
		Note technique	Page 1/29
		Accord :	
		Ref :	
		Date : 10/10/2024	Indice : A
	CONCEPTION, REALISATION ET QUALIFICATION DU PROTOTYPE DU SYSTEME SPOC		

Direction des énergies
Institut des sciences et technologies pour une économie circulaire des énergies bas carbone
Département de recherche sur les procédés et matériaux pour les environnements complexes
Service d'études et d'intégration des procédés

Conception, réalisation et qualification du prototype du système de positionnement relatif multi capteurs (SPOC)

Jérémy SEYSSAUD (CEA)
Vincent CHAPURLAT (IMT Mines Alès)
Laetitia CAMBON (IMT Mines Alès)

		Note technique	Page 2/29
		Accord :	
		Réf. :	
		Date : 10/10/2024	Indice : A
CONCEPTION, REALISATION ET QUALIFICATION DU PROTOTYPE DU SYSTEME SPOC			

RESUME/CONCLUSIONS

Ce cahier des charges concerne l'étude et la réalisation d'un prototype de **système de positionnement relatif multi capteurs** (SPOC), appelé à être exploité dans des installations nucléaires.

Ce système doit permettre de garantir le positionnement de capteurs par rapport à une paroi verticale ou horizontale, de manière autonome, continue, précise et sûre. L'objectif est de cartographier de grandes surfaces (murs, sols, plafonds), avec des capteurs sensibles aux rayonnements alpha, bêta, gamma. Les mesures effectuées permettent ainsi d'établir des protocoles pour la décontamination ou le démantèlement des équipements.

Le système SPOC sera monté sur des porteurs de différentes natures (robotisés ou manuels), qui assureront son déplacement le long des surfaces à mesurer. SPOC devra garantir en continu la distance des capteurs par rapport à la surface, en fonction des préconisations d'usage de ceux-ci.


L'interface de contrôle / commande à distance de SPOC est également à développer, en tenant compte autant que faire se peut des contraintes de communication dans un milieu sévère.

Ce travail est conduit sur trois années par les apprentis ingénieurs en mécatronique de l'IMT Mines Alès, en appliquant les principes, la méthode, les processus et les outils d'ingénierie système et d'ingénierie des métiers de la mécatronique. Il répond donc à l'ensemble des règles et principes imposés à la fois par l'ingénierie système et par l'ingénierie des métiers informatique, mécanique, automatique et électronique.

Les besoins et exigences de la maîtrise d'ouvrage, le CEA, sont présentés et contextualisés en préambule. Les livrables attendus sont des prestations intellectuelles et de la fourniture d'équipements. Deux livrables essentiels sont attendus : un prototype opérationnel et qualifié et tous les documents nécessaires, issus des phases de conception et de réalisation de ce prototype, pour pouvoir entreprendre ensuite la production industrielle d'une première série de dix systèmes SPOC.

MOTS CLES

SPOC, robotique, capteurs, positionnement, qualification, ingénierie système, démantèlement nucléaire

		Note technique	Page 3/29
		Accord :	
		Réf. :	
		Date : 10/10/2024	Indice : A
	CONCEPTION, REALISATION ET QUALIFICATION DU PROTOTYPE DU SYSTEME SPOC		

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION.....	5
1.1	Contexte.....	5
1.2	Objet.....	5
1.3	Description du travail demandé	5
1.4	Documents de référence	6
1.5	Glossaire.....	7
2	GENERALITES SUR LA RADIOACTIVITE.....	8
3	CAS D’USAGE	10
3.1	UDG Pierrelatte	10
3.2	Bassins STEL	16
4	DESCRIPTION DES BESOINS DU SYSTEME SPOC	18
5	LIVRABLES ATTENDUS.....	22
6	RESPONSABLE PROJET.....	23
7	ANNEXE : EXEMPLES DE CAPTEURS DE MESURE NUCLEAIRE (OU SONDES) ...	24

		Note technique		Page 4/29
		Accord :		
		Réf. :		
		Date : 10/10/2024		Indice : A
	CONCEPTION, REALISATION ET QUALIFICATION DU PROTOTYPE DU SYSTEME SPOC			

Liste des figures

Figure 1 : Zone d'essai UDG de cartographie radiologique.....	11
Figure 2 : Porteur automatisé pour des essais de cartographie UDG	11
Figure 3 : Photo du système de mesure par spectrométrie bêta avec détecteur EJ200	12
Figure 4 : A gauche, photo du système de mesure par spectrométrie gamma collimaté avec détecteur NaI dans la configuration n°1 ; au centre dans sa configuration n°2 et à gauche détecteur collimaté BEGe	13
Figure 5 : Détection de contamination uranium au sol avec le détecteur alpha ZnS(Ag).....	13
Figure 6 : Chariot élévateur utilisé pour les mesures aux murs avec le détecteur alpha ZnS(Ag).....	13
Figure 7 : Plan de coupe d'un détecteur plastique EJ200 de surface sensible 2430 cm ² (à gauche) et exemple de mise en œuvre in situ avec le détecteur sur son châssis support mobile sur rails (à droite).	14
Figure 8 : Exemple de mise en œuvre in situ sur un voile béton d'un détecteur plastique EJ200	14
Figure 9 : Configuration de mesure au sol pour le détecteur NaI(Tl) 3"x3"	15
Figure 10 : Multi capteurs NaI	15
Figure 11 : Sonde de Débit de Dose ST09	16
Figure 12 : Vue sous bassin S7	17
Figure 13 : Relevé de cote sous bassin S6	17

		Note technique		Page 5/29
		Accord :		
		Réf. :		
		Date : 10/10/2024		Indice : A
CONCEPTION, REALISATION ET QUALIFICATION DU PROTOTYPE DU SYSTEME SPOC				

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte

Dans le cadre de ses activités d'investigation et de surveillance en milieux nucléaires, le CEA utilise une grande variété de capteurs permettant d'enrichir ses bases de connaissances des installations. La bonne exploitation des résultats suppose une connaissance exacte du positionnement des capteurs dans l'espace par rapport aux objets mesurés. C'est dans ce contexte que le CEA exprime le présent besoin du système de positionnement relatif multi-capteurs SPOC.

1.2 Objet

Ce cahier des charges présente et structure les besoins et des éléments de contexte opérationnel définissant les attentes du CEA. Le projet proposé concerne l'étude préliminaire du système SPOC, puis l'étude avancée et la réalisation d'un prototype de SPOC à des fins d'évaluation de la solution et de qualification opérationnelle, en suivant les principes et méthodes de l'Ingénierie Système. Les livrables, incluant le prototype qualifié et l'engagement contractuel ainsi qu'une proposition de décomposition des étapes du projet, sont présentés et fixent les points d'avancement clé.

1.3 Description du travail demandé

Le travail demandé est la conception, la réalisation et la qualification opérationnelle d'un prototype d'un système désigné SPOC. Ce prototype de solution du système SPOC est une « tête de série » permettant de démontrer la faisabilité des solutions techniques proposées. Les documents techniques associés doivent contenir les éléments pour l'industrialisation et la production d'une série de systèmes SPOC. La première série prévue sera de 10 équipements.

