

	RAPPORT DE CONFORMITE RADIOPROTECTION - AGLAE						D&S INGÉNIERIE 573 Avenue de l'Hermitage 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE Tél 04 66 39 80 73 - Fax : 04 66 50 35 04 e-mail : contact@ds-groupe.fr				
	NT	INGB	26	OPPP	149	26/L1525	B	Page 1/21			
	Type Doc	N° Affaire				N° Ordre	Indice	FORMULAIRE FOR ING 468 B			

Rapport de conformité radioprotection de l'installation AGLAE – C2RMF - Louvre		
NOM DU PROJET	:	Projet d'extension de l'installation AGLAE avec l'ajout de la ligne de tir PIXXL
PREPARE POUR	:	Rusty ASSELE (MO - société OPPIC) ;
LISTE DE DISTRIBUTION :		Rusty ASSELE ; Mathieu ROCHE, Quentin LEMASSON, Daddy KHUABI
Concerne un service IPSN (Important Pour la Sûreté Nucléaire) ? ☐ Oui ☐ Non		
B	Cf. date d'approbation	Version BPE
A	13/04/26	Edition initiale
Indice	Date	Description de la modification

						AVIS CLIENT			
Nom :	E. MORCILLO D. KHUABY	Nom :	C. AUDOIT	Nom :	M. PRADELLE	Bon Pour Observation Bon Pour Exécution	STATUT	NOM :	
Date :	20/04/2026	Date :	20/04/2026	Date :	20/04/2026		VSO ☐	DATE :	
Visa :		Visa :		Visa :			VSO-SR ☐	Visa :	
							VAO ☐		
Rédacteur		Vérificateur		Approbateur		Statut			

	RAPPORT DE CONFORMITE RADIOPROTECTION - AGLAE							D&S INGÉNIERIE 573 Avenue de l'Hermitage 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE Tél 04 66 39 80 73 - Fax : 04 66 50 35 04 e-mail : contact@ds-groupe.fr
	NT	INGB	26	OPPP	149	26/L1525	B	Page 2/21
	Type Doc	N° Affaire				N° Ordre	Indice	FORMULAIRE FOR ING 468 B

SOMMAIRE

1. RUBRIQUES INTRODUCTIVES	3
1.1 OBJET	3
1.2 REFERENCES	3
2. SYNTHESE DE L'AMBIANCE RADIOLOGIQUE DANS L'INSTALLATION	4
2.1 MACHINE ETEINTE	4
2.2 MACHINE EN FONCTIONNEMENT NORMAL EN MODE PROTONS/ALPHAS.....	4
2.3 MACHINE EN FONCTIONNEMENT NORMAL EN MODE DEUTONS	5
3. ANALYSE RADIOPROTECTION DE L'AUTOMATE EXISTANT	6
3.1 FONCTIONS DE SECURITE	7
3.2 DISPOSITIONS RELATIVES AUX MATERIELS	8
3.3 DISPOSITIONS RELATIVES A LA REALISATION DES LOGIQUES CONFIEES AUX AUTOMATISMES.....	10
3.4 DISPOSITIFS DE SECURITE	12
3.4.1 <i>Le système de ronde.....</i>	<i>12</i>
3.4.2 <i>Les capteurs de porte et serrures à clés prisonnières</i>	<i>15</i>
3.4.3 <i>La signalisation lumineuse relative aux accès.....</i>	<i>16</i>
3.4.4 <i>Le dispositif d'ouverture d'urgence des portes d'accès à l'intérieur de la casemate.....</i>	<i>18</i>
3.4.5 <i>L'arrêt d'urgence.....</i>	<i>19</i>
4. CONCLUSION SUR LA CONFORMITE DE L'INSTALLATION EXISTANTE	20

	RAPPORT DE CONFORMITE RADIOPROTECTION - AGLAE						D&S INGÉNIERIE 573 Avenue de l'Hermitage 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE Tél 04 66 39 80 73 - Fax : 04 66 50 35 04 e-mail : contact@ds-groupe.fr				
	NT	INGB	26	OPPP	149	26/L1525	B	Page 3/21			
	Type Doc	N° Affaire				N° Ordre	Indice	FORMULAIRE FOR ING 468 B			

1. RUBRIQUES INTRODUCTIVES

1.1 Objet

Cette note présente l'analyse radioprotection de l'automate de sécurité existant de l'installation AGLAE situé dans le musée du Louvre dans les locaux du Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France (C2RMF). Cette analyse est effectuée au vu de la norme NF M62-105.

L'analyse porte uniquement sur le système de contrôle d'accès des casemates non accessibles pendant l'émission au vu de leur dose efficace susceptible d'y être reçue qui est supérieure à 2 mSv intégrée sur une heure ou le débit d'équivalent de dose ambiant est supérieur à 2 mSv par seconde.

Cette analyse inclue les points ci-dessous :

- Rappel des objectifs de sécurité
- Fonctions de sécurité
- Dispositions relatives au matériel
- Dispositions relatives à la réalisation des logiques confiées aux automatismes
- Dispositifs de sécurité

Une analyse du code de l'automate a été réalisée sur chaque points listés précédemment sur la base des documents [3][4][5][6] afin d'en vérifier la cohérence.

La phase de conception et notamment de dimensionnement des épaisseurs de casemate est hors périmètre de l'analyse.

1.2 Références

- [1] 20231215_Installation 1 : Installation n°1 : accélérateur de particules AGLAE
- [2] NF M62-105 – Energie nucléaire – Accélérateurs utilisés dans les domaines industriels et de la recherche : installations
- [3] Logix Designer Report(s) programme source 2017
- [4] Egis_Le_Louvre_250905 modification encadre janvier 2026
- [5] TECH_BDD_P2639_16-025_AF_Rev5c : Analyse fonctionnelle avec grafcet
- [6] TECH_BDD_P2639_16_020 Rev 6 : liste des variables
- [7] Procès-verbal de réception des opérations préalables à la réception

	RAPPORT DE CONFORMITE RADIOPROTECTION - AGLAE						D&S INGÉNIERIE 573 Avenue de l'Hermitage 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE Tél 04 66 39 80 73 - Fax : 04 66 50 35 04 e-mail : contact@ds-groupe.fr				
	NT	INGB	26	OPPP	149	26/L1525	B	Page 4/21			
	Type Doc	N° Affaire				N° Ordre	Indice	FORMULAIRE FOR ING 468 B			

2. SYNTHÈSE DE L'AMBIANCE RADIOLOGIQUE DANS L'INSTALLATION

2.1 Machine éteinte

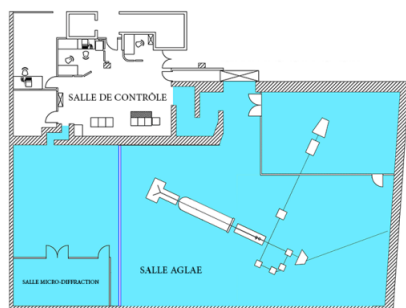
D'après la note [1], en arrêt de fonctionnement (machine avec faisceau éteint), le débit de dose associé à l'accélérateur est considéré comme nul.

En mode deuton, il est prévu une temporisation de 10 mn après extinction du faisceau et avant l'autorisation d'entrée en salle 322.

