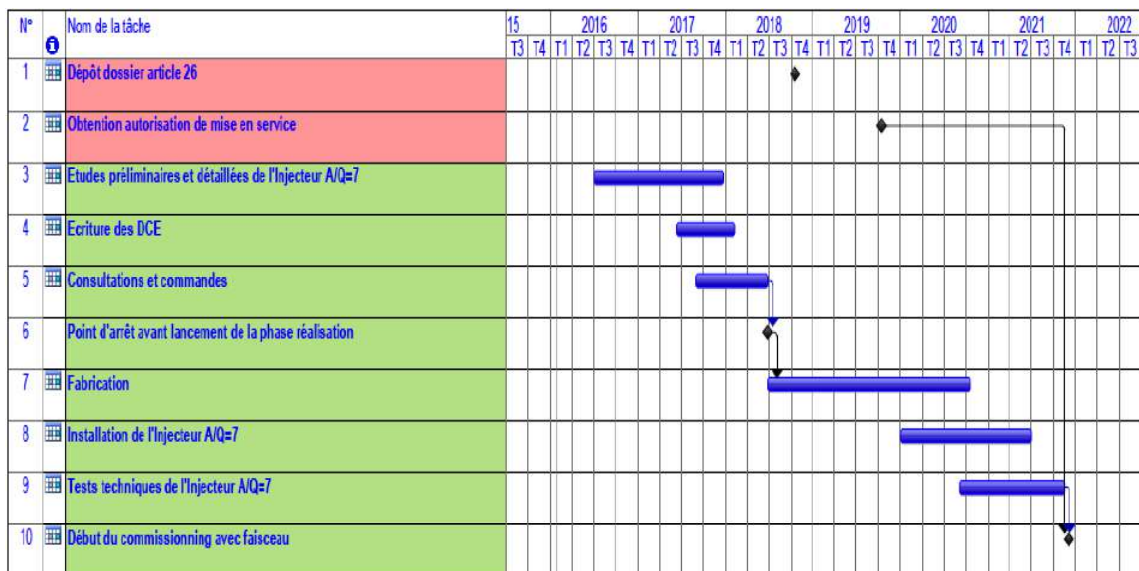


Figure 4 : Planning directeur SPIRAL2 phase 1++

Dans le cas de la procédure d'autorisation ASN pour l'Injecteur A/Q=7, il s'agit d'une procédure article 26 dans la mesure où il n'y a pas de modification de décret à réaliser. Ce planning est un planning préliminaire qui sera consolidé lorsque les études seront réalisées.

Dans ce planning apparaît un point d'arrêt avant le lancement de la réalisation de l'Injecteur, point d'arrêt qui doit permettre de s'assurer que le financement de la phase réalisation est sécurisé.

## 4. Coûts et ressources

Le périmètre budgétaire du projet SPIRAL2 en 2016 se décompose de la manière suivante :

- Pour SPIRAL2 phase 1: ACCELERATEUR + NFS + S3
  - Etudes, réalisation et intégration du procédé ACCELERATEUR
  - Etude, réalisation et intégration des procédés transverses ACCELERATEUR
  - Etudes et réalisation des bâtiments et infrastructures de la partie ACCELERATEUR + NFS + S3 (sont intégrés le second œuvre, le déploiement des servitudes dans le bâtiment NFS + S3)
  - Etude, réalisation et intégration des procédés transverses NFS et S3 (systèmes répondant aux exigences de Sûreté et Sécurité)
  - Intégration des procédés NFS et S3 dans l'installation (raccordements électriques, câblage, fluides, .....
- Pour SPIRAL2 phase 2 : Etudes préliminaire et détaillée bâtiment et procédé 2006-12.
- Pour SPIRAL2 phase 1+ (DESIR avec ses tunnels) :
  - Etudes, réalisation et intégration des lignes de transport faisceau vers et dans la salle DESIR
  - Etude, réalisation et intégration des procédés transverses DESIR (systèmes répondant aux exigences de Sûreté et Sécurité)
  - Etudes et réalisation des bâtiments et infrastructures de la partie DESIR avec ses tunnels
  - Intégration des procédés expérimentaux DESIR dans l'installation (raccordements électriques, câblage, fluides, .....

Le coût prévu à terminaison du projet dans son périmètre actuel (injecteur A/Q=7 non inclus) s'élève à 122,8 M€ en euros courants (102,1 M€ aux conditions économiques de 2005) répartis comme suit :

Postes budgétaires	ACC+NFS+S3	DESIR	PROD	Total
Fournitures et travaux	73 785 784	18 414 328	2 323 244	94 523 356
Maîtrise d'œuvre	4 360 644	3 078 593	1 073 551	8 512 789
Maîtrise d'ouvrage	3 902 520	305 164	3 825 984	8 033 668
Divers	4 270 252	0	4 105 221	8 375 473
Provision pour risques et aléas	1 187 200	2 153 595	0	3 340 795
<b>TOTAL périmètre SP2 (€ 2016)</b>	<b>87 506 400</b>	<b>23 951 681</b>	<b>11 328 000</b>	<b>122 786 081</b>
<b>TOTAL périmètre SP2 (€ 2005)</b>	<b>73 677 397</b>	<b>18 687 722</b>	<b>9 775 495</b>	<b>102 140 614</b>

Les ressources financières du projet SPIRAL2 sont globalement réparties comme suit :

CEA : 13,2 %	CNRS : 17,2 %	Collectivités : 41,5%
CPER : 4,7%	EQUIPEX S3 : 1,2%	EQUIPEX DESIR : 6,6%
GSI/FAIR : 13,8%	GANIL : 0,9%	Autres : 1%

Le complément étant issu de produits financiers.

L'augmentation du périmètre budgétaire en cas de lancement de la construction de l'injecteur A/Q=7 est estimé à 15 M€ (que le CEA envisage de cautionner pour plus du tiers).