



CAHIER DES CHARGES

CEA/DIF/DASE/SRCE
DO 111

16/04/26



26RRBC000155

Diffusé le 23/04/26

**[NP] Cahier des charges pour la conception et réalisation d'un banc de transfert
et de mesure automatique des archives xénon du réseau OTICE**


Fabrice LEPRIEUR

Chef du Service

Radioanalyses, Chimie et Environnement

Nombre total de pages : 105

CEA

Centre CEA DAM Île-de-France - Bruyères-le-Châtel | 91297 Arpajon Cedex
T. +33 (0)1 69 26 46 50 | F. +33 (0)1 69 26 70 65
Établissement public à caractère industriel et commercial | RCS Paris B 775 685 019

Direction des applications militaires
Département Analyse, Surveillance, Environnement
Service Radioanalyses, Chimie et Environnement

FICHE DOCUMENTAIRE DAM

Identification du document				
Origine (affiliation) : CEA/DIF/DASE/SRCE			Type de document : CAHIER DES CHARGES	
Classif. : DO	Sous-classif. : N/A	N° réf. : 111	Date : 16/04/2026	CB GCAO (affixe) : 26RRBC000155
Référence projet (23 caractères) : _____				
Référence enregistrement : DO 111				
Auteur(s) : Gabriel COUCHAUX				
Objet : [NP] Cahier des charges pour la conception et réalisation d'un banc de transfert et de mesure automatique des archives xénon du réseau OTICE				
Résumé : Ce document constitue le cahier des charges pour l'acquisition d'un banc de transfert et de mesure automatique. Il s'agit d'un outil d'analyse qui répond à des exigences métrologiques utilisé dans le cadre des activités de notre laboratoire liées à l'OTICE. Il a vocation à poursuivre l'exploitation d'un système actuel qui n'est pas automatique. Dans ce document, il est d'abord question de présenter l'ensemble des prestations à réaliser. Il s'agit notamment de faire concevoir, réaliser, livrer et mettre en service le banc automatique. Ensuite, les conditions d'exécution sont présentées en indiquant notamment les livrables à fournir. Après cela, le suivi des prestations indique entre autre comment la prestation sera suivie. Enfin, la définition du banc automatique détaille l'ensemble des exigences.				
Mots clés : Cahier des charges ; Conception ; Réalisation ; Banc automatique ; Transfert ; Mesure ; OTICE ; FRL08 ; Adsorption ; Spectrométrie de masse ; Gaz rare ; Xénon.				
Transmission des connaissances				
Nom du projet : Réseau National de Détection	Intérêt mémoire projet : N/A	Arborescence / classement mémoire projet : N/A		
Gestion du document				
Unité responsable de l'archivage DAM : CEA/DIF/DASE/SRCE		Exemplaire à conserver : Chrono CEA/DIF/DASE/SRCE		
Rubrique du plan de classement (à remplir par le <u>destinataire</u> en cas de document papier) :				
Durée de conservation dans l'unité : N/A		Sort à l'issue de ce délai (une seule case à cocher) : ☐ Transfert au BCA ☐ Élimination		

TABLEAU DES EVOLUTIONS		
Version	Motif et nature des évolutions	Date
A	Création.	08/09/2025 (version A)
B	Modification des critères G7 (page 26) et API M4 (page 57) suite aux questions des fournisseurs lors de la phase d'appel d'offres.	24/10/2025 (version B)
C	Modification des critères suivants : - Retrait de la prestation 4 (garanties) ; - § 7.2, indication du modèle du PC ; - Critère F10, précision du besoin d'un emplacement pour la pompe à vide ; - Critère G5 : passage du critère de primordial à important ; - Critère G7 : précision du caractère pilotable, normalement fermées et à double sens de de circulation des vannes ; - Critère G10 : suppression de ce critère ; - Partie 1 : modification du volume mort et autres critères mineurs ; - Partie 2 : retrait de la partie réservataire, modification du volume mort ; - Partie 3 : modification du volume mort et critère important pour la création d'un volume mort pour la mesure de l'échantillon de la cellule (critère P3_6) ; - Partie 4 : le volume mort et les tolérances ont été modifiées ; - Partie 5 : précisions sur les caractéristiques de la colonne, modification du volume mort et de la tolérance du volume de détente ; - Partie 7 : modification du volume mort ; - Retrait des critères concernant la partie 10 (pupitre de commande) ; - Partie contrôle commande : retrait du pilotage en mode dégradé et de la programmation des séquences ; - Ajout du critère API M5 ; - Ajout des critères API G1 et API G2 ; - Modification de API V1 3 ; - Ajout des critères R1 et S1 ; - Suppression des critères S1 à S10 ; - Retrait des recettes de transfert de la cellule vers l'archive et de la R&D ; - Modification des destinataires.	16/04/2026 (version C)

ELABORATION DU DOCUMENT	
Rédacteur(s)	Gabriel COUCHAUX (ingénieur chercheur, DASE/SRCE/LRBN)
Vérificateur(s) technique(s)	Valérie LOURENÇO (cheffe de laboratoire, DASE/SRCE/LRBN)
Vérificateur qualité	Sans objet