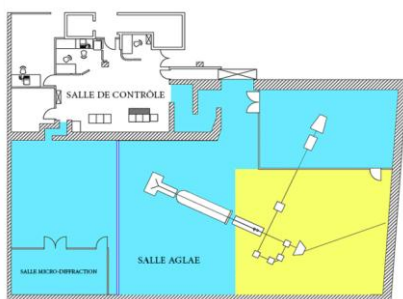
2.2 Machine en fonctionnement normal en mode protons/alphas

La salle de contrôle (salle 325) présente un débit de dose inférieur à 80 μ Sv par mois soit une zone surveillée.

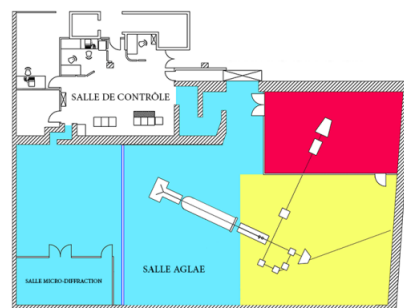
Les images ci-dessous présentent le zonage radiologique en salle 322 selon le type de faisceau (extrait/non extrait) et de particules (accélérées ou non) considérés en mode proton/alpha. Ce mode représente 90% du temps de faisceau à l'année dans le laboratoire.



Faisceau non extrait à l'air et
particules non accélérées



Faisceau non extrait à l'air et
particules accélérées



Faisceau extrait en salle
d'expérimentation

Figure 1 : zonage de la salle 322 en mode protons/alpha

Ci-dessous le zonage radiologique en sous mode chambre à vide (faisceau non extrait, ci-dessous le zonage à considérer. A noter que ce mode est rarement utilisé.

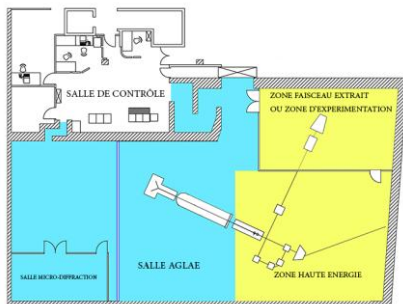


Figure 2 : zonage de la salle 322 en mode alpha/protons - chambre à vide

Le phénomène d'activation par les protons est considéré comme négligeable du fait de leur énergie inférieure à 6 MeV.

	RAPPORT DE CONFORMITE RADIOPROTECTION - AGLAE						D&S INGÉNIERIE 573 Avenue de l'Hermitage 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE Tél 04 66 39 80 73 - Fax : 04 66 50 35 04 e-mail : contact@ds-groupe.fr							
	NT	INGB	26	OPPP	149	26/L1525	B	Page 5/21						
	Type Doc	N° Affaire				N° Ordre	Indice	FORMULAIRE <table><tr><td>FOR</td><td>ING</td><td>468</td><td>B</td></tr></table>				FOR	ING	468
FOR	ING	468	B											

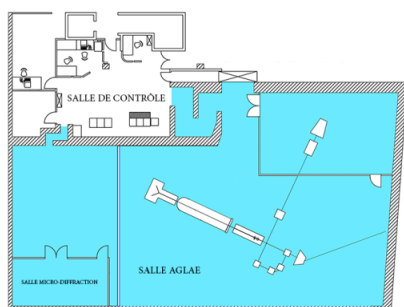
2.3 Machine en fonctionnement normal en mode deutons

Le débit de dose (calculé via le code Monte Carlo N Particule) est estimé dans la salle 322 entre 100 $\mu\text{Sv/h}$ et 10 mSv/h. Le local est classé en zone contrôlée rouge lorsque le faisceau est extrait à l'air et les particules accélérées.

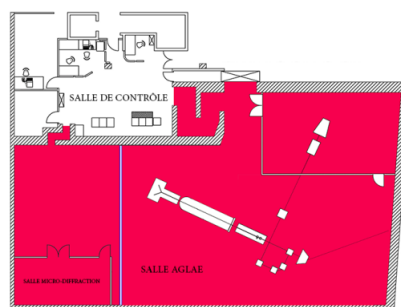
Dans la salle 325 (salle de commande) le débit d'équivalent de dose est au maximum de 2 $\mu\text{Sv/h}$

En mode deutons, l'activation est à considérer. D'après la note [1], elle peut être plus ou moins importante en fonction de l'objet irradié et de son matériau notamment.

Une temporisation de 10 mn est demandée avant entrée en salle 322.



Faisceau non extrait à l'air (particules non accélérées)



Faisceau extrait à l'air (particules accélérées)

Figure 3 : zonage de la salle 322 en mode deuton

	RAPPORT DE CONFORMITE RADIOPROTECTION - AGLAE						D&S INGÉNIERIE 573 Avenue de l'Hermitage 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE Tél 04 66 39 80 73 - Fax : 04 66 50 35 04 e-mail : contact@ds-groupe.fr				
	NT	INGB	26	OPPP	149	26/L1525	B	Page 6/21			
	Type Doc	N° Affaire				N° Ordre	Indice	FORMULAIRE FOR ING 468 B			

3. ANALYSE RADIOPROTECTION DE L'AUTOMATE EXISTANT

Cette analyse de l'automate existant ne prend en compte que la phase d'exploitation et de maintenance de l'installation AGLAE.