A chaque phase du projet, des outils méthodologiques et techniques d'ingénierie seront mis en œuvre et décrits pour les phases :

1. De **conception préliminaire** (APS) en suivant la méthode d'Ingénierie système, allant de l'analyse de mission et de l'ingénierie des besoins et des exigences jusqu'à l'ingénierie des architectures du système SPOC, la vérification et la validation de l'ensemble de la solution proposée ;
2. De **conception détaillée** (APD) en respectant et traçant scrupuleusement les résultats de la phase de conception préliminaire et en mettant alors en œuvre les méthodes, techniques et outils d'ingénierie de métiers (ou de disciplines) concernés. Les besoins d'ingénierie métiers ici sont la Mécanique, l'Automatique, l'Informatique et l'Électronique ;

		Note technique		Page 6/29
		Accord :		
		Réf. :		
		Date : 10/10/2024		Indice : A
CONCEPTION, REALISATION ET QUALIFICATION DU PROTOTYPE DU SYSTEME SPOC				


3. De **réalisation** i.e. fabrication, intégration et paramétrage du prototype de la solution issue de la conception détaillée. Cette phase aboutira donc à la qualification opérationnelle du système SPOC tel qu'implémenté par le prototype.

IMPORTANT : Il est crucial de noter que chacune des phases précédentes doit faire l'objet d'activités 1) de traçabilité de toutes données relatives à chaque étape (exemples : référentiel des besoins, référentiel des exigences, CR de revues de projet, justifications, calculs intermédiaires, modèles d'architecture de système, etc.) et 2) de Vérification et de Validation qui établissent pas à pas les justifications nécessaires pour démontrer la qualité et la rigueur des résultats.

Toutes les activités menées à bien durant ces phases sont réalisées par le maître d'œuvre (MOE), c'est-à-dire le contractant (élèves de la formation en mécatronique par apprentissage MKX du département PRISM de l'IMT Mines Alès). Ces activités seront menées en concertation et en collaboration avec des sous-traitants de la MOE qui sont l'équipe d'encadrement pédagogique de ce département et l'équipe de la Plateforme Mécatronique (PFM) de l'IMT Mines Alès. Le document [DR-5]] précise les directives établies à cette fin et devant être respectées par les élèves. Le maître d'ouvrage (MOA) et client final est le CEA.


1.4 Documents de référence

- [DR-1] Le traitement et la décontamination des structures, des sols et des effluents,
<http://www.cea.fr/Documents/monographies/monographie-assainissement-demantelement-installations-nucleaires-chapitre3.pdf>
- [DR-2] Glossaire de l'industrie nucléaire,
<https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Glossaire/Pages/Glossaire.aspx>
- [DR-3] Règles générales de radioprotection du CEA
- [DR-4] Recueil des déchets Nucléaires
- [DR-5] Projet Fil Rouge MKX - Objectifs, déroulement et attendus

		Note technique	Page 7/29
		Accord :	
		Réf. :	
		Date : 10/10/2024	Indice : A
CONCEPTION, REALISATION ET QUALIFICATION DU PROTOTYPE DU SYSTEME SPOC			

1.5 Glossaire

Terme / sigle	Définition
APS	Avant-Projet Sommaire
APD	Avant-Projet Détaillé
ASN	Autorité de sûreté nucléaire
CEA	Commissariat à l'énergie Atomique et aux Énergies Alternatives
COTS	Commercial Off-The-Shelf : produit fabriqué en série et disponible dans le commerce
HA	Haute Activité
INB	Installation Nucléaire de Base
IP	Indice de protection
IRSN	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
IVTVQ	Intégration - Transition - Vérification - Validation - Qualification
IS	Ingénierie Système
PFM	Plateforme Mécatronique (IMT Mines Alès)
SPOC	Système de POsitionnement relatif multi Capteurs
STEL	Station de traitement des Effluents Liquides
THA	Très Haute Activité

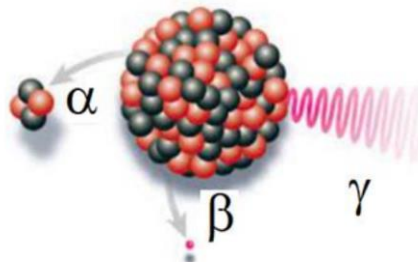
		Note technique	Page 8/29
		Accord :	
		Réf. :	
		Date : 10/10/2024	Indice : A
	CONCEPTION, REALISATION ET QUALIFICATION DU PROTOTYPE DU SYSTEME SPOC		

2 GENERALITES SUR LA RADIOACTIVITE

La radioactivité est un phénomène naturel lié à la structure de la matière. Certains atomes constituant la matière sont instables et émettent des rayonnements. Ces atomes instables (radionucléides) se transforment spontanément en perdant de l'énergie, et reviennent ainsi progressivement à un état stable. Ils émettent alors des particules ou des photons, dont le flux constitue un rayonnement porteur d'énergie, spécifique du radionucléide qui l'émet.

Ces rayonnements sont dits ionisants car ils peuvent ioniser la matière en interagissant avec elle, c'est-à-dire lui enlever un ou plusieurs électrons. Ces ionisations provoquent des modifications physico-chimiques dans le corps humain susceptibles d'entraîner des effets néfastes sur la santé. Le pouvoir d'ionisation d'un radionucléide dépend de la nature des rayonnements qu'il émet (alpha, bêta, gamma, X, neutronique) et de l'énergie de chacune des émissions.

Un radionucléide peut émettre plusieurs types de rayonnements : alpha, bêta, gamma, X ou neutrons.



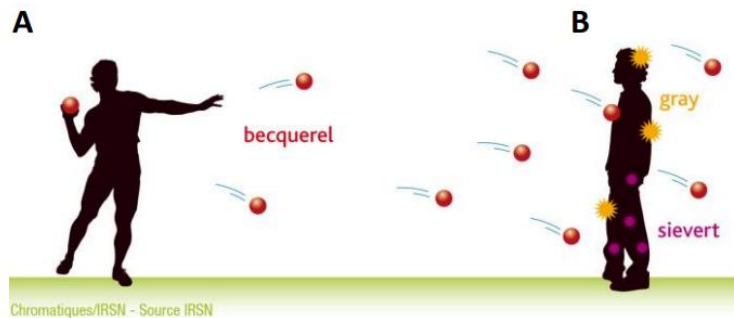
- Les rayonnements communiquent leur énergie au milieu qu'ils traversent ;
- Lorsque leur énergie est suffisante (> 10 eV environ), ils produisent des ionisations et des excitations des atomes et des molécules du milieu ;
- En choisissant les matériaux qui conviennent, les rayonnements ionisants sont atténués et finissent par être arrêtés dans la matière.

Trois unités sont fréquemment utilisées dans le domaine du nucléaire : le becquerel (Bq), le gray (Gy) et le sievert (Sv).

- Le becquerel (Bq) mesure l'activité (nombre de désintégration par seconde) de la matière radioactive. Anciennement, l'unité de mesure utilisée était le curie (Ci). Un curie (1 Ci) équivaut à $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq.
- De son côté, gray (Gy) mesure la dose physiquement « absorbée » par la matière . Elle représente l'énergie absorbée par un kilogramme exposé à un rayonnement ionisant apportant une énergie d'1 joule : $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$. Anciennement, l'unité de mesure utilisée était le rad ($1 \text{ gray} = 100 \text{ rad}$).
- Enfin, le sievert (Sv) est l'unité de mesure des doses équivalente et efficace, qui permet d'évaluer l'impact du rayonnement sur la matière vivante. Ainsi peut-on comparer l'effet

		Note technique	Page 9/29
		Accord :	
		Réf. :	
		Date : 10/10/2024	Indice : A
CONCEPTION, REALISATION ET QUALIFICATION DU PROTOTYPE DU SYSTEME SPOC			

d'une même dose délivrée par des rayonnements de nature différente à l'organisme entier, des organes ou des tissus qui n'ont pas la même sensibilité aux rayonnements. Anciennement, l'unité de mesure utilisée était le rem (1 rem = 0,01 Sv).



A - Lorsque les RI sont émis par une source, l'activité de cette source (en Bq) détermine l'intensité du flux de rayonnements.

B - L'énergie cédée dans les organes par les rayons qui atteignent l'organisme définit la dose absorbée, en gray (Gy)


C - Le détriment qui en résulte sur l'organisme en termes d'effets stochastiques (cancers) est évalué par la dose équivalente, pour les organes, et la dose efficace, pour l'organisme entier, dans les deux cas en sievert (Sv).

Les 3 règles de base de radioprotection (principe ALARA : As Low As Reasonably Achievable) afin de limiter l'impact des RI sur l'être humain, sont :

- La distance : s'éloigner de la source de rayonnement.
- Le temps : minimiser la durée d'exposition.
- Les écrans : atténuer les rayonnements et limiter les risques de contamination corporelle

Deux types d'exposition aux rayonnements ionisants sont possibles :

- On parle d'irradiation externe lorsqu'une personne se trouve exposée de l'extérieur par les rayonnements ionisants émis par une source radioactive située dans son voisinage. Dans ce cas, l'exposition cesse dès lors que la source de radioactivité est éloignée de la personne ou si un écran (blindage par exemple) est interposé entre la personne et la source.
- On parle de contamination interne pour une exposition interne aux particules radioactives, c'est-à-dire quand des éléments radioactifs ont pénétré à l'intérieur de l'organisme. Ceci peut se produire par inhalation des particules radioactives présentes dans l'air, par ingestion d'aliments contaminés par des particules radioactives, ou via contact direct avec la peau ou une plaie (on parle dans ce cas de « contamination externe »). Lors d'une contamination, l'exposition aux particules radioactives se poursuit tant que la source est à l'intérieur ou au contact du corps.

		Note technique	Page 10/29
		Accord :	
		Réf. :	
		Date : 10/10/2024	Indice : A
CONCEPTION, REALISATION ET QUALIFICATION DU PROTOTYPE DU SYSTEME SPOC			

3 CAS D'USAGE

Le besoin du système SPOC est directement lié à des problématiques rencontrées sur des chantiers d'Assainissement Démantèlement du CEA. Ci-dessous sont présentés deux projets pour lesquels SPOC a une utilité et qui ont permis de spécifier le système.

3.1 UDG Pierrelatte

Les Usines à Diffusion Gazeuses (UDG), créées en 1960, sont arrivées en fin de vie. Elles ont été mises à l'arrêt en 1996 et partiellement démantelées. La surface des locaux (murs, sols et plafonds) représente plusieurs centaines de milliers de mètres carrés qu'il convient de cartographier à l'aide d'outils industriels, assurant une productivité réaliste pour obtenir l'ensemble des cartographies des locaux et ainsi prétendre à un déclassement des installations.

En plus des surfaces remarquables à cartographier, les faibles niveaux d'activité en uranium à détecter constituent un défi important, dès lors qu'il s'agit d'établir des cartographies exhaustives avec une productivité acceptable (rendement horaire et journalier, dans le respect de l'objectif radiologique visé).

Une première campagne d'essais a été réalisée, ayant pour but de quantifier le temps nécessaire à la cartographie complète des installations et de qualifier leur système de déplacement et positionnement. Un porteur autonome a été développé, utilisant plusieurs types de capteurs nucléaires sensibles aux rayonnements alpha, bêta, gamma. Des zones d'essais ont été préparées permettant de réaliser des mesures sur parois verticales et horizontales.

		Note technique	Page 11/29
		Accord :	
		Réf. :	
		Date : 10/10/2024	Indice : A
CONCEPTION, REALISATION ET QUALIFICATION DU PROTOTYPE DU SYSTEME SPOC			

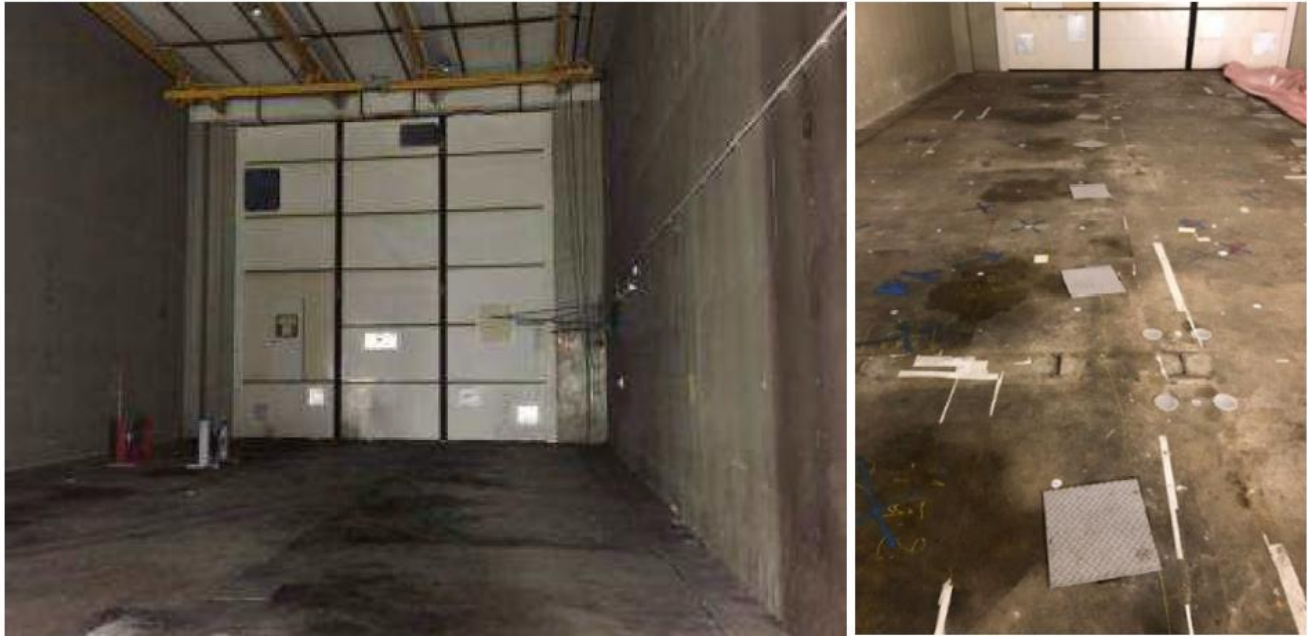



Figure 1 : Zone d'essai UDG de cartographie radiologique



Figure 2 : Porteur automatisé pour des essais de cartographie UDG

Les faibles niveaux de radiation à mesurer imposent le rapprochement des capteurs à quelques millimètres des surfaces. Une connaissance précise de la distance capteur / surface en continu est indispensable afin d'interpréter les données brutes des capteurs.

Pour la campagne précédente d'essais, malgré la préparation des surfaces en amont, le maintien de la consigne de distance entre le capteur et la surface a posé des problèmes. En effet, les surfaces à mesurer sont très irrégulières et présentent de nombreuses singularités suite aux opérations de démantèlement des structures métalliques de support des procédés.

		Note technique	Page 12/29
		Accord :	
		Réf. :	
		Date : 10/10/2024	Indice : A
CONCEPTION, REALISATION ET QUALIFICATION DU PROTOTYPE DU SYSTEME SPOC			

Par exemple, de nombreux dépassements de métal peuvent atteindre une hauteur de plusieurs centimètres et sont régulièrement constatés, comme la présence de nombreuses plaques métalliques de protection de 1 cm d'épaisseur. De plus, des perçages ont été effectués pour retirer des tuyauteries traversant le plancher où un bouchon de protection en PVC blanc a été positionné sur chaque trou. Toutefois, la hauteur des bouchons est inférieure à 1 cm. La campagne passée a établi que les contrôles restent possibles pour des défauts de surface < 1 cm.

Sur les murs, il a été relevé la présence de vis et de colliers de serrage, ainsi que des tubes IRO non retirés lors des opérations d'assainissement. Les murs ont néanmoins pu être caractérisés sur une hauteur de 2,00 m. De ce fait, seule une bande de 5,00 m x 2,00 m (L*H) a pu être mesurée afin d'établir les temps nécessaires à la caractérisation. Il a été également constaté, sur des bandes de 1,00 m, une variation de la planéité horizontale des murs, de 1 cm à 3 cm.

En plus de rendre le traitement des données imprécis, la présence de ces imperfections pose des problèmes de sécurité des équipements qui peuvent être endommagés.

De nombreux autres essais ont été réalisés au moyen de porteurs et capteurs de différentes natures comme le montrent les exemples suivants.



Figure 3 : Photo du système de mesure par spectrométrie bêta avec détecteur EJ200

CONCEPTION, REALISATION ET QUALIFICATION
DU PROTOTYPE DU SYSTEME SPOC

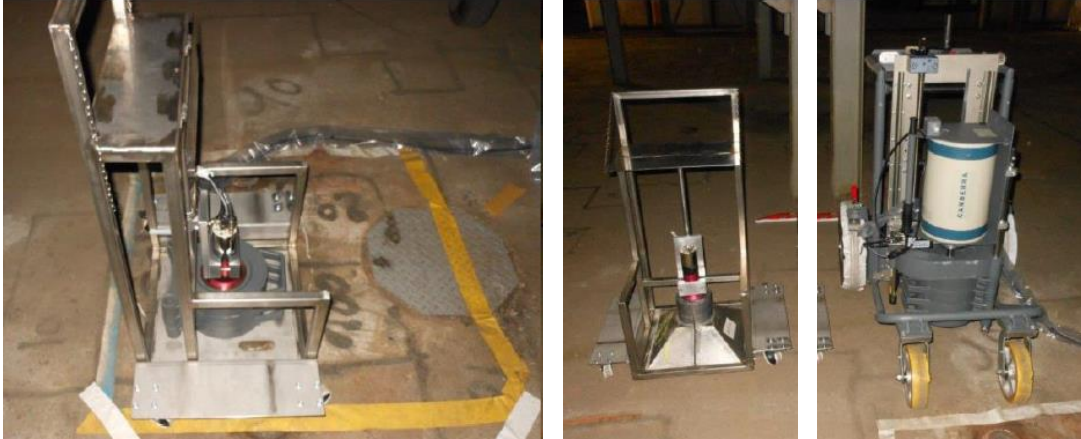


Figure 4 : A gauche, photo du système de mesure par spectrométrie gamma collimaté avec détecteur NaI dans la configuration n°1 ; au centre dans sa configuration n°2 et à gauche détecteur collimaté BEGe

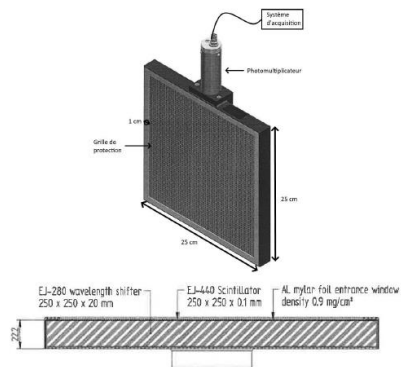


Figure 5 : Détection de contamination uranium au sol avec le détecteur alpha ZnS(Ag)



Figure 6 : Chariot élévateur utilisé pour les mesures aux murs avec le détecteur alpha ZnS(Ag)

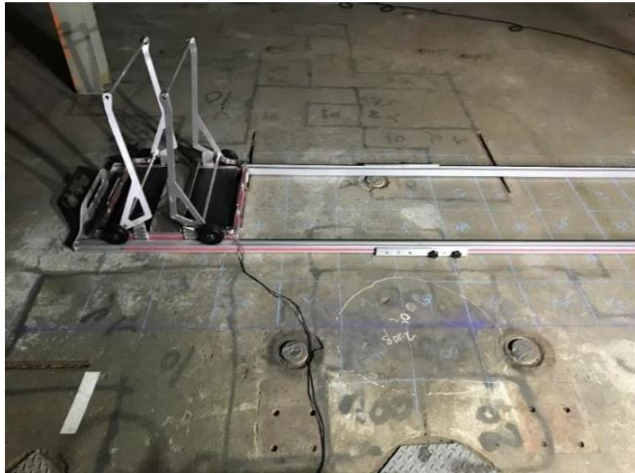
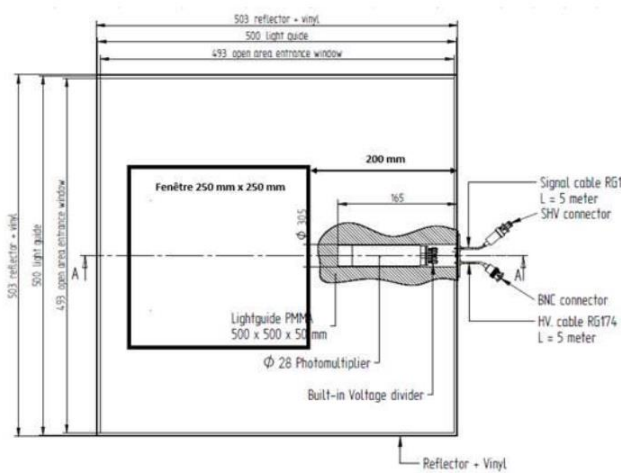


Figure 7 : Plan de coupe d'un détecteur plastique EJ200 de surface sensible 2430 cm² (à gauche) et exemple de mise en œuvre in situ avec le détecteur sur son châssis support mobile sur rails (à droite).



Figure 8 : Exemple de mise en œuvre in situ sur un voile béton d'un détecteur plastique EJ200

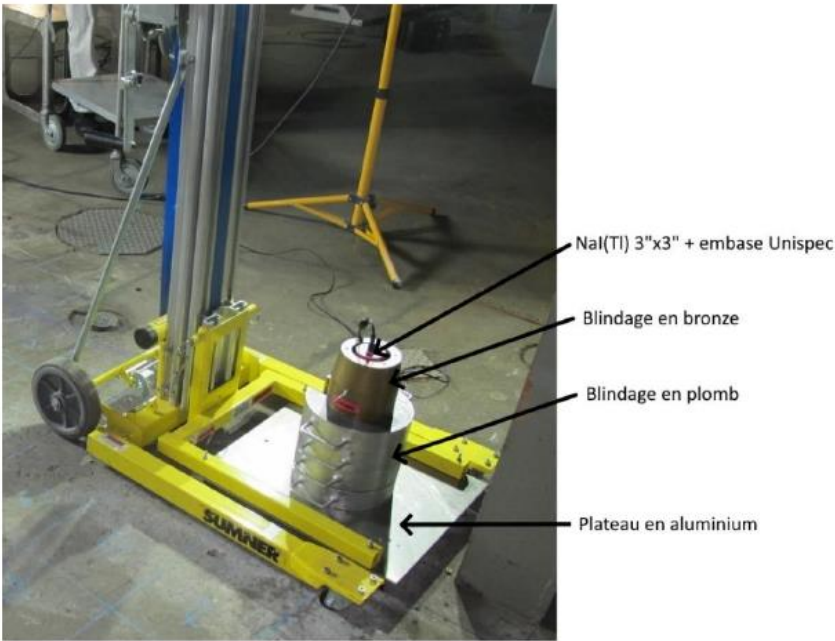


Figure 9 : Configuration de mesure au sol pour le détecteur NaI(Tl) 3"x3"

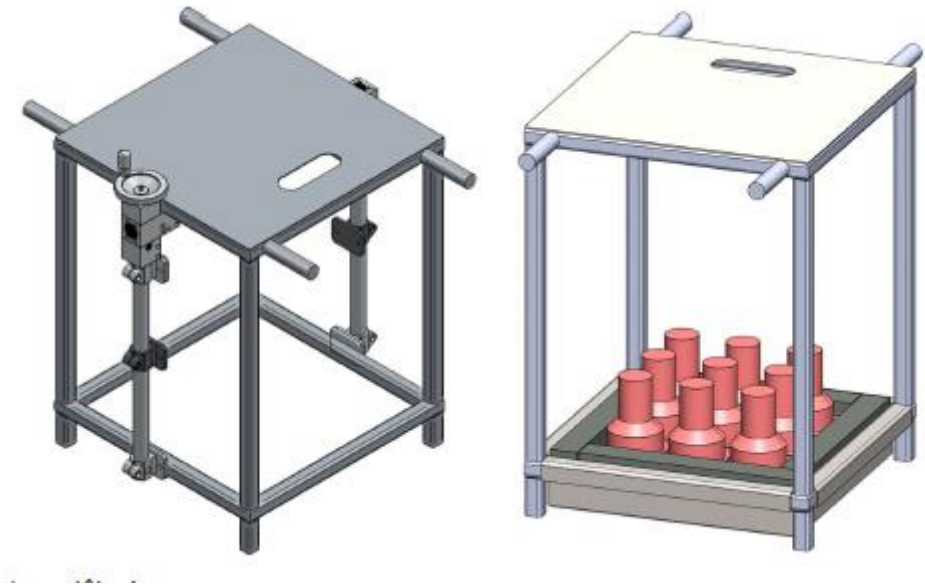


Figure 10 : Multi capteurs NaI

		Note technique		Page 16/29
		Accord :		
		Réf. :		
		Date : 10/10/2024		Indice : A
CONCEPTION, REALISATION ET QUALIFICATION DU PROTOTYPE DU SYSTEME SPOC				

3.2 Bassins STEL

La Station de Traitement des Effluents Liquides de Marcoule, STEL, a pour but de traiter les effluents radioactifs produits sur le site de Marcoule. Sa fonction est d'extraire l'activité contenue dans ces effluents et de la conditionner dans une matrice stable, puis d'évacuer les effluents décontaminés dans le Rhône. Les bassins S6 et S7 font partie du périmètre de l'atelier Réception, Bassins et Stockage (RBES).

Le bassin S6 est un ancien bassin de recueil des eaux de pluie. Au début des années 80, et durant plusieurs mois, les effluents issus de la blanchisserie active (ATL) ont été transférés dans le bassin S6. L'exploitation de ce bassin a été arrêtée en 1989.

Le bassin S7 a reçu tous les effluents pompés dans les bassins réhabilités dans le cadre du projet RBES (1980). Durant ces opérations, il a joué le rôle de décanteur et régulièrement, la phase liquide (appelée aussi « surnageant ») a été pompée et évacuée dans le réseau de traitement de la STEL. Le bassin S7 est à l'arrêt depuis 2004.

Les bassins S6 et S7 sont des ouvrages de gros volume dont les parois sont constituées de béton armé.

Afin de préparer la vidange et le démantèlement des bassins S6 et S7, une connaissance de l'activité radiologique des boues présentes dans les bassins est impérative. Pour ce faire, une campagne de mesures est en cours et permettra la création d'un modèle radiologique complet. Il est notamment nécessaire de cartographier le dessous des bassins à l'aide de sondes de débit de dose et spectrométrie gamma, sonde ST09 (SAFE Technologie), Figure 11. La sonde sera déplacée à l'aide d'un porteur robotisé et le maintien de la distance entre celle-ci et le dessous du bassin est importante.



Figure 11 : Sonde de Débit de Dose ST09

**CONCEPTION, REALISATION ET QUALIFICATION
DU PROTOTYPE DU SYSTEME SPOC**



Figure 12 : Vue sous bassin S7

Lors de l'intervention sur le bassin S6, un relevé de cote entre le sol et le fond du bassin a été fait. Toutes ces mesures sont synthétisées dans la Figure 13 ci-dessous. Les données des plans ont également été vérifiées. Ce relevé montre une variation de la distance entre le sol et le plafond. SPOC devra permettre le maintien d'une distance fixe et le parallélisme entre la sonde et le plafond.

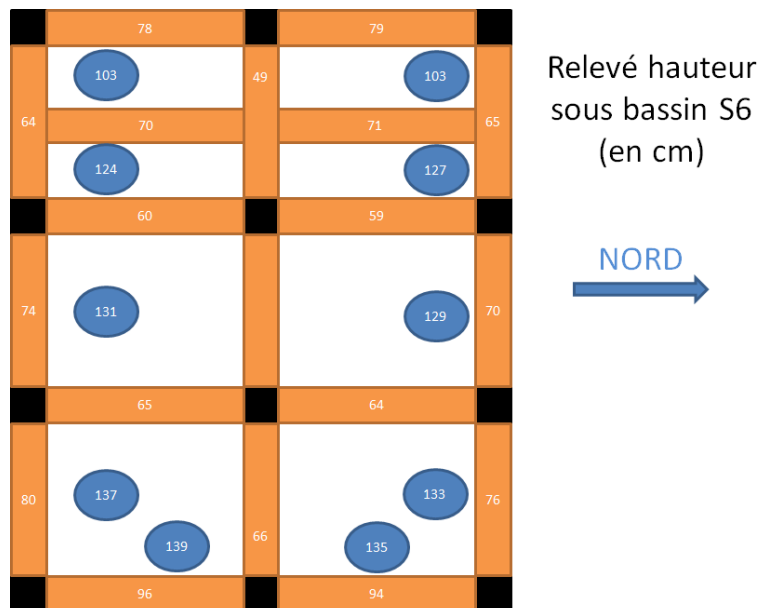



Figure 13 : Relevé de cote sous bassin S6

		Note technique	Page 18/29
		Accord :	
		Réf. :	
		Date : 10/10/2024	Indice : A
CONCEPTION, REALISATION ET QUALIFICATION DU PROTOTYPE DU SYSTEME SPOC			

4 DESCRIPTION DES BESOINS DU SYSTEME SPOC

SPOC est un système de positionnement relatif multi-capteurs. Il a pour but de garantir le positionnement d'un capteur de mesure nucléaire par rapport à une paroi verticale ou horizontale, de manière autonome, précise et sûre.

SPOC sera déplacé au besoin par un système tiers (porteur) qui pourra être robotisé (robot mobile, véhicule, etc.) ou manuel (opérateur avec un chariot ou sur rail). De fait, la mobilité de SPOC ne fait pas partie du périmètre du présent cahier des charges. Cependant, la consigne de distance entre le capteur de mesure nucléaire et la paroi ou le sol, ainsi que leur parallélisme, devront être maintenus pendant les phases de déplacement. L'éclairage de la zone de mesure n'est pas nécessaire.

En cas d'impossibilité de maintien de la consigne (présence d'objets ou d'obstacles par exemple), les informations relatives au positionnement du capteur devront être communiquées et enregistrées.


<u>Besoins fonctionnels et opérationnels globaux</u>	
BESOIN. 1:	SPOC porte un capteur de mesure nucléaire dédié à l'évaluation de l'état d'une surface verticale (murs) ou horizontale (sols ou plafonds). Les deux exemples de chantier décrits plus haut donnent un aperçu des types de murs, sols et plafonds devant être évalués. Tous types de capteur peuvent être utilisés dans la limite des caractéristiques imposées dans ce référentiel.
BESOIN. 2:	SPOC opère sur différents types de chantiers dont ceux décrits ci-dessus : sols, murs verticaux et plafonds (ces surfaces sont caractérisées par une planéité de +/-5 degrés / verticale et horizontale)
BESOIN. 3:	SPOC assure en continu et sans perte la communication de toutes les informations de positionnement du capteur à une interface utilisateur (IHM), sans fil ou filaire.
BESOIN. 4:	SPOC dispose donc d'une interface utilisateur qui pourra être distante.
BESOIN. 5:	SPOC assure le maintien de la distance entre le capteur et la zone à mesurer qui peut être ponctuelle, linéaire ou surfacique.
BESOIN. 6:	SPOC est capable de connaître la position absolue de la sonde dans les contextes d'intervention cités précédemment.
BESOIN. 7:	SPOC dispose d'algorithmes de calibration automatique pour ajuster les mesures en fonction 1) des variations environnementales (ex : changement

		Note technique	Page 19/29
		Accord :	
		Réf. :	
		Date : 10/10/2024	Indice : A
CONCEPTION, REALISATION ET QUALIFICATION DU PROTOTYPE DU SYSTEME SPOC			


	de température), 2) du capteur de mesure nucléaire embarqué et 3) du porteur, nécessitant de recalibrer les capteurs de positionnement de SPOC.
BESOIN. 8:	SPOC dispose de plusieurs modes de fonctionnement qui doivent être gérés. La liste suivante n'est qu'indicative : Arrêt pour stockage plus ou moins longue durée, tests suite à reconfiguration de mode de travail, mode de travail vertical, mode de travail horizontal, passage de mode de travail vertical à mode de travail horizontal et inverse, mode de fonctionnement dédié à la formation des opérateurs ou encore mode de travail en situation dégradée en fonction d'événements devant être identifiés et dont les effets peuvent être plus ou moins importants (exemples : suite à dysfonctionnement capteur, dysfonctionnement d'origine interne de SPOC ou dysfonctionnement entraîné par un état de surface à analyser gênant la mesure ou de contamination imprévue).
BESOIN. 9:	SPOC nécessite la présence d'un, ou plusieurs si nécessaire, opérateur(s) assurant sa mise en œuvre et caractérisés par leurs rôles (contrôle, reconfiguration si un mode de changement de travail est requis, paramétrage, ...), dûment formé(s) et certifié(s) à ces rôles.
BESOIN. 10:	SPOC est adapté pour recevoir physiquement le capteur de mesure nucléaire installé et paramétré selon le porteur.
BESOIN. 11:	SPOC est configuré pour travailler selon le mode de travail paramétré par l'opérateur, en fonction du capteur de mesure nucléaire et du porteur.
BESOIN. 12:	SPOC doit s'interfacer sur différents porteurs, qu'ils soient robotisés ou manuels, en s'adaptant à leurs spécifications.
<u>Besoins de puissance électrique</u>	
BESOIN. 13:	SPOC doit disposer d'un branchement filaire classique avec prise 220V 16A
BESOIN. 14:	Le fonctionnement sur batterie est cependant nécessaire : SPOC dispose d'une autonomie minimum de 8 heures en fonctionnement continu.
<u>Besoins poids et encombrement</u>	
BESOIN. 15:	Dimensions hors tout, hors capteur de mesure nucléaire : 50 cm * 50 cm * 50 cm.
BESOIN. 16:	Conception compacte et légère facilitant le transport et l'installation sur différents porteurs, 20 kg maximum, hors capteur de mesure nucléaire.

		Note technique	Page 20/29
		Accord :	
		Réf. :	
		Date : 10/10/2024	Indice : A
CONCEPTION, REALISATION ET QUALIFICATION DU PROTOTYPE DU SYSTEME SPOC			

<u>Besoins liés à la contrainte radiologique</u> (SPOC peut se contaminer en opération. Deux besoins essentiels sont formulés pour répondre à la contrainte d'accumulation de contamination radiologique)	
BESOIN. 17:	SPOC est intégralement nettoyable et décontaminable grâce à l'utilisation de matériaux lisses et l'absence de recoins inaccessibles. L'indice de protection (IP) pour les parties sensibles est de 67.
BESOIN. 18:	SPOC sera conçu de manière à minimiser l'impact des rayonnements gamma sur son fonctionnement en intervention (écran, maintenance préventive, choix des composants, localisation des composants sensibles...). Aucune tenue minimale n'est demandée pour les opérateurs dans leurs rôles.
<u>Besoins de maintenance</u>	
BESOIN. 19:	La maintenance de SPOC sera compatible avec les conditions d'intervention du nucléaire : une paire de gants type Mappa et 2 paires de gants chirurgicaux.
BESOIN. 20:	Les pièces de rechange sont accessibles. Le choix est orienté préférentiellement sur des pièces COTS (Commercial Off-The-Shelf, i.e. matériels et composants disponibles sur catalogue ou existants sur étagère) et des modules dont le délai de fabrication et la disponibilité de la matière première est inférieure à 2 semaines.
BESOIN. 21:	La maintenance en conditions opérationnelles de SPOC doit être rapide et simplifiée ; à cette fin, une approche de conception modulaire (mettant en avant des composants les plus indépendants possibles les uns des autres et donc aisément interchangeables) est fortement souhaitée.
<u>Contraintes de maîtrise des coûts de fabrication et de possession</u>	
BESOIN. 22:	Le coût des pièces pour la fabrication du prototype attendu de SPOC pour la qualification opérationnelle est inférieur à 3 000 € HT. De fait, le matériel COTS est choisi préférentiellement.
<u>Besoins de sûreté / sécurité</u>	
BESOIN. 23:	SPOC doit assurer la sûreté et la sécurité de l'utilisateur qui réalise les opérations comme de l'ensemble des opérateurs qui évoluent à proximité de SPOC.
BESOIN. 24:	Le risque incendie est pris en compte en mettant en place des protections et des matériaux à faible charge calorifique.

		Note technique	Page 21/29
		Accord :	
		Réf. :	
		Date : 10/10/2024	Indice : A
CONCEPTION, REALISATION ET QUALIFICATION DU PROTOTYPE DU SYSTEME SPOC			

BESOIN. 25:	Le risque électrique est pris en compte, les normes passives et actives sont mises en place.
BESOIN. 26:	Le choix des matériaux est compatible avec les contraintes imposées par l'ANDRA et le recyclage des matériaux (voir « Recueil des déchets Nucléaires »)
<u>Besoins supplémentaires</u>	
BESOIN. 27:	SPOC doit permettre d'enregistrer et de rejouer des séquences automatiques de positionnement.
BESOIN. 28:	SPOC doit assurer la traçabilité automatique de toutes les mesures de positionnement et mouvements par référencement unique et enregistrement de toutes les données accessibles et utiles (localisation, photo, date, type, nature,) et les transmettre à l'IHM.
BESOIN. 29:	La consigne de distance 'surface à mesurer / capteur de mesure nucléaire' peut varier de 5 mm à 30 cm.
BESOIN. 30:	La précision de mesure de la distance est de ± 1 mm.
BESOIN. 31:	La précision de mesure du parallélisme est de ± 1 degré.
BESOIN. 1:	SPOC embarque un seul capteur de mesure nucléaire dont les dimensions peuvent aller jusqu'à 50 x 50 cm en surface de détection et 40 cm de hauteur. La masse du capteur de mesure nucléaire est comprise entre quelques centaines de grammes et 50 kg (Voir plans d'exemples de capteurs de mesure nucléaire en annexe)
BESOIN. 32:	Le fonctionnement de SPOC doit rester stable dans diverses conditions environnementales (température : -10 °C à 50 °C, humidité : 10 % à 90 %).
BESOIN. 33:	SPOC doit résister aux interférences électromagnétiques, aux vibrations et aux chocs.
BESOIN. 34:	Le temps de montage ou de remplacement d'un capteur de mesure nucléaire ou de changement de configuration est inférieur à 30 min.
BESOIN. 35:	L'IHM de contrôle SPOC pourra être installée sur le poste de pilotage du porteur s'il existe. Elle devra permettre le paramétrage, le démarrage, la calibration, le suivi temps réel et toutes les autres fonctions nécessaires à tous les modes de fonctionnement du système.
BESOIN. 36:	SPOC devra être capable de communiquer des informations à d'autres systèmes informatiques via les réseaux, en temps réel, telles que les

		Note technique	Page 22/29
		Accord :	
		Réf. :	
		Date : 10/10/2024	Indice : A
		CONCEPTION, REALISATION ET QUALIFICATION DU PROTOTYPE DU SYSTEME SPOC	

	variables d'état et le positionnement relatif et absolu du capteur de mesure nucléaire. De manière générale, il s'agit de toutes les informations utiles à l'interprétation des mesures.
--	--

5 LIVRABLES ATTENDUS

L'approvisionnement du client comporte deux types de livrables : une prestation intellectuelle d'étude et la fourniture d'équipements qualifiés.

Les livrables attendus sont :

- 1) Les documents d'étude de conception;
- 2) Les documents de l'IVTV de SPOC;
- 3) Un prototype opérationnel de SPOC (TRL 5¹ - Validation de la technologie en environnement représentatif)
- 4) La documentation associée au prototype.

Tous les livrables seront fournis et mis à jour durant les 3 années du projet en fonction de l'organisation mise en place par l'équipe pédagogique [DR-5]]. D'autres documents peuvent être nécessaires à la conduite d'un tel projet et pourront également être livrés au client.

Livrables architecture du système

- Diagramme de contexte

Description : Schéma représentant le système dans son environnement opérationnel.

Contenu : Interfaces avec les autres systèmes, flux d'informations, et interactions principales.

- Architecture fonctionnelle

Description : Description des principales fonctions du système et de leurs interactions.

Contenu : Organigramme fonctionnel, descriptions des fonctions, et flux de données.

- Architecture physique

Description : Répartition des fonctions sur les composants matériels et logiciels.

Contenu : Diagrammes de blocs, descriptions des composants, et schémas d'assemblage.

Livrables conception détaillée

¹ <http://www.cea.fr/multimedia/Documents/infographies/Defis-du-CEA-infographie-echelle-trl.pdf>

		Note technique		Page 23/29
		Accord :		
		Réf. :		
		Date : 10/10/2024		Indice : A
CONCEPTION, REALISATION ET QUALIFICATION DU PROTOTYPE DU SYSTEME SPOC				

- Schémas électroniques et mécaniques

Description : Plans détaillés des circuits électroniques et des composants mécaniques.

Contenu : Schémas de câblage, dessins techniques, et spécifications des composants.

- Modèles 3D et CAO

Description : Modèles tridimensionnels des pièces et assemblages.

Contenu : Fichiers de conception assistée par ordinateur (CAO), rendus 3D, et plans d'assemblage.

- Dossier de fabrication

Description : Ensemble de documents nécessaires pour la fabrication des composants.

Contenu : Liste des pièces, spécifications des matériaux, procédures de fabrication, et contrôles qualité.

Livrables prototypage

- Prototype fonctionnel

Description : Version préliminaire du système permettant de valider les principales fonctions.

Contenu : Prototype physique ou simulation, documentation de test, et rapports de validation.

- Plans d'intégration, de vérification et de validation

Description : Stratégie de test pour valider les performances et la conformité du prototype.

Contenu : Protocoles de test, critères d'acceptation, et rapport de tests.

Documentation et support

- Manuel d'utilisation

Description : Guide détaillant le fonctionnement et l'utilisation du prototype.

Contenu : Instructions d'utilisation, maintenance, et dépannage.

- Dossier de projet

Description : Ensemble des documents produits tout au long du projet.

Contenu : Historique des modifications, décisions clés, et rapports d'avancement.

6 RESPONSABLE PROJET

Le CEA (MOA) sera représenté par un expert en mécatronique : Monsieur Jérémy SEYSSAUD
Jeremy.SEYSSAUD@cea.fr.

		Note technique		Page 24/29
		Accord :		
		Réf. :		
		Date : 10/10/2024		Indice : A
	CONCEPTION, REALISATION ET QUALIFICATION DU PROTOTYPE DU SYSTEME SPOC			

7 ANNEXE : EXEMPLES DE CAPTEURS DE MESURE NUCLEAIRE (OU SONDES)



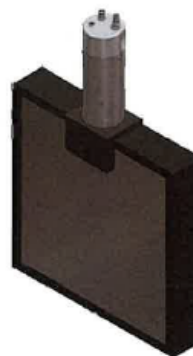
R316*4BM316/1.1-E2-EJ212-X

Description: Large area beta detector plastic scintillation detector consisting of a plastic scintillator integrally coupled to a light guide. Read out by an 51 mm diameter PMT. Provided with built-in voltage divider / preamplifier.

Scintillation material	: EJ212, 316 x 316 x 4 mm. on PMMA light guide 50 mm thick
Photomultiplier tube	: Ø 51 mm, ET 9266.
Design drawing	: VS-0636-510
Housing	: Reflector and light tight vinyl.
Entrance window	: Aluminized Mylar 18 micron thick (2.7 mg/cm ²).
Electronics	: 50 Ω buffer preamplifier.
Connections	: SHV: positive high voltage BNC: signal LEMO ERA0S302CLL: pin 1: +12V pin 2: -12 V
Cable	: 3 meter power cable to 9 pins Sub D included.
Power requirements	: +12 V, -12 V (350 mW)
Resistor chain	: 5.6 MΩ
Temperature range	: -20°C to +60°C

Preamplifier

Output impedance	: 50 Ω.
Max. signal height	: +4 V.




Last revision: 26-06-2023
Revision number: 0
Document : R316_4BM316_2M-E2-EJ212-X

Scionix Holland B.V.

Regulierenring 5
3981 LA Bunnik
The Netherlands

Tel: + 31 30 657 03 12
Fax: +31 30 656 75 63
Website: www.scionix.nl
E-mail: sales@scionix.nl

		Note technique	Page 26/29
		Accord :	
		Réf. :	
		Date : 10/10/2024	Indice : A
CONCEPTION, REALISATION ET QUALIFICATION DU PROTOTYPE DU SYSTEME SPOC			



R316*0.1BM316/1M-E1-EJ440-X2

Description: Large area ZnS(Ag) alpha scintillation detector (EJ-440) consisting of a 316x316 mm ZnS(Ag) screen read out via a EJ280 green wavelength shifter by a low profile 25.4 mm diameter PMT provided with a with built-in voltage divider and connectors

Scintillation	:	EJ-440 Plastic, 316 x 316 mm
Photomultiplier tube	:	Ø25.4 mm, type Hamamatsu R1924A
Entrance window	:	6 micron aluminized mylar (0.9 mg / cm ²)
Protection	:	Stainless steel mesh with 70 % transmission
Drawing	:	VS-1591-40
Housing	:	Reflector and light tight vinyl.
Voltage divider	:	12 MΩ.
High voltage polarity	:	Positive
Electrical connections	:	+ HV SHV Signal LEMO 00
Operating voltage	:	Approx.. 800 V, maximum high voltage + 1250 V, (voltage depends electronics)
Maximum temperature	:	+65 °C.

Last revision: 26-06-2023
Revision nr : 0
Doc. Nm : R316_0.1BM316_1M-E1-EJ440-X

Scionix Holland B.V.
Regulierenring 5 Tel: + 31 30 657 03 12
3981 LA Bunnik Fax: +31 30 656 75 63
The Netherlands Website: www.scionix.nl
E-mail: sales@scionix.nl

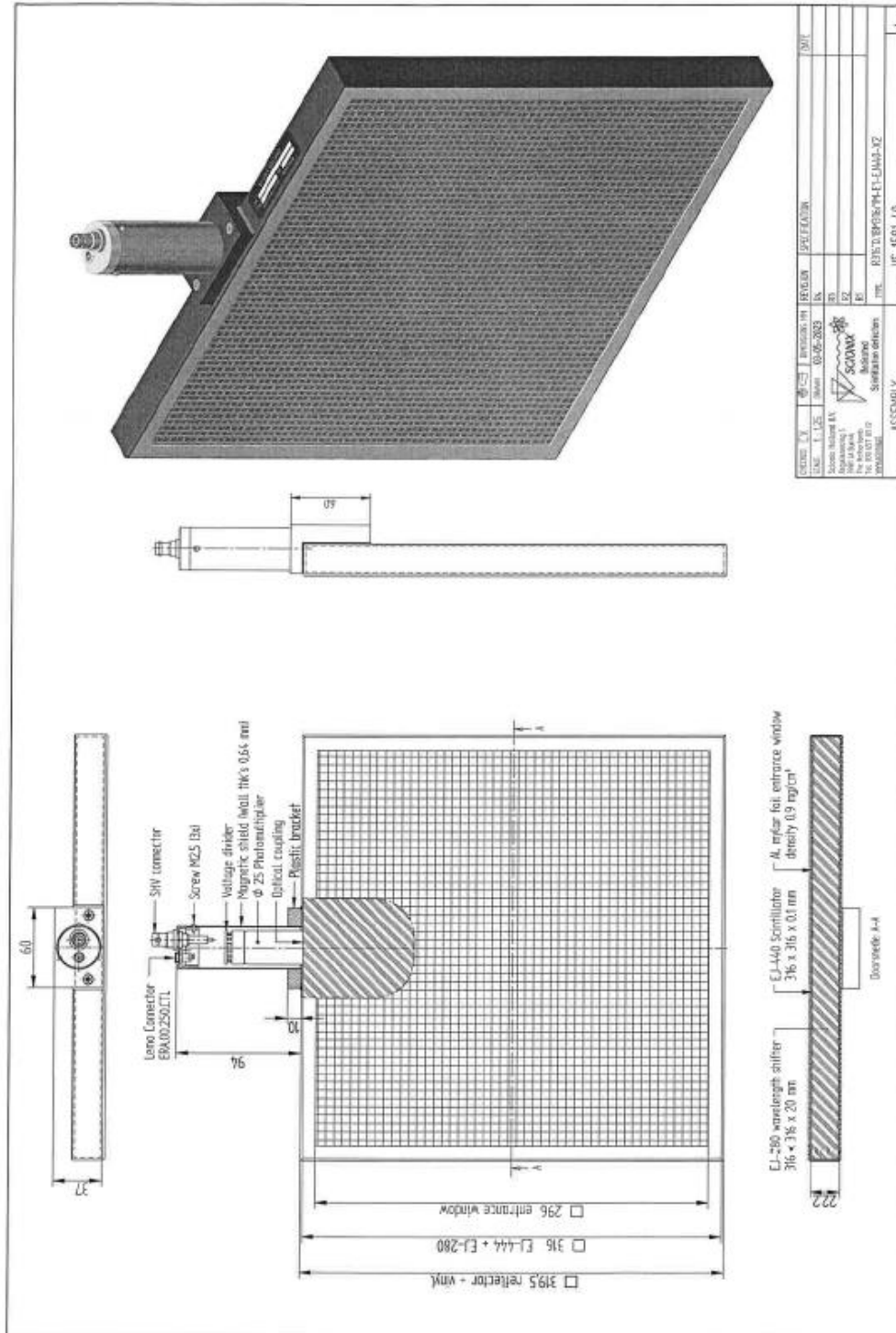


Accord :

Réf. :

Date : 10/10/2024

Indice : A

**CONCEPTION, REALISATION ET QUALIFICATION
DU PROTOTYPE DU SYSTEME SPOC****SAFE Technologie ST09**



Spécifications

Caractéristiques
Principales

Gamme de Mesure en débit	0.1µSv/h à 10 Sv/h
Erreur	+/- 15 %
Gamme de Mesure en Energie	0.05 à 3.0 MeV
Erreur	+/- 25%
Temps d'intégration	2 à 420 s
Alimentation	7 à 12 V
Consommation	30 mA
Température d'utilisation	-40 à +60 °C
Poids	0.5 kg
Dimension	170x60x60 mm
Matériau	Aluminium ou Inox



NuDET NaI

Sodium Iodide Scintillation Detectors and Probes

Product description

NaI(Tl) detectors are available in three basic configurations:

- SBG NaI(Tl) scintillation probes,
- SBW well-type NaI(Tl) scintillation probes,
- SNG NaI(Tl) scintillation probes with integrated voltage divider.

A complete SBG detector includes a PMT (standard 14-pin plug). Model SNG comes with an integrated voltage divider and connector or cable interface.



Product application

- Gamma ray spectroscopy
- Radioisotope assay
- Thyroid uptake measurement
- Health physics
- Radiation detection



Product specifications

- Thin aluminium radiation entrance window
- Mechanic adjustments (special flanges, mounting fixtures or other adjustments and modifications)
- Voltage divider is not integrated, is possible to add as option
- Choice of connectors or cable interface
- In the offer there are also encapsulated crystals without PMT

Standard (SBG)/Well Type (SBW) 2" x 2" and 3" x 3" Probes	SBG.D2.2.2	SBG.D3.3.3
Detector	Integrally-mounted scintillation assembly with NaI(Tl) scintillation detector	Integrally-mounted scintillation assembly with NaI(Tl) scintillation detector
Crystal size	2" x 2"	3" x 3"
Resolution	<7 % at 662 keV	<7.5 % at 662 keV
Interface/socket	PMT pins (standard 14-pin plug)	PMT pins (standard 14-pin plug)

Dimensions (mm)




NaI(Tl) Properties					
Density	Max. emission	Decay constant	Refractive index	Conversion efficiency	Hygroscopic
3.67 g/cm ³	415 nm	0.23 µs	1.85	100	yes