SOMMAIRE

1. CONTEXTE	5
2. OBJECTIF DE LA PRESTATION	7
3. GLOSSAIRE.....	8
3.1. Acronymes.....	8
3.2. Principes généraux.....	8
3.3. Définitions	9
4. DESCRIPTION DES PRESTATIONS DEMANDEES.....	11
4.1. Prestation 1 : conception détaillée du banc automatique.....	11
4.2. Prestation 2 : (option) fourniture du banc automatique	11
4.2.1 Approvisionnement.....	11
4.2.2 Réalisation	11
4.2.3 Livraison.....	12
4.3. Prestation 3 : (option) mise en service du banc automatique	12
4.3.1 Mise au point et installation sur site CEA/DIF	12
4.3.2 Formation à l'utilisation du banc	12
5. CONDITIONS D'EXECUTIONS	13
5.1. Planning prévisionnel.....	13
5.2. Livrables	13
5.3. Obligations du titulaire	14
5.4. Modalités d'accès au centre CEA/DIF	14
5.5. Cyber sécurité.....	14
6. SUIVI DES PRESTATIONS ET REUNIONS TECHNIQUES.....	15
6.1. Interlocuteurs	15
6.2. Suivi de la prestation par le CEA	15
6.2.1 Réunion de lancement	15
6.2.2 Réunions techniques de suivi de conception	15
6.2.3 Revue de projet.....	16
6.2.4 Recette usine	16
6.2.5 Recette sur site	17
7. DEFINITION DU BANC AUTOMATIQUE	18
7.1. Description générale.....	18
7.2. Limites de fourniture	20
7.3. Fonctionnalités générales du banc automatique.....	24
7.4. Sous-système « procédé »	26
7.4.1 Partie 1 – Raccordement des archives	27
7.4.2 Partie 2 – Mesure de la pression	29
7.4.3 Partie 3 – Echantillonnage.....	31
7.4.4 Partie 4 – Volumétrie	33
7.4.5 Partie 5 – Adsorption	37
7.4.6 Partie 6 – Gaz vecteurs et contrôle qualité	41
7.4.7 Partie 7 – Gaz étalons	44
7.4.8 Partie 8 – Vide.....	46
7.4.9 Partie 9 – Mesure des conditions ambiantes	48
7.4.10 Aperçu général du sous-système procédé.....	50
7.5. Sous-système « contrôle commande ».....	51
7.5.1 Généralités.....	51
7.5.2 Définitions générales liées au contrôle commande	51
7.5.3 Automate Programmable Industriel (API)	52
7.5.4 Supervision	53
7.5.5 Recettes du banc	64
7.5.6 Séquences du banc automatique	73
7.5.7 Entrée/Sortie	101
7.5.1 Gestion des dysfonctionnements.....	101
7.5.2 Calculs	101
8. LISTE DE DIFFUSION	105

1. CONTEXTE

L'ouverture à la signature du Traité d'Interdiction Complète des Essais nucléaires (TICE) en 1996 a déclenché la mise en place du Système de Surveillance International (SSI) qui vise à détecter, identifier et localiser toute explosion nucléaire d'énergie supérieure à 1 kt équivalent TNT se produisant dans l'atmosphère, dans les océans ou sous terre. Le SSI est constitué de 321 stations réparties sur le globe et faisant appel à quatre technologies de détection (sismique, hydroacoustique, infrasons et radionucléides) ainsi que 16 laboratoires radionucléides. En particulier, le SSI comprend 80 sites radionucléides qui sont en cours d'équipement avec la technologie aérosols et dont 40 sont en cours d'équipement avec la technologie gaz rare (Figure 1 - gauche).

Concernant l'installation du Système de Surveillance International, la France a confié, en tant qu'agent technique, au Département analyse, surveillance, environnement (DASE) de la Direction des applications militaires (DAM) du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) l'installation, l'exploitation et le maintien en condition opérationnelle de seize stations et d'un laboratoire radionucléides sur le territoire français ainsi que d'une dizaine de stations à l'étranger, dans le cadre d'accords de coopération avec les pays concernés.

Pour répondre à sa mission de détection des essais nucléaires, le DASE a conçu et développé des stations de surveillance des radionucléides émis dans l'atmosphère sous forme d'aérosols ou de gaz, dites respectivement station radionucléides aérosols et station radionucléides gaz. Les stations gaz nommées SPALAX™ et SPALAX-NG (Figure 1 - droite) a fait l'objet d'un brevet CEA. Des systèmes « concurrents » ont également été développés par les Suédois (système SAUNA), les Russes (système ARIX) et les Etats-Unis (système Xenon International).



Figure 1. À gauche, réseau radionucléides du Système de Surveillance International de l'OTICE. À droite, station SPALAX-NG. Le module au centre de la photo permet la détection de radioactivité. Les caissons de gauche permettent le traitement de l'air pour purifier le xénon. Les caissons de droite hébergent les compresseurs d'air, l'armoire électrique et le système informatique.

A l'issue de leur production et analyse par ces stations, les échantillons sont stockés temporairement dans des volumes tampons en inox de quelques centaines de millilitres appelés archives. Cet archivage doit permettre la réanalyse ultérieure des échantillons sur demande par des laboratoires certifiés par l'Organisation du TICE (OTICE). Le réseau défini au Traité inclut 16 laboratoires de 16 pays différents. Le laboratoire français, code FRL08, fait partie de ces laboratoires. Il est l'un des 6 laboratoires parmi les 16 à être certifiés pour la mesure des échantillons gazeux.

Cette analyse consiste dans un premier temps à récupérer tout le gaz de l'archive puis à en retirer sélectivement la matrice (He ou N₂ suivant les stations) puis à remplir une cellule de mesure qui devra contenir le maximum de Xe. Cette opération est qualifiée d'opération de transfert. Une fois la cellule complétée du maximum d'échantillon, une mesure nucléaire par spectrométrie gamma ou en coïncidence beta/gamma pour déterminer l'activité des radionucléides d'intérêt (^{131m}Xe, ¹³³Xe, ^{133m}Xe, ¹³⁵Xe) est réalisée. Il convient également de mesurer la teneur en Xe stable présent dans l'échantillon pour d'une part connaître le rendement de transfert mais également déterminer l'activité volumique.

Dans ce document il n'est question que des opérations de transfert et de mesure du Xe stable de l'échantillon.