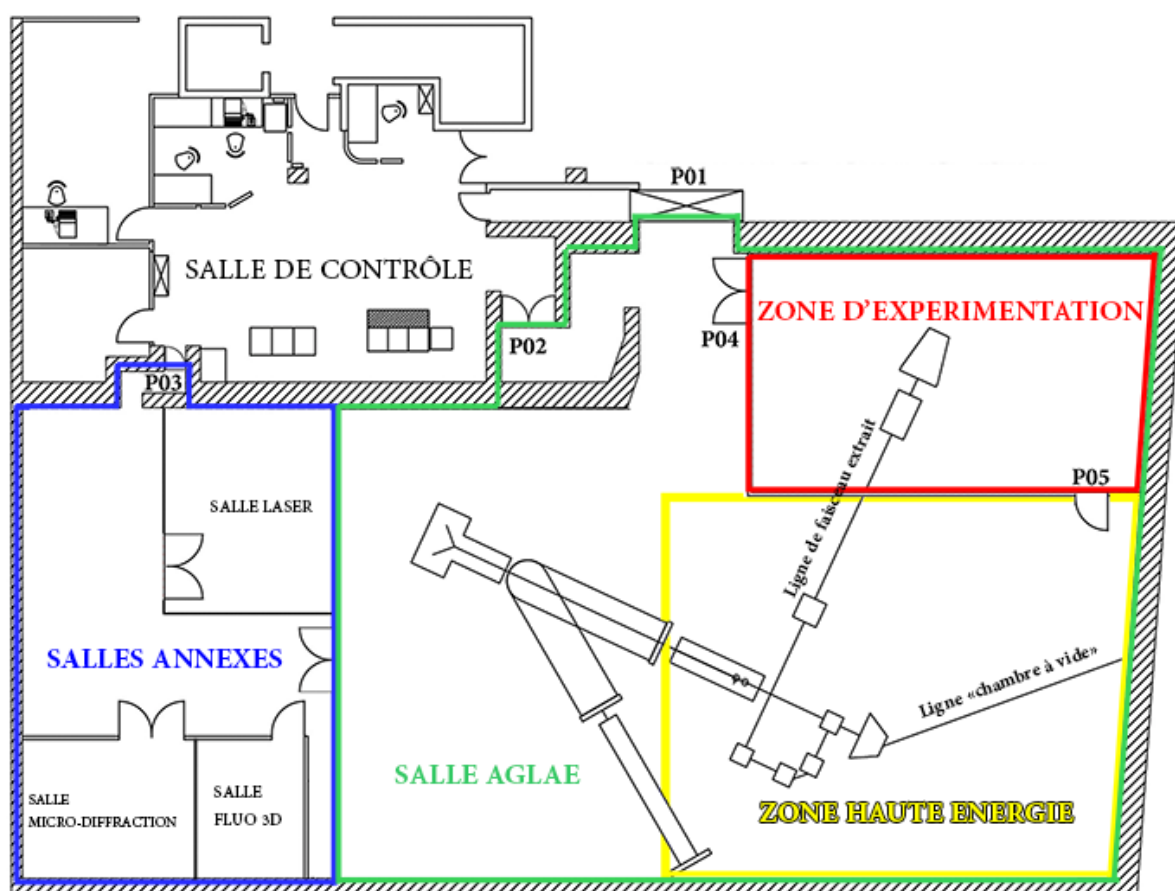


Figure 4 : plan des salles 322 et 325

Rappel des objectifs de sécurité :

- Evacuer la casemate avant l'émission de rayonnements ionisants, en s'assurant de l'absence de personnel et en alertant de l'imminence du risque d'irradiation.
- Empêcher l'entrée du personnel dans la casemate lorsque l'émission de rayonnements ionisants due au fonctionnement de l'accélérateur ne peut être exclue, en fermant et en verrouillant au préalable les accès.
- Entraîner, en cas de tentative d'accès à la casemate, l'arrêt immédiat de l'émission de rayonnements ionisants dans cette casemate.
- Arrêter l'émission en cas de présence accidentelle et en cas de dysfonctionnement d'une fonction de sécurité.

	RAPPORT DE CONFORMITE RADIOPROTECTION - AGLAE						D&S INGÉNIERIE 573 Avenue de l'Hermitage 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE Tél 04 66 39 80 73 - Fax : 04 66 50 35 04 e-mail : contact@ds-groupe.fr							
	NT	INGB	26	OPPP	149	26/L1525	B	Page 7/21						
	Type Doc	N° Affaire				N° Ordre	Indice	FORMULAIRE <table><tr><td>FOR</td><td>ING</td><td>468</td><td>B</td></tr></table>				FOR	ING	468
FOR	ING	468	B											

3.1 Fonctions de sécurité

Rappel des recommandations de la norme Erreur ! Source du renvoi introuvable.

Le niveau d'intégrité de sécurité doit à **minima être SIL3** au titre de la norme CEI 61508.

Pour atteindre ce niveau d'intégrité, l'installation doit être prémunie des conséquences des défaillances du matériel et des erreurs qui pourraient être commises lors de la conception des dispositifs, en particulier les erreurs dans la réalisation des logiques confiées aux automatismes, et de mettre en place un système doté d'une architecture adéquate.

Point d'analyse de l'existant :

L'automate de sécurité est un modèle Rockwell doté d'une CPU Compact Guard Logix modèle 1769-L30ERMS. Il est classé SIL3.

Celui-ci est construit de façon que dans tous les cas, la défaillance d'un élément de sécurité, la perte d'alimentation de l'armoire ou l'ouverture d'une porte (suivant le mode) pendant le fonctionnement entraînent le passage de la machine dans un état sûr.

→ Analyse par rapport au code de l'automate :

Le programme est conçu de manière à fonctionner correctement et à chaque défaut l'automate se mettra en mode défaillance le temps de résoudre le problème et revenir à la normale par la suite ; défauts tels que :

- Défaut capteurs global ;
- Défaut capteurs cages de faraday global ;
- Défaut arrêt d'urgence ;
- Absences des clés ;
- Déverrouillage des portes.

	RAPPORT DE CONFORMITE RADIOPROTECTION - AGLAE						D&S INGÉNIERIE 573 Avenue de l'Hermitage 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE Tél 04 66 39 80 73 - Fax : 04 66 50 35 04 e-mail : contact@ds-groupe.fr							
	NT	INGB	26	OPPP	149	26/L1525	B	Page 8/21						
	Type Doc	N° Affaire				N° Ordre	Indice	FORMULAIRE <table><tr><td>FOR</td><td>ING</td><td>468</td><td>B</td></tr></table>				FOR	ING	468
FOR	ING	468	B											

3.2 Dispositions relatives aux matériels

Rappel des recommandations de la norme Erreur ! Source du renvoi introuvable.

Afin de pallier les défaillances de cause commune, des systèmes ou composants supplémentaires (identiques ou différents) doivent être mis en place afin qu'un élément quelconque puisse remplir la fonction requise indépendamment de l'état de fonctionnement ou de défaillance d'un autre élément (redondance, duplication et diversité).

Les dispositifs de sécurité doivent être à sécurité positive : la protection des travailleurs doit être assurée en cas de défaillance du système de sécurité.

Point d'analyse 1 de l'existant :

Toute défaillance de l'automate ou des dispositifs associés aux cages de Faraday ou micro-vannes, entraîne la mise en état sûr de l'installation (cf. §3.3).

➔ **Analyse par rapport au code de l'automate :**

Le mode arrêt d'urgence :

- [Appui de l'arrêt d'urgence et Gamma < seuil] OU [Appui de l'arrêt d'urgence et Gamma > seuil] OU [Neutron > seuil] ; comme indiqué sur le grafctet de l'analyse fonctionnelle détaillée page 20 de [5].

Le mode défaillance :

- Déverrouillages des portes, défauts capteurs, ouverture des cages Faraday ou encore perte de haute tension que ça soit en mode proton ou en mode deuton ; comme indiqué sur la page 182 de [3].

Point d'analyse 2 de l'existant :

Des fonctions de sécurité vérifiant l'état de cages sont intégrées dans l'automate. Si les capteurs renvoient deux positions en même temps ou aucune position pendant plus de 3 secondes, l'automate se met en sécurité et aucun tir n'est possible. De plus, un signal de défaut est envoyé à l'interface IHM de l'accélérateur.

➔ **Analyse par rapport au code de l'automate :**

Le capteur ne peut pas envoyer deux positions (TOR), la programmation est binaire et surtout l'utilisation de la redondance inversée comme sur la page 182, 247, 274.

Il y a des temporisations de discordances pour chaque cage de Faraday.

En cas de dépassement, la discordance remonte un défaut.

Ce défaut fait entrer l'automate en mode défaillance.

	RAPPORT DE CONFORMITE RADIOPROTECTION - AGLAE						D&S INGÉNIERIE 573 Avenue de l'Hermitage 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE Tél 04 66 39 80 73 - Fax : 04 66 50 35 04 e-mail : contact@ds-groupe.fr				
	NT	INGB	26	OPPP	149	26/L1525	B	Page 9/21			
	Type Doc	N° Affaire				N° Ordre	Indice	FORMULAIRE FOR ING 468 B			

Point d'analyse 3 de l'existant :

Pour assurer la non-possibilité de guider le faisceau dans la casemate, 2 points d'arrêt du faisceau sont toujours utilisés. Ces points d'arrêt sont par ailleurs fermés (bloquant le faisceau) si non alimentés en électricité, à savoir :

- CF1 et CF2 pour le mode deutons
- CF3 et V6 pour le mode protons.

Ces éléments sont donc à sécurité positive.

→ Analyse par rapport au code de l'automate :

Fonctionnement normal :

- Ronde ok, mode Proton ou Deuton haute tension.
- Présence des clés prisonnières.

En dehors du mode de fonctionnement normal :

- Pas d'autorisation de tir, fermeture de la vanne micro-faisceau et fermeture des cages de Faraday.
- Présence d'un CF4 dans le code automate comme décrit sur la page 356 de [3].

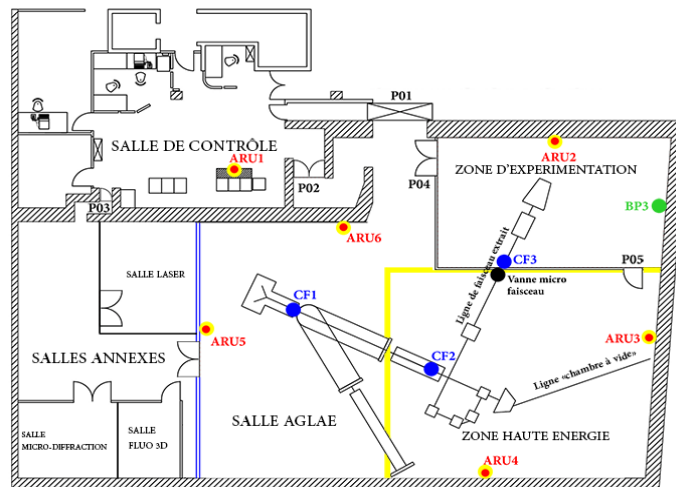


Figure 5 : position des cages de faraday et de la micro-vanne V6

Point d'analyse 4 de l'existant :

La diversité (technologie différente pour un même dispositif), la duplication et la redondance sont garantie via les clés prisonnières, les contacteurs de porte, les arrêts d'urgence et les cages de faraday.

→ Analyse par rapport au code de l'automate :

Plusieurs sécurités sont redondantes pour éviter des états incompréhensibles pour l'automate. Comme sur les pages [4] :

- Cage Faraday 1 : page 182.
- Cage faraday 2 : page 274.
- Cage de faraday 3 : page 275.
- Cage de faraday 4 : page : 276.
- Cages de faraday 1, 2 et 3 : page 247.

	RAPPORT DE CONFORMITE RADIOPROTECTION - AGLAE							D&S INGÉNIERIE 573 Avenue de l'Hermitage 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE Tél 04 66 39 80 73 - Fax : 04 66 50 35 04 e-mail : contact@ds-groupe.fr
	NT	INGB	26	OPPP	149	26/L1525	B	Page 10/21
	Type Doc	N° Affaire			N° Ordre		Indice	FORMULAIRE FOR ING 468 B

3.3 Dispositions relatives à la réalisation des logiques confiées aux automatismes

Rappel des recommandations de la norme Erreur ! Source du renvoi introuvable.

Les automatismes qui réalisent les fonctions de sécurité doivent être indépendants du système de contrôle commande en charge du pilotage et de l'exploitation de l'installation.

La réalisation des logiques des fonctions de sécurité doit prévoir :

- La formation adéquate de la personne en charge de la réalisation.
- La rédaction en amont de spécifications techniques claires et complètes, contenant notamment toutes les exigences fonctionnelles et les exigences de sécurité.
- La vérification des spécifications techniques par une tierce personne.
- La séparation des modes « pilotage normal » et « maintenance » ou « dérogation ».
- La formalisation des procédures de test (rédaction d'un plan de test, définition de la couverture du test etc.).
- La vérification que les fonctions de sécurité sont effectivement assurées.
- La traçabilité des modifications, réalisation d'une analyse d'impact et validation.
- Une documentation complète, claire et mise à jour.

Point d'analyse 1 de l'existant :

L'automate de sécurité est un modèle du type Rockwell Rockwell doté d'une CPU Compact Guard Logix modèle 1769-L30ERMS.

L'automate de contrôle commande est de type Thales.

L'état sûr de la machine se caractérise par :

- Coupure des alimentations des cages de Faraday et de la vanne microfaisceau ce qui empêchent l'extraction du faisceau à l'air.
- Signalisation de l'état d'arrêt d'urgence vers l'automate Thalès.

→ Analyse par rapport au code de l'automate :

Une coupure de l'alimentation 24 V entraîne la mise hors service de l'automate de sécurité. Dans ce cas, le bit de vie n'est plus transmis. L'automate Thales détecte alors la perte de communication avec l'automate de sécurité et la gère selon sa propre logique de fonctionnement.

En cas de coupure haute tension le process se met en mode défaillance le temps de résoudre le problème ou l'anomalie.

L'automate Thales reçoit bien l'information des états des toutes les variables.

Point d'analyse 2 de l'existant :

Présence d'entrée et de sortie de sécurité sur la position des cages et de la vanne microfaisceau : si le signal ne passe pas vers l'automate ; l'alimentation des cages et de la vanne est coupée car l'automate est mis en défaut.

→ Analyse par rapport au code de l'automate :

Le retour de l'information est conditionné par un temps de discordance ; si le temps de retour d'information prévu est dépassé l'automate passe en mode défaillance.

	RAPPORT DE CONFORMITE RADIOPROTECTION - AGLAE						D&S INGÉNIERIE 573 Avenue de l'Hermitage 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE Tél 04 66 39 80 73 - Fax : 04 66 50 35 04 e-mail : contact@ds-groupe.fr				
	NT	INGB	26	OPPP	149	26/L1525	B	Page 11/21			
	Type Doc	N° Affaire				N° Ordre	Indice	FORMULAIRE FOR ING 468 B			

Point d'analyse 3 de l'existant :

Les systèmes de sécurité sont soit câblés en série, soit pris en compte en série dans la programmation de l'automate.

→ Analyse par rapport au code de l'automate :

Le système de sécurité est en série ; avec une redondance en parallèle pour plus de sécurité, dans certain cas.

Point d'analyse 4 de l'existant :

La perte d'alimentation électrique de l'automate de sécurité entraine le déverrouillage des gâches électriques des portes.

→ Analyse par rapport au code de l'automate :

La fonction est assurée.

La commande ou activation de la gâche est arrêtée si la clé prisonnière est activée ou l'interrupteur d'ouverture d'urgence actionné pendant une certaine durée.

Point d'analyse 5 de l'existant :

L'automate dispose de deux modes de fonctionnements : un mode « pilotage normal » et un mode « dérogatoire » associé au mode « chambre à vide ».

→ Analyse par rapport au code de l'automate :

Le programme de l'automate sécurité ne traite pas de ces deux modes de fonctionnement.

Point d'analyse 6 de l'existant :

Les points énoncés ci-dessous relatifs à la réalisation des logiques de fonctions de sécurité n'ont pas pu être vérifiés sur l'existant à date dans le cadre de l'étude.

- La formation adéquate de la personne en charge de la réalisation.
- La formalisation des procédures de test (rédaction d'un plan de test, définition de la couverture du test etc.).
- La vérification in situ que les fonctions de sécurité sont effectivement assurées.
- La traçabilité des modifications, réalisation d'une analyse d'impact et validation.
- Une documentation exhaustive complète, claire et mise à jour.

→ Pour la vérification in situ que les fonctions de sécurité sont effectivement assurées, l'installation dispose du PV de réception de 2017 [7].

→ L'ensemble des points listés seront à vérifier lors de la mise en service du nouvel automate (ou extension de l'existant pour la ligne PIXXL).

	RAPPORT DE CONFORMITE RADIOPROTECTION - AGLAE						D&S INGÉNIERIE 573 Avenue de l'Hermitage 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE Tél 04 66 39 80 73 - Fax : 04 66 50 35 04 e-mail : contact@ds-groupe.fr				
	NT	INGB	26	OPPP	149	26/L1525	B	Page 12/21			
	Type Doc	N° Affaire				N° Ordre	Indice	FORMULAIRE FOR ING 468 B			

3.4 Dispositifs de sécurité

Rappel des recommandations de la norme Erreur ! Source du renvoi introuvable.

Les dispositifs de sécurité à mettre en place a minima sont les suivants :

- Le système de ronde.
- Les capteurs de porte.
- Les serrures à clé prisonnière ou dispositif équivalent.
- La signalisation lumineuse relative au accès.
- Le dispositif d'ouverture d'urgence des portes d'accès à l'intérieur de la casemate.
- L'arrêt d'urgence.
-

3.4.1 Le système de ronde

Rappel des recommandations de la norme Erreur ! Source du renvoi introuvable.

Le système de ronde comprend un ou plusieurs boutons à l'intérieure de la casemate qui doivent être actionnés par un même opérateur dans un certain ordre et dans un temps limité.

En cas de dépassement de ce délai, l'ensemble de la procédure est réinitialisé. De même en cas de coupure électrique ou d'ouverture de l'un des accès.

Le positionnement des boutons de ronde permet en particulier une couverture visuelle complète de tout le volume de la casemate, ainsi que la détection de l'entrée éventuelle d'une personne pendant la ronde.

La procédure de ronde est associée à un signal sonore.

Point d'analyse 1 de l'existant :

En mode alpha, seule la zone d'expérimentation est en zone interdite. Avec le faisceau qui ne peut être extrait que dans le cas où la zone d'expérimentation est verrouillée et qui est asservi à l'ouverture de la porte P04 ou P05, la ronde mise en place consiste à :

- Fermer l'une des portes P04 ou P05,
- Actionner le rondier BP3 dans la zone d'expérimentation
- Sortir et verrouiller la deuxième porte, ceci en moins de 15s.

→ Analyse par rapport au code de l'automate :

Cette action est présente, mais lors de la modification de 01/2026, « pas de présence défaut capteurs global », « pas de présence de la clé chambre à vide » et « pas d'arrêt d'urgence » ont été ajoutés.

Les deux portes doivent être fermées une fois la personne sortie : ce point doit être vérifié en phase test de mise en route.

	RAPPORT DE CONFORMITE RADIOPROTECTION - AGLAE						D&S INGÉNIERIE 573 Avenue de l'Hermitage 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE Tél 04 66 39 80 73 - Fax : 04 66 50 35 04 e-mail : contact@ds-groupe.fr							
	NT	INGB	26	OPPP	149	26/L1525	B	Page 13/21						
	Type Doc	N° Affaire				N° Ordre	Indice	FORMULAIRE <table><tr><td>FOR</td><td>ING</td><td>468</td><td>B</td></tr></table>				FOR	ING	468
FOR	ING	468	B											

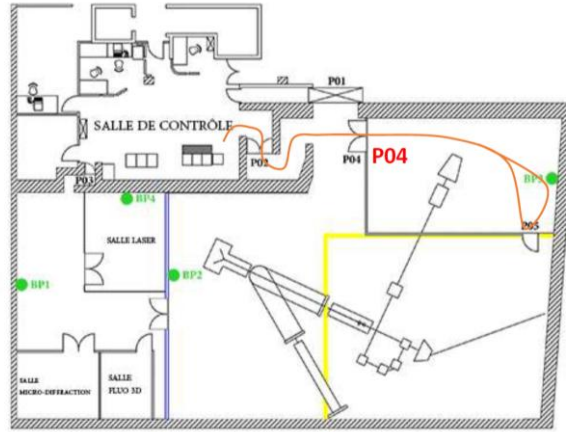


Figure 6 : chemin de ronde en mode proton/alpha

Point d'analyse 2 de l'existant :

En mode deuton, toute la salle 322 est interdite d'accès. La ronde mise en place consiste à :

- entrer par la porte P03,
- actionner le rondier BP3 dans la zone d'expérimentation,
- fermer la porte P04,
- actionner le rondier BP2 dans la salle AGLAE,
- actionner les rondiers BP1 et BP4 dans les salles annexes,
- sortir, ceci en moins de 3 mn.

➔ Analyse par rapport au code de l'automate :

Cette action n'est pas écrite de cette façon et la durée est de 150 secondes et non 3 minutes :

- Entrée par la porte 3,
- Appui au rondier 1 ou 2 ou 3 ou encore 4,
- Pas de présence défaut capteurs global, pas de sortie d'arrêt d'urgence et pas de synthèse des arrêts d'urgence ont été ajoutées en janvier 2026.
- L'opérateur doit sortir au bout d'une durée de 150 secondes.
- L'analyse fonctionnelle est à revoir.

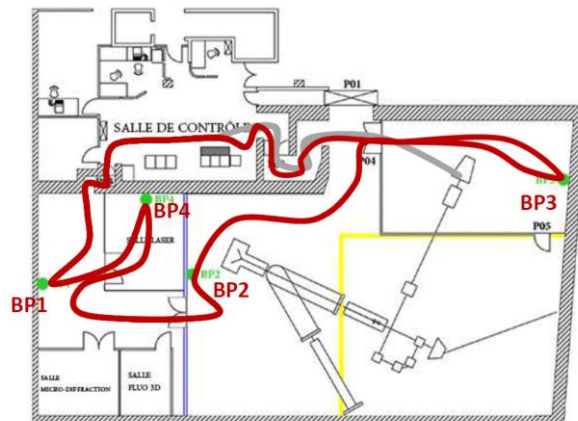


Figure 7 : chemin de ronde en mode deuton

	RAPPORT DE CONFORMITE RADIOPROTECTION - AGLAE						D&S INGÉNIERIE 573 Avenue de l'Hermitage 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE Tél 04 66 39 80 73 - Fax : 04 66 50 35 04 e-mail : contact@ds-groupe.fr				
	NT	INGB	26	OPPP	149	26/L1525	B	Page 14/21			
	Type Doc	N° Affaire				N° Ordre	Indice	FORMULAIRE FOR ING 468 B			

Point d'analyse 3 de l'existant :

Si l'une des conditions n'est pas remplie ou qu'une porte est rouverte pendant la ronde, celle-ci doit être refaite. Les clés prisonnières doivent être alors actionnées dans le pupitre situé en salle de contrôle pour obtenir l'autorisation de tir. Le retrait d'une clé du pupitre entraîne la chute de la ronde.

→ Analyse par rapport au code de l'automate :

En mode Proton ou Deuton, la Ronde Ok n'est pas activée si :

Une clé prisonnière 4 ou 5 en mode proton

Une clé prisonnière 1,2 ou 3 en mode Deuton.

L'effet de retirer une clé quel que soit le mode annule la Ronde OK

Point d'analyse 4 de l'existant :

La ronde en mode deuton est associé à un signal sonore contrairement à la ronde associée au mode proton/alpha. L'absence de signal sonore pour la ronde en mode proton /alpha est justifiée et remplacé par une commande vocale d'évacuation.

→ Analyse par rapport au code de l'automate :

Cette action est écrite comme telle dans le mode Deuton la sirène retentie avec la porte 1 fermée et détection porte 3 fermée tandis que le mode Proton n'y est pas dans le code comme l'énoncée l'indique.

Point d'analyse 5 de l'existant :

La vision globale de la zone est assurée via la présence de parois vitrées.

Le système de ronde mis en place est conforme à la norme NF M62-105.

→ Analyse par rapport au code de l'automate :

Le système de ronde intégrée à l'automate prend en compte l'ensemble des dispositifs requis, notamment les arrêts d'urgence, les signalisations sonores, les validations de tir, les systèmes de clés prisonnières, ainsi que le contrôle et la confirmation de la fermeture des accès.

L'ensemble de ces conditions doit être satisfait pour autoriser le tir, conformément aux exigences de la norme NF M62-105, y compris dans les différents modes de ronde de l'installation (proton, deuton).

	RAPPORT DE CONFORMITE RADIOPROTECTION - AGLAE						D&S INGÉNIERIE 573 Avenue de l'Hermitage 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE Tél 04 66 39 80 73 - Fax : 04 66 50 35 04 e-mail : contact@ds-groupe.fr							
	NT	INGB	26	OPPP	149	26/L1525	B	Page 15/21						
	Type Doc	N° Affaire				N° Ordre	Indice	FORMULAIRE <table><tr><td>FOR</td><td>ING</td><td>468</td><td>B</td></tr></table>				FOR	ING	468
FOR	ING	468	B											

3.4.2 Les capteurs de porte et serrures à clés prisonnières

Rappel des recommandations de la norme Erreur ! Source du renvoi introuvable.

L'émission du faisceau est asservie dans la casemate à la fermeture effective de tous les accès. Cet asservissement repose sur les signaux issus d'un capteur de porte certifié SIL3 ou d'aux moins deux capteurs de porte, judicieusement positionnés au niveau de chaque accès.

L'ouverture des accès à la casemate n'est possible qu'au moyen de clés prisonnières au pupitre de commande de l'accélérateur.

Tant que l'un des accès est ouvert, la clé reste prisonnière dans sa serrure. Elle ne peut être retirée qu'une fois l'accès fermé et verrouillé.

La présence des clés prisonnières de chacun des accès est requise au pupitre de commande ou sur les centralisateurs de clés pour pouvoir procéder à l'émission de rayonnements ionisants dans la zone verrouillée. La prise de l'une des clés entraîne automatiquement l'arrêt de l'émission de rayonnements ionisants dans la casemate.

Point d'analyse de l'existant :

La casemate (salle 322) est accessible via trois accès :

- La porte P01 coulissante : elle est dotée de deux capteurs de position de technologie différente (mécanique et RFID). Chaque capteur est relié à l'automate de sécurité sur une entrée de sécurité.
- Les porte P02 et P03 qui sont dotées :
 - o De deux capteurs de position de technologie différente (mécanique et RFID) avec gâche de sécurité Allen-Bradley TLS-Z GD2 (EN ISO 13849-1)
 - o Des serrures à clés prisonnières avec système de transfert de clé Shmersal à verrouillage électromécanique (EN ISO 13849-1) : tant que la porte d'accès au local d'irradiation est ouverte, sa clef reste prisonnière dans sa serrure.

La zone d'expérimentation située dans la casemate est accessible via les portes P04 et P05 qui sont dotées à l'identique des portes P02 et P03.

Les portes à double vantaux P02 et P04, le système de verrouillage est monté à cheval sur les deux vantaux.

Les clés sont centralisées sur un pupitre de clé à côté de l'automate de sécurité. Les sécurités des clés P01, P02 et P03 sont montés en série, de même pour P04 et P05.

→ Analyse par rapport au code de l'automate :

La fermeture des portes 1, 2 et 3 actives la Ronde Deuton Ok en mode Deuton, tandis que la fermeture des portes 4 et 5 actives la ronde Proton OK en mode Proton.

Nota : la porte P01 n'est pas équipée d'une serrure à clé prisonnière, ce qui n'est pas conforme à la norme NF M62-105. Toutefois, cette non-conformité est justifiée et compensée par des mesures spécifiques : l'ouverture très lente de la porte permet à la salle de contrôle de détecter toute tentative d'accès et d'alerter l'opérateur souhaitant entrer. Ce délai d'alerte est suffisant pour éviter toute exposition à l'ambiance radiologique de la salle d'irradiation.

	RAPPORT DE CONFORMITE RADIOPROTECTION - AGLAE						D&S INGÉNIERIE 573 Avenue de l'Hermitage 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE Tél 04 66 39 80 73 - Fax : 04 66 50 35 04 e-mail : contact@ds-groupe.fr							
	NT	INGB	26	OPPP	149	26/L1525	B	Page 16/21						
	Type Doc	N° Affaire				N° Ordre	Indice	FORMULAIRE <table><tr><td>FOR</td><td>ING</td><td>468</td><td>B</td></tr></table>				FOR	ING	468
FOR	ING	468	B											

3.4.3 La signalisation lumineuse relative aux accès.

Rappel des recommandations de la norme Erreur ! Source du renvoi introuvable.

A minima, les informations concernant les conditions d'accès à la casemate sont matérialisées par la signalisation lumineuse suivante :

- « Accès autorisé ».
- « Accès interdit ».

La signalisation lumineuse est visible et positionnée à l'extérieur de la casemate, au voisinage de chaque accès. Les signaux lumineux sont de qualité telle que les risques de détérioration sont réduits au minimum.

L'identification de toutes les autres signalisations doit par ailleurs être suffisamment claire, pour éviter tout risque de confusion.

Point d'analyse 1 de l'existant :

A l'entrée des différentes zones (entrées chicanes, zone d'expérimentation et zone haute énergie), des signalisations lumineuses de type trèfles et feu bicolore sont présents.

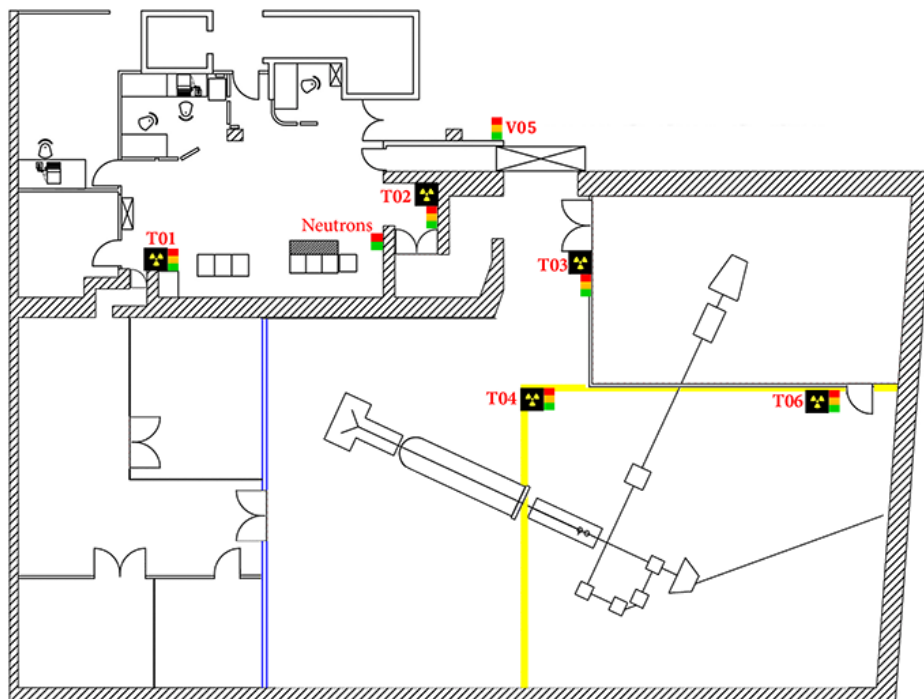


Figure 8 : implantation des signaux lumineux dans les salles 322 et 325

Les signalisations lumineuses se décomposent en deux séries de signaux :

- Les trèfles lumineux T01 à T04
- Les trèfles lumineux T06 et T07

Les trèfles lumineux ne sont pas asservis à une mesure de DED. Ils sont asservis à :

- L'état de la machine,

	RAPPORT DE CONFORMITE RADIOPROTECTION - AGLAE							D&S INGÉNIERIE 573 Avenue de l'Hermitage 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE Tél 04 66 39 80 73 - Fax : 04 66 50 35 04 e-mail : contact@ds-groupe.fr
	NT	INGB	26	OPPP	149	26/L1525	B	Page 17/21
	Type Doc	N° Affaire				N° Ordre	Indice	FORMULAIRE FOR ING 468 B

- Le type de particules utilisées,
- Le type de faisceau (extrait/non extrait).

➔ Analyse par rapport au code de l'automate :

Dans le programme l'utilisation des trèfles sont bien liés à l'état de la machine.

- Trèfle Bleu :
 - Pas de Clé prisonnière à vide signal.
 - Cage de faraday 1,2 et 3 ouverte.
 - DED Gamma est inférieur au seuil.
 - DED Gamma est supérieur au seuil avec arrêt d'urgence.
 - Présence ou perte de la haute tension.
 - Cage de faraday 1 fermé.
 - Ronde ok et mode Deuton.
- Trèfle Rouge :
 - Neutrons supérieurs au seuil.
 - Cage de faraday 1 et 2 ouverte.
 - Neutrons supérieur et cage de faraday fermée.
- Trèfle Jaune :
 - Cage de faraday 1 et 2 ouverte et haute tension.
 - DED Gamma inférieur ou supérieur au seuil.
 - Présence de la haute tension.

Point d'analyse 2 de l'existant :

Un feu bicolore est directement relié à la sonde neutron, permettant une mesure du débit d'équivalent de dose (DED) neutron.

Lorsque la valeur mesurée dépasse le seuil défini, le feu passe au rouge et une alarme sonore se déclenche, signalant la présence de neutrons dans la salle de l'accélérateur.

En mode alphas/protons, ce déclenchement entraîne un arrêt d'urgence de la machine, car il indique une situation anormale.

En mode deutons, en revanche, ce déclenchement peut être normal : il ne provoque ni arrêt d'urgence ni alarme sonore, mais entraîne la condamnation de l'ensemble de la salle 322.

Par ailleurs, des feux tricolores complétaient auparavant les « trèfles », avec un dispositif supplémentaire situé dans la zone commune à l'extérieur de P01.

Ils indiquaient l'état de la machine et la probabilité de présence de particules accélérées dans la salle. Leur fonctionnement était asservi à la position de la cage de Faraday basse énergie (FC1).

Ils ne sont désormais plus utilisés, afin de simplifier la signalisation et de réduire les risques de confusion.

➔ Analyse par rapport au code de l'automate :

Le voyant rouge s'allume, mais l'activation de la sirène ne se fait qu'en mode proton et l'arrêt d'urgence n'est pas mentionné dans cette ligne de programme. Cette action est écrite sur le listing à la page 218 ligne 0 et 1 de [3].

La présence d'une sirène ou autre équipement sonore ne figure nulle part dans les grafjets.

	RAPPORT DE CONFORMITE RADIOPROTECTION - AGLAE						D&S INGÉNIERIE 573 Avenue de l'Hermitage 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE Tél 04 66 39 80 73 - Fax : 04 66 50 35 04 e-mail : contact@ds-groupe.fr							
	NT	INGB	26	OPPP	149	26/L1525	B	Page 18/21						
	Type Doc	N° Affaire				N° Ordre	Indice	FORMULAIRE <table><tr><td>FOR</td><td>ING</td><td>468</td><td>B</td></tr></table>				FOR	ING	468
FOR	ING	468	B											

Il y a des lignes des codes qui spécifient les actions liées aux voyants comme mentionné dans les pages du listing 285, 290, 291, 293, 294, 300 etc. de [3].

- Verrine verte :
 - Fonctionnement en mode Proton ou Deuton et si le seuil neutron n'est pas atteint.
- Verrine rouge :
 - Fonctionnement en mode Proton ou Deuton et si le seuil neutron est atteint.

3.4.4 Le dispositif d'ouverture d'urgence des portes d'accès à l'intérieur de la casemate.

Rappel des recommandations de la norme Erreur ! Source du renvoi introuvable.

La casemate est conçue de telle sorte qu'une personne puisse en sortir par elle-même et rapidement en cas d'urgence (e.g., actionnement d'un bouton d'ouverture ou d'une barre antipanique).

Point d'analyse de l'existant :

Les portes P02, P03, P04 et P05 sont équipées à l'intérieur d'une barre antipanique et d'un bouton poussoir qui désactive pendant 5 secondes le verrouillage mécanique de la porte afin de permettre la sortie de personnes éventuellement restées à l'intérieur des locaux.

→ Analyse par rapport au code de l'automate :

Dans le programme automate, on parle de l'interrupteur d'ouverture d'urgence de l'intérieur qui désactive la porte pendant une certaine durée ou par la clé prisonnière, comme décrit sur les pages 198, 199, 531 et 532 de [3].

	RAPPORT DE CONFORMITE RADIOPROTECTION - AGLAE						D&S INGÉNIERIE 573 Avenue de l'Hermitage 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE Tél 04 66 39 80 73 - Fax : 04 66 50 35 04 e-mail : contact@ds-groupe.fr				
	NT	INGB	26	OPPP	149	26/L1525	B	Page 19/21			
	Type Doc	N° Affaire				N° Ordre	Indice	FORMULAIRE FOR ING 468 B			

3.4.5 L'arrêt d'urgence.

Rappel des recommandations de la norme Erreur ! Source du renvoi introuvable.

Au moins un arrêt d'urgence est présent à l'intérieur de la casemate. Il provoque à minima l'arrêt de la Production des rayonnements ionisants, la réinitialisation du système de sécurité et maintient l'ordre d'arrêt jusqu'à son réarmement manuel.

Ce dispositif d'arrêt d'urgence, visible en tout point de la casemate, est positionné dans un endroit accessible en permanence et signalé. Il est facilement identifiable par rapport aux autres arrêts d'urgence présents dans l'installation.

Un arrêt d'urgence est également présent à proximité du ou des systèmes de commande ou de pilotage.

Point d'analyse de l'existant :

Des arrêts d'urgence sont disposés tout autour de la salle AGLAE. Ils provoquent l'arrêt de la machine et la fermeture des cages de Faraday CF1, CF2, CF3 ainsi que de la vanne micro faisceau, assurant qu'il n'y a plus de faisceau dans la machine.

Il s'agit des cas suivants :

- Un arrêt d'urgence machine jaune présent sur le poste de commande qui permet d'éteindre la haute tension et de mettre en sécurité les différents éléments de ligne.
- Un arrêt d'urgence pompier situé à l'entrée de la salle 322.
- Un arrêt d'urgence électrique situé sur l'armoire électrique dédiée.
- Des arrêts d'urgence radioprotection (x4) disposés en salle de commande, et tout autour de la salle de l'accélérateur qui lors des tirs permettent, en cas de danger, de couper toutes les cages de Faraday en coupant leur alimentation

Note : lorsque la ronde n'est pas faite, l'arrêt n'a pas d'effet.

→ Analyse par rapport au code de l'automate :

L'activation de l'un des arrêts d'urgence fait rentrer le process en mode défaillance qui met l'automate en mode sûr le temps de lever cet état et reprendre le process.

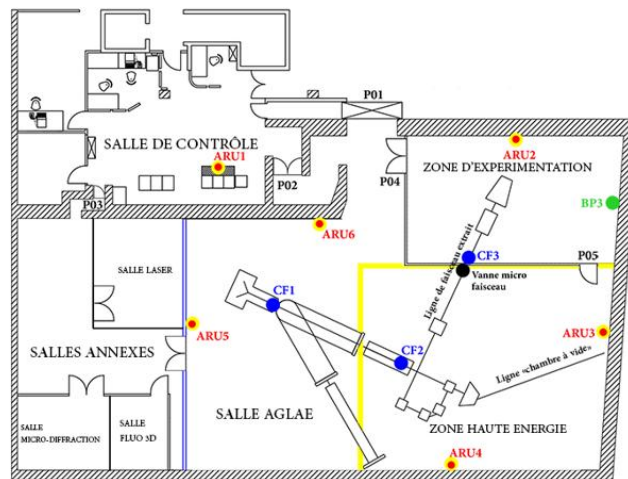


Figure 9 : implantation des boutons d'arrêt d'urgence

	RAPPORT DE CONFORMITE RADIOPROTECTION - AGLAE						D&S INGÉNIERIE 573 Avenue de l'Hermitage 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE Tél 04 66 39 80 73 - Fax : 04 66 50 35 04 e-mail : contact@ds-groupe.fr							
	NT	INGB	26	OPPP	149	26/L1525	B	Page 20/21						
	Type Doc	N° Affaire				N° Ordre	Indice	FORMULAIRE <table><tr><td>FOR</td><td>ING</td><td>468</td><td>B</td></tr></table>				FOR	ING	468
FOR	ING	468	B											

4. CONCLUSION SUR LA CONFORMITE DE L'INSTALLATION EXISTANTE

L'analyse objet de la note ne relève pas de non-conformité majeure à la norme **Erreur ! Source du r envoi introuvable.** sur la base de la visite réalisée et des données exploitées référencées au §1.2 à date de rédaction du document.

Néanmoins, des remarques suivantes sont émises telles que :

- **Remarque 1 :**

La réalisation des logiques des fonctions de sécurité de l'automate existant à date doit inclure :

- La formation adéquate de la personne en charge de la réalisation.
- La vérification des spécifications techniques par une tierce personne.
- La formalisation des procédures de test (rédaction d'un plan de test, définition de la couverture du test etc.).
- La vérification que les fonctions de sécurité sont effectivement assurées.
- La traçabilité des modifications, réalisation d'une analyse d'impact et validation.
- Une documentation complète, claire et mise à jour.

Ces éléments ne sont pas clairement formalisés dans le cadre de l'automate existant de 2026 bien qu'il existe un PV de réception de 2017 [7] attestant de la vérification des fonctions de sûreté en 2017.

- **Remarque 2 :**

L'automate doit être mis à jour afin de retirer les actions/variables non utilisées :

- les seuils gamma qui ne sont plus utilisés,
- la signalisation lumineuse via des feux tricolores qui n'est plus requis,
- La cage de Faraday n° 4.

Aussi le fonctionnement « chambre à vide » n'a pas été retrouvé dans le code de l'automate et dans le grafctet bien que des variables « clé prisonnière chambre à vide pupitre », « signal 1 », et « signal 2 » soient retrouvées.

- **Remarque n°3 :**

L'analyse réalisée est purement documentaire. Elle devrait s'accompagner de la mise en œuvre d'un programme de tests de fonctionnement, ce qui n'a pas été réalisé dans le cadre de cette note.

- **Remarque n°4 :**

L'analyse fonctionnelle et le grafctet doivent être mis à jour à la vue de la version de janvier 2026 du code.

- **Remarque n°5 :**

La temporisation de la ronde en mode deuton est à 150 secondes et non à 3 mn dans le code.

- **Remarque n°6 :**

La variable « sortie arrêt d'urgence » est retrouvée dans le programme mais elle n'a pas été retrouvée dans la liste des variables et sa nature n'est pas connue.

	RAPPORT DE CONFORMITE RADIOPROTECTION - AGLAE						D&S INGÉNIERIE 573 Avenue de l'Hermitage 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE Tél 04 66 39 80 73 - Fax : 04 66 50 35 04 e-mail : contact@ds-groupe.fr							
	NT	INGB	26	OPPP	149	26/L1525	B	Page 21/21						
	Type Doc	N° Affaire				N° Ordre	Indice	FORMULAIRE <table><tr><td>FOR</td><td>ING</td><td>468</td><td>B</td></tr></table>				FOR	ING	468
FOR	ING	468	B											

La liste des variables internes à l'automate n'a pas pu être transmise. De ce fait la variable en question n'a pas pu être identifiée.

- **Remarque n°7**

Le programme est insuffisamment structuré sur les listing transmis. Il mélange plusieurs niveaux d'intervention : partie action, sécurité, transition, étape et images (activation de commande interne). Les lignes du programme sont insuffisamment commentées ce qui complique sa lecture ou sa compréhension.

Le programme gagnerait à être clarifié et mieux structuré.