De manière générale, cette analyse est soumise aux exigences de l'OTICE, qui peuvent être considérées comme équivalentes à celles de la norme ISO 17025 ; en plus des exigences « qualité » de notre structure. A titre d'information l'OTICE exige qu'au moins 50 % du Xe présent dans l'archive soit récupéré dans la cellule de mesure.

Deux approches sont adaptées pour réaliser le transfert efficacement : soit la cryo-condensation, soit l'adsorption. Notre laboratoire utilise actuellement une méthode certifiée depuis 2017 qui est basée sur la cryo-condensation. Cette méthode est complétée par une mesure par chromatographie en phase gazeuse. Cette méthode, bien que relativement performante est semi automatisée, et est relativement fastidieuse. Pour cette raison nous souhaitons faire concevoir et réaliser un banc automatique capable de transférer efficacement les gaz des échantillons et de permettre d'en mesurer la teneur en Xe stable par spectrométrie de masse d'où l'objet de ce marché et de ce cahier des charges.

Fort de notre expérience dans le domaine du développement de stations de type gaz noble, le CEA mène depuis début 2025, des essais pour définir la recette permettant de réaliser le transfert décrit précédemment basé sur une approche par adsorption. **Grâce à ces essais, nous avons défini une méthode pour réaliser le transfert et permettre la mesure du Xe stable qui nous semble totalement automatisable. Il est désormais question de faire concevoir, réaliser et mettre en service un banc de transfert et de mesure du Xe stable qui puisse prendre la relève de la méthode actuelle.**

Note : dans la suite du document, le banc de transfert et de mesure du Xe stable qui fait l'objet de ce document sera nommé « banc automatique » pour des raisons évidentes de clarté.

Le banc automatique est un **outil de mesure qui doit être réalisé pour de la production de données avec une métrologie maîtrisée**. Compte-tenu du caractère particulier et du développement « de niche » de cette technologie, **le CEA assumera les risques liés à la méthode de transfert et de mesure** et il ne sera pas demandé au Titulaire de réaliser des essais de recherche et de développement à ce sujet. En revanche **le CEA attend du Titulaire, et y sera très attentif, le strict respect des critères techniques du présent document qui garantissent le fonctionnement optimal du banc automatique** selon la méthode développée par le CEA.

2. OBJECTIF DE LA PRESTATION

L'objet de ce cahier des charges est de présenter :

- les éléments techniques spécifiques à la compréhension du fonctionnement du banc automatique (§ 3),
- les prestations à réaliser par le Titulaire à travers les différents phases (§ 4),
- les conditions d'exécution de celles-ci (§ 5),
- les aspects relevant du suivi de la prestation (§ 6),
- et finalement les exigences fonctionnelles et techniques que doit satisfaire le banc automatique (§ 7).

3. GLOSSAIRE

3.1. Acronymes

Aliquote	Volume d'une dizaine de centimètres cubes permettant de prélever une partie de l'échantillon contenu dans l'archive afin d'analyser sa composition (en xénon stable) par chromatographie gazeuse.
API	Automate Programmable Industriel
BDD	Base De Données
bara	Bar absolu
CEA	Commissariat à l'Energie Atomique et aux énergies alternatives
Centre CEA/DIF	Centre CEA de Bruyères-le-Châtel (91)
DAM	Direction des Applications Militaires
DASE	Département Analyse, Surveillance, Environnement
GRAFCET	Graphe Fonctionnel de Commande des Étapes et Transitions. C'est un mode de représentation et d'analyse d'un automatisme (cf. EN 60848)
QC	Quality Control (Contrôle Qualité)
mbara	Millibar absolu
NL.h ⁻¹	NormoLitres par heure (Litres normalisée dans les conditions standard de température et de pression)
PAV	Pompe A Vide
P&ID	Piping and Instrumentation Diagram - Schéma tuyauterie et instrumentation
PID	Proportionnelle Intégrale Différentielle
ppbm	Part Per Billons Molar (Partie par milliard molaire)
R&D	Recherche et Développement
SPALAX	Système de Prélèvement Automatique en Ligne avec l'Analyse des radioXémons
SPALAX NG	SPALAX Nouvelle Génération
SRID	Sample Reference IDentification
SSI	Système de Surveillance International
TICE	Traité d'Interdiction Complète des Essais nucléaires
TSA	Temperature Swing Adsorption – Adsorption par inversion de température

3.2. Principes généraux

Adsorption : processus au cours duquel des atomes ou des molécules, définis comme étant des adsorbats, sont retenus à la surface d'un matériau, défini comme un adsorbant. On parle d'adsorption lorsque l'adsorbat est fixé à l'adsorbant par des interactions physiques ou chimiques. Elle diffère de l'absorption qui caractérise une réaction au cours de laquelle les atomes ou molécules réagissent chimiquement avec la surface et sont intégrés dans le volume du matériau qui interagit. Le principe d'adsorption est illustré à la Figure 2.

Dans notre cas, l'adsorption concerne en particulier l'interaction du le Xe sous forme gazeuse (adsorbat) avec une zéolithe dopée avec des nanoparticules métalliques (adsorbant).

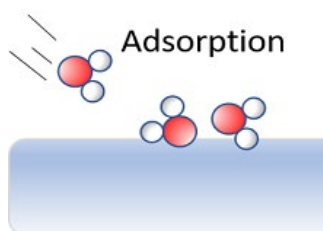


Figure 2. Illustration du phénomène d'adsorption.

Adsorbant : on considère comme adsorbant un matériau qui a la capacité de retenir à sa surface (d'adsorber) une quantité significative d'un adsorbat d'intérêt.

Désorption : la désorption est le processus inverse de celui de l'adsorption. Au cours de celui-ci, pour différentes raisons, il y a une rupture de l'énergie qui lie l'adsorbat à l'adsorbant. L'adsorbat est alors « décollé » de la surface de l'adsorbant. Le principe de désorption est illustré sur la Figure 3. De manière générale la diminution de la pression d'un système ou l'augmentation de la température conduisent à un phénomène de désorption.

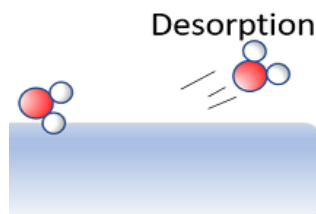


Figure 3. Illustration du phénomène de désorption.

Dans notre cas, nous réalisons en général la désorption par l'augmentation de la température d'un adsorbant inséré dans une colonne.

Détente : dans le cas du traitement des gaz aussi appelé détente gazeuse, action qui consiste à ouvrir un système fermé sous pression dans autre système fermé ayant une pression initiale plus faible. La pression du premier système va progressivement (mais rapidement, de l'ordre de quelques secondes voir moins) diminuer jusqu'à s'équilibrer avec le second système.

3.3. Définitions

Réacteur/colonne : élément en métal avec ou sans traitement de surface, généralement de forme cylindrique dans lequel se trouve l'adsorbant et où se déroulent les processus d'adsorption et de désorption. Un exemple de colonne est indiqué à la Figure 4.

Longueur efficace : indique la longueur qu'occupe l'adsorbant dans une colonne.

Radionucléide : atome qui présente des propriétés radioactives

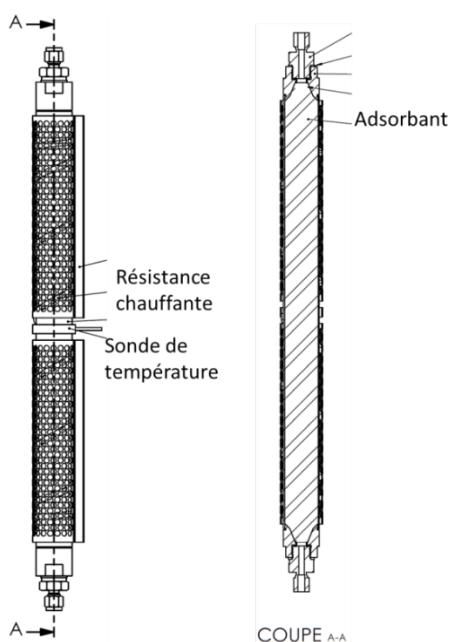


Figure 4. Schéma représentant une colonne d'adsorbant.

Rendement : dans notre cas le rendement est défini par le rapport entre la quantité de Xe stable mesurée dans la cellule (à la fin du transfert) par rapport à celle mesurée dans l'archive.

Température ambiante : température dans le local où sera installé le pilote. Cette température est comprise entre 18 et 23 °C.

Zéolithe : matériau présentant une structure cristalline constituée généralement de silice-alumine et utilisée ici comme adsorbant.

Volume mort : volume résiduel généralement situé dans notre cas au niveau des connexions (tuyau) et des volumes de courses pour les vannes ; ce volume mort diminue le rendement de transfert.

4. DESCRIPTION DES PRESTATIONS DEMANDEES

Les prestations relatives au présent cahier des charges sont constituées des éléments indiqués ci-après. Les indications concernant le planning prévisionnel de réalisation est donné au § 5.1. Les livrables attendus lors de cette prestation sont résumés dans le § 5.2.

Prestation 1 : conception détaillée du banc automatique,

Prestation 2 : (option) fourniture du banc automatique,

Prestation 3 : (option) mise en service du banc automatique.

4.1. Prestation 1 : conception détaillée du banc automatique

Le Titulaire réalise la conception détaillée du banc automatique (§ 7). Pour cela, il s'appuie sur le présent cahier des charges, ses connaissances et savoir-faire, et les réunions techniques (§ 6.2.2) qu'il pilote.

A l'issue de la prestation 1, le Titulaire livre un dossier de conception détaillé comprenant *a minima* les documents suivants (liste non exhaustive à compléter) qui devront être validés par le CEA :

- un dossier de définition (P&ID, plans de conception, plan 3D de conception, plans électriques de conception, les diagrammes d'automatisme, les vues de la supervision, ...),
- un dossier de justification de la définition (comptes rendus de réunion acceptés par le CEA, document de synthèse des exigences et justification de leurs atteintes, rapports intégrant les éléments de réflexions ou études, ...
- le cahier de recette usine vierge,
- le cahier de recette sur site vierge.

Ce dossier est présenté lors d'une revue de projet (décrite au § 6.2.3).

4.2. Prestation 2 : (option) fourniture du banc automatique

A l'issue de la prestation 1, dans le cas d'une levée d'option de ce poste, le Titulaire approvisionne les éléments, réalise le banc selon les éléments définis précédemment en cohérence avec le présent cahier des charges et le livre au centre CEA/DIF.

4.2.1 Approvisionnement

A l'issue de la levée d'option, le Titulaire approvisionne les éléments nécessaires à la réalisation du banc tels que convenus à l'issue de la conception. Il s'assure de la conformité des éléments reçus et traite le cas échéant les non-conformités avec son fournisseur, en informant le CEA si cela est de nature à impacter le calendrier ou les aspects contractuels du marché.

4.2.2 Réalisation

Le Titulaire réalise à partir du matériel identifié, commandé et réceptionné le banc automatique et met au point ce dernier conformément aux dossiers de conception détaillés acceptés par le CEA (*cf* prestation 1) et aux critères du présent cahier des charges (§ 7). Le cas échéant, il demande au CEA de lui fournir les consommables prévus (*cf* § 7.2) pour réaliser les essais de mise au point une fois que l'assemblage aura suffisamment progressé. Il s'assure de la concordance entre la réalisation du banc automatique et les dossiers de conception détaillés et le cas échéant met à jour les documents qui doivent l'être pour répondre aux impondérables.

La recette usine a pour but de s'assurer que la réalisation est conforme au présent cahier des charges pour l'ensemble des éléments qui sont disponibles au Titulaire (le spectromètre de masse n'en fait pas partie). A l'issue de cette phase, le Titulaire fournit au CEA le cahier de recette usine dument complété et accepté sans réserve par le CEA. Pour cela il est nécessaire d'opérer les différentes recettes du banc automatique et de s'assurer que chaque fonctionnalité est bien respectée.

4.2.3 Livraison

Le Titulaire assure la livraison du banc sur le site CEA/DIF Île-de-France à Bruyères-le-Châtel (91) (centre CEA/DIF) en prenant toutes les précautions pour que le banc ne soit pas endommagé pendant les différentes étapes du transport. Le Titulaire fournit un bon de livraison indiquant le contenu du colis faisant l'objet du transport. Cette action sera considérée comme soldée lorsque l'ensemble du matériel aura été livré au CEA.

4.3. Prestation 3 : (option) mise en service du banc automatique

A l'issue de la prestation 2, dans le cas d'une levée d'option pour ce poste, le Titulaire assure l'installation et la mise en service du système sur le site CEA/DIF.

Note : le CEA attire l'attention du Titulaire sur le fait que le spectromètre de masse servant aux mesures de Xe stable est localisé au CEA ainsi que l'ordinateur qui servira au contrôle commande du banc automatique. Cet ordinateur est d'ailleurs celui utilisé pour le contrôle du spectromètre de masse. Pour ces raisons une partie de la réalisation sera terminée lors de la « prestation 3 » puisque le matériel ne pourra pas sortir du centre. Il appartient au Titulaire de prendre les dispositions nécessaires (cf 7.2) pour que l'ensemble des fonctionnalités soient opérationnelles et des critères respectés au plus tard lors de la recette sur site.

4.3.1 Mise au point et installation sur site CEA/DIF

Pour la raison évoquée précédemment (§ 4.3), le Titulaire, termine la réalisation du banc automatique. Il réalise tout ce qu'il n'était pas possible de terminer du fait de l'absence du spectromètre de masse et de l'ordinateur utilisé pour le contrôle commande conformément au dossier de conception détaillé acceptés par le CEA (cf prestation 1) et aux critères du présent cahier des charges (§ 7).

Le Titulaire réalise tous les réglages, étalonnages, paramétrages nécessaires au fonctionnement du système.

La connexion aux fluides (électricité, air comprimé, gaz vecteurs, gaz étalons, ...) est à la charge du CEA. Le Titulaire s'assure que le banc automatique répond en tous points aux critères du cahier des charges et que son fonctionnement est conforme aux critères de ce document. Pour cela, à l'issue de la mise en service, le Titulaire remplit le cahier de recette sur site. Cette action est considérée comme réalisée lorsque ce cahier de recette sur site est dûment complété et validé sans réserve par le CEA.

4.3.2 Formation à l'utilisation du banc

Le Titulaire forme le personnel CEA et prestataire(s) du CEA (5 personnes maximum) à l'utilisation du banc à l'occasion d'une unique session de formation. Cette formation devra durer une journée complète au minimum et concerne tous les aspects du banc (sécurité, utilisation de l'automate, changement de configuration, changement de matériel, opérations de maintenance, ...).

Le Titulaire présente également lors de cette session de formation les principaux risques engendrés par l'utilisation de l'équipement et montre les moyens mis en œuvre pour s'en prémunir et il rappelle les bonnes pratiques de travail pour les éléments présentant des particularités.

Cette formation aura lieu à la date fixée par le CEA (avec un préavis de 10 jours ouvrés), entre la recette sur site du système et la date de fin du marché.

En plus de la formation en tant que telle, cette action est réputée close lorsque le Titulaire fournit au CEA un livret de formation, un manuel utilisateur et un guide d'entretien.

5. CONDITIONS D'EXECUTIONS

5.1. Planning prévisionnel

Chaque soumissionnaire doit fournir un planning prévisionnel détaillé. Ce dernier, qui peut par exemple se présenter sous forme de diagramme de Gantt, précise dans la mesure du possible les différentes phases de chaque prestation en indiquant le cas échéant les périodes de contribution de chaque intervenant. Ce planning, de manière générale, doit contenir le maximum d'informations utiles pour permettre au CEA de s'assurer du respect de son exécution. Dans tous les cas, ce planning ne doit pas excéder 1 an à compter de la réunion de lancement jusqu'à la recette sur site.

5.2. Livrables

Le Titulaire devra fournir les livrables (non exhaustifs) définis dans le tableau ci-après.

Prestations	Phases	Livrables
1	Conception	Dossier de conception détaillé contenant : - Un dossier de définition comprenant les éléments de définition (P&ID, plans prévisionnels, plan 3D prévisionnels, nomenclature matériel, plans électriques prévisionnels, nomenclature automate, bilan électrique, matrice de sécurité, logigrammes des recettes, liste des recettes, définition des recettes, liste des entrées/sorties, vues de la supervision, ...) - Un dossier de justification de la définition comprenant les éléments de justification de la définition (compte-rendu de réunions de conception, calcul de volume mort, rapport de justification de programmation, ...) - Un cahier de recette usine vierge - Un cahier de recette sur site vierge
2 (option)	Approvisionnement	Constats de la constitution des approvisionnements.
	Réalisation	Dossier de réalisation contenant Plans, plan 3D, P&ID, nomenclature, plan électriques, structure automate, matrice de sécurité, logigrammes des recettes, conformité électrique, attestation d'étanchéité (mise à jour si nécessaire) Cahier de recette usine complété et validé
	Livraison	Bon de livraison
3 (option)	Mise au point et installation	Cahier de recette sur site complété et validé Fichiers informatiques (Licences des logiciels commerciaux, codes sources, protocole d'installation, ...) Dossier de réalisation mis à jour si nécessaire
	Formation	Livret de formation Manuel utilisateur Guide d'entretien

5.3. Obligations du titulaire

Le Titulaire s'engage à tenir le CEA informé de l'état d'avancement de la prestation ainsi que, s'il y a lieu, de tous les problèmes et difficultés rencontrés dans le cadre de l'exécution de la prestation et de leurs incidences sur les délais, afin que le CEA puisse prendre les mesures qui s'imposent.

Obligation de résultat

La prestation, dont le Titulaire assure la direction et assume l'entière responsabilité, sera en tout point conforme aux exigences du cahier des charges, et est assortie d'une obligation de résultat. Il appartient au Titulaire de prendre toutes les dispositions qu'il jugera nécessaires et de demander au CEA toutes les informations requises pour satisfaire à l'obligation de résultat.

Obligation de conseil

Le Titulaire reconnaît être tenu à une obligation générale de conseil et de mise en garde du CEA. Le Titulaire est expressément tenu, au fur et à mesure de l'exécution des prestations qui lui sont dévolues au titre du marché, au devoir de conseil et d'information le plus étendu, lequel consiste notamment à informer complètement le CEA sur les conséquences des différentes décisions qu'il peut être amené à lui faire prendre, à attirer son attention lorsqu'il décèle des risques de quelque nature que ce soit dans la conduite des études, à lui suggérer les démarches ou solutions utiles au parfait et complet accomplissement de sa mission et plus généralement à protéger au mieux les intérêts du CEA.

5.4. Modalités d'accès au centre CEA/DIF

Le Titulaire doit prendre en compte, dans son organisation et la planification de ses prestations et dans le cadre des réunions, les contraintes spécifiques au site CEA/DIF précisées dans le règlement intérieur, notamment :

- l'entrée en véhicule personnel n'est pas autorisée sur le Centre, l'entrée en véhicule professionnel est soumise à autorisation,
- les délais minimum pour demander un accès sur le site sont de 5 jours ouvrés lors de la première visite (pour chaque individu) puis de 2 jours ouvrés.

Les moyens personnels électroniques et téléphoniques connectés (téléphone, ordinateur, montre, smartphone, tablette....) et les moyens personnels de stockage de données (clés et disques de stockage,) sont strictement interdits.

L'accès avec téléphones mobiles ou ordinateurs portables professionnels peut être autorisé. La demande doit toutefois être motivée et l'acceptation de celle-ci n'est pas garantie. En cas d'autorisation :

- les téléphones doivent être placés dans les casiers disponibles à l'entrée des locaux mis à disposition ou des locaux concernés par les prestations,
- les ordinateurs portables du Titulaire ne devront en aucun cas être connectés aux réseaux du CEA et ils devront avoir été ajoutés à la demande d'accès de chaque individu.

5.5. Cyber sécurité

Tous les fichiers informatiques transmis au CEA devront être certifiés sans virus informatique. Ils devront impérativement être contrôlés avant transmission, avec un logiciel anti-virus tenu à jour. Une attestation d'innocuité virale sera demandée en cas d'envoi de logiciel à installer sur un matériel informatique du CEA. Elle devra lister l'outil d'analyse et les dates de ces dernières mises à jour et être signée par l'Officier de Sécurité des Systèmes d'Information.

6. SUIVI DES PRESTATIONS ET REUNIONS TECHNIQUES

6.1. Interlocuteurs

Le Titulaire s'engage à désigner un responsable du marché qui est l'interlocuteur privilégié du CEA. Il assure le suivi contractuel entre le CEA et les intervenants du Titulaire. Il rend compte périodiquement au CEA de la réalisation des tâches effectuées dans le but d'assurer un suivi précis et une optimisation permanente des prestations. Il pilote les réunions avec le CEA.

Le Titulaire désignera dans sa réponse un interlocuteur technique.

Au cas où l'un des interlocuteurs techniques dûment désignés par le Titulaire serait remplacé, ce dernier s'engage à en avertir le CEA/DAM 30 jours à l'avance. Une période de recouvrement d'une durée minimum de 15 jours sera effectuée, à la charge financière du Titulaire, afin de procéder aux transferts d'informations. Le Titulaire s'engage à procéder au remplacement par du personnel de qualification et d'expérience au moins équivalentes. Les changements sont notifiés par lettre recommandée avec avis de réception et prennent effet dès la date de réception de ladite lettre.

6.2. Suivi de la prestation par le CEA

La prestation comprend la tenue d'une réunion de lancement, de réunions techniques de suivi de conception, d'une revue de projet et d'une réunion de clôture du marché. Des réunions supplémentaires spécifiques pourront être organisées si nécessaire pour garantir le bon déroulement de la prestation. Chacune des réunions fait l'objet d'un compte-rendu rédigé par le titulaire et est diffusé au CEA pour observations éventuelles, dans un délai de 5 jours ouvrés.

6.2.1 Réunion de lancement

La réunion de lancement du marché doit permettre au Titulaire de faire la démonstration qu'il a bien mis en place les moyens et dispositions nécessaires pour débiter et exécuter la prestation conformément aux exigences contractuelles.

Elle doit permettre au CEA de s'assurer que les exigences du marché (de performance, de délai, de management, de confidentialité...) sont comprises et prises en compte.

L'ordre du jour type de la réunion de lancement est le suivant :

- présentation des responsables de l'exécution du marché chez le titulaire et le CEA,
- présentation des éventuels sous-traitants,
- rappel des exigences générales du marché,
- rappel du contenu de l'offre technique, et notamment de l'organisation mise en place pour l'exécution de la prestation,
- planning précis avec identification de risques éventuels.

6.2.2 Réunions techniques de suivi de conception

Les réunions de suivi se tiendront toutes les deux semaines durant la phase de conception. Celles-ci réuniront les équipes projets du CEA et du titulaire.

L'ordre du jour de chaque réunion devra comporter au minimum les points suivants :

- faits marquants depuis la réunion précédente,
- avancement des travaux – en cas de dérive du planning, le Titulaire devra présenter un plan d'actions correctives et le cas échéant un nouveau planning à jour,
- difficultés techniques et état de leur résolution,
- risques résiduels sur l'atteinte des performances et avancement des actions de réduction de risque associé.

Note : spécifiquement pour la conception concernant le sous ensemble contrôle commande, le CEA impose comme contrainte au fournisseur que le référent technique du domaine soit présent à chaque réunion. La stratégie de programmation et le logiciel devront être validé à chaque réunion par le CEA avant d'aller plus en avant. Le CEA se réserve le droit de refuser une conception du sous-ensemble contrôle commande qui n'aurait pas fait clairement l'objet d'une validation progressive déclinée dans les compte-rendus de réunion.

6.2.3 Revue de projet

A la fin de la prestation 1, une revue de projet sera organisée afin de valider les conceptions, et ce avant tout démarrage de la réalisation (prestation 2).

Pour la Revue de Projet, deux groupes sont constitués :

- un groupe projet :
 - o Il est composé de membres de l'équipe projet du Titulaire, qui disposent d'une bonne connaissance de l'état de la phase concernée du projet afin de pouvoir apporter les réponses au groupe d'experts du CEA.
 - o Il est chargé de la constitution des dossiers de revue et des réponses aux questions posées par le groupe de revue.
- un groupe de revue :
 - o Il est composé des interlocuteurs CEA et d'éventuels experts indépendants désignés au regard de leurs compétences en fonction du type de décisions à prendre (technique, délais, risques, management de projet...).
 - o Il est chargé d'analyser les dossiers constitués, et d'émettre des recommandations corrélatives.

Le processus de Revue de Projet se déroule en 5 étapes :

- Etape 1 : Remise du dossier de revue par le Titulaire avec un préavis de 15 jours et sollicitation de l'enclenchement du processus de Revue de Projet auprès du CEA
- Etape 2 : L'équipe projet du Titulaire présente le dossier de revue au groupe de revue. Au cours de sa présentation, le Titulaire devra en particulier détailler la conception proposée pour les équipements les plus critiques.
- Etape 3 : Le groupe de revue analyse le dossier de revue et demande des compléments à l'équipe projet du Titulaire qui répond.
- Etape 4 : Suite à ces réponses le groupe de revue émet des recommandations.
- Etape 5 : Le CEA notifie au Titulaire son acceptation, ou son acceptation sous réserve de prise en compte des décisions retenues au cours de la réunion de fin de revue, ou sa non acceptation du dossier.

En cas de non acceptation, le Titulaire fournit, dans un délai fixé par le CEA, le dossier corrigé et/ou procède, dans le même délai, aux corrections ou reprises de réalisation prenant en compte la reprise suite aux commentaires éventuels, dans le cadre de son forfait et sans aucune rémunération supplémentaire. **En aucun cas le CEA ne rédigera, corrigera, ou reprendra tout ou partie du dossier.**

Le dossier corrigé est alors soumis à nouveau au processus de revue. Les délais supplémentaires occasionnés sont imputables au Titulaire et ne pourront remettre en cause le planning contractuel.

6.2.4 Recette usine

La recette usine a pour objet de vérifier que le système est conforme à son dossier de conception (vérification de l'adéquation avec les plans fournis) et répond aux exigences du cahier des charges (essais).

Le Titulaire effectuera les essais prévus dans le cahier de recette dans ses locaux en présence du responsable technique du CEA. **Il devra avoir au préalable effectué en interne ses propres contrôles afin de garantir le bon déroulement des essais.**

Le Titulaire conviendra avec le CEA des éléments à fournir par le CEA au Titulaire pour permettre la bonne conduite de la recette usine chez le Titulaire. Si le CEA ne peut pour diverses raisons envoyer ce matériel au Titulaire alors soit le matériel sera approvisionné par le Titulaire soit l'essai concerné sera réalisé sur le site CEA/DIF lors de la recette sur site.

Le CEA devra être averti de la réalisation des essais avec un préavis de 15 jours.

A l'issue des essais :

- Si tous les critères spécifiés dans le cahier de recette sont satisfaits, le CEA prononcera la recette usine du système.
- Si un des critères n'est pas satisfait, le Titulaire devra organiser de nouveaux essais sous un délai de 2 semaines après application par ses soins des correctifs adéquats. Sauf accord du CEA, toute modification du système implique la reprise complète des essais de réception.

6.2.5 Recette sur site

Le système est testé après montage sur site et fin de réalisation pour valider à nouveau la conformité avec le cahier de recette.

La recette sur site a pour objet de vérifier que le système reste conforme à son dossier de conception une fois le banc automatique réceptionné à son emplacement définitif au CEA/DIF.

Le CEA et le Titulaire devront convenir d'une date de réalisation des essais au moins 15 jours avant leur réalisation pour permettre au CEA de garantir que toutes les conditions seront réunies pour leur tenue.

A l'issue des essais :

- Si tous les critères spécifiés dans le cahier de recette sont satisfaits, le CEA prononcera la recette sur site du système.
- Si un des critères n'est pas satisfait, le Titulaire devra organiser de nouveaux essais sous un délai de 2 semaines après application par ses soins des correctifs adéquats. Sauf accord du CEA, toute modification du système implique la reprise complète des essais de réception.

7. DEFINITION DU BANC AUTOMATIQUE

7.1. Description générale

Le banc automatique présenté dans ce document doit permettre de transférer les échantillons des stations de type gaz noble du réseau OTICE et d'en permettre la mesure. Il est prévu d'utiliser cet outil sous accréditation selon la norme ISO/IEC 17025 qui permet de démontrer que les résultats fournis par une méthode d'analyse sont valides. Par conséquent, il est très important que la philosophie de sa conception soit axée sur la réalisation d'un banc utilisé pour de la « production » (ce n'est pas un outil de recherche), avec une métrologie maîtrisée et la possibilité de maintenance et des faibles adaptations à prévoir notamment plutôt au niveau des recettes (procédure de traitement des échantillons).

Le fonctionnement du banc peut être résumé de la manière suivante. Il s'agit dans un premier temps de traiter une archive (Figure 5) qui présente les caractéristiques d'une des lignes du Tableau 1.

Tableau 1. Tableau récapitulant les principales caractéristiques des archives produites par les stations de type gaz noble.

Archive	Volume de l'archive (mL)	Pression de l'archive (mbara)	Teneur Xe (fraction molaire)	Matrice
SPALAX	300	90	0.300	N ₂
SPALAX-NG	150	100	0.300	N ₂
SAUNA	500	760	0.003	He
SAUNA II	350	280	0.010	He
SAUNA III	350	280	0.010	N ₂
Xe International	50	100	0.400	N ₂



Figure 5 : Photographies des différents types d'archives du réseau OTICE.

L'objectif, comme indiqué précédemment est de transférer le maximum du Xe contenu dans l'archive dans une cellule de mesure (Figure 6) utilisée pour la mesure en spectrométrie γ afin de déterminer la teneur en radioxénons. Le rendement de transfert (η) minimum imposé par l'OTICE est de 50%. Il est déterminé en faisant le rapport entre la quantité de xénon initialement présente dans l'archive et la quantité de xénon présente dans la cellule selon l'Équation 1. Dans cette équation, x est la teneur en xénon (sans unité), P la pression (Pa), V le volume (mL) et T la température (Kelvin). L'indice Cel fait référence à la cellule de mesure et l'indice Arch à l'archive.

$$\eta = \frac{n_{Xe}^{Cel}}{n_{Xe}^{Arch}} = \frac{x_{Xe}^{Cel} \times P^{Cel} \times V^{Cel} \times T^{Arch}}{x_{Xe}^{Arch} \times P^{Arch} \times V^{Arch} \times T^{Cel}} \quad \text{Équation 1}$$

D'abord, l'archive qui doit être traitée est connectée au banc via son raccord rapide après avoir réalisé le vide dans le circuit.

Ensuite, l'échantillon est détendu dans un volume dont on connaît le volume mort et qui contient un capteur de pression pour déterminer la pression dans l'archive (P^{Arch}). La température du système est également déterminée (T^{Arch}). Une fraction de l'archive est entraînée vers un système de mesure (ici le spectromètre de masse de manière nominale ou à défaut vers une aliquote qui sera mesurée par chromatographie en phase gaz) pour déterminer la teneur en Xe de l'échantillon de l'archive (x_{Xe}^{Arch}).

Le transfert débute alors. L'échantillon de l'archive est entraîné dans une colonne contenant un adsorbant en utilisant également un volume de détente pour améliorer et contrôler le passage de l'échantillon à travers la colonne. Après plusieurs cycles de détente l'archive a été vidée de son échantillon et la colonne a permis de retenir le Xe sur l'adsorbant qu'elle contient à température ambiante. Pour restituer le Xe à la cellule de mesure, la colonne est chauffée pour le désorber, puis ce dernier est entraîné par détente dans la cellule en réalisant un balayage pour améliorer le rendement. Au moment du remplissage de la cellule, il est possible de déterminer la pression dans celle-ci (P^{Cel}) ainsi que la température (T^{Cel}). Le volume de la cellule (V^{Cel}) est déjà connu.

Note : Par conception, les cellules de mesure ne peuvent pas supporter une pression supérieure à 1 bar absolu au risque d'être définitivement endommagée.



Figure 6 : Photo d'une cellule double face avec sa vanne HAM-LET.

Enfin, il est possible de déterminer la teneur en Xe dans la cellule (x_{Xe}^{Cel}), soit juste après son remplissage, soit après la mesure nucléaire, en fonction des besoins du laboratoire. Comme précédemment cette détermination est réalisée soit par spectrométrie de masse soit par chromatographie en phase gazeuse.

Le banc automatique est constitué de deux sous-systèmes, chacun constitué d'équipements. Cette architecture produit est illustrée sur l'arborescence en Figure 7. Ces deux sous-systèmes sont :

- le « procédé ». C'est le système qui permet de séparer le xénon de sa matrice et le transférer dans une cellule de mesure. Il est constitué de 10 parties, ayant chacune des fonctionnalités spécifiques ;
- le « contrôle commande ». C'est le système qui permet le pilotage des éléments du procédé (éléments de régulation, vannes, ...) et la supervision des capteurs (température, pression). Il permet également la gestion de l'ensemble des résultats et des paramètres du banc. Il est particulièrement important notamment pour permettre de réaliser les recettes identifiées par le CEA pour permettre à l'ensemble de réaliser ses fonctions.

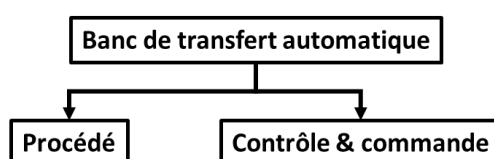


Figure 7. Arborescence produit du banc automatique.

Dans ce document, chaque critère est associé à un des trois niveaux d'exigences définis ci-après.

Primordial (P) : le fournisseur doit impérativement répondre au critère indiqué pour que le système puisse réaliser son rôle/exécuter sa fonction.

Important (I) : il est préférable que le fournisseur réponde au critère concerné pour que le système puisse réaliser son rôle/exécuter sa fonction, toutefois, sous certaines conditions notamment financières ou techniques, il est acceptable de ne pas répondre à ce critère sans que cela remette en cause le fonctionnement général.

Souhaitable (S) : il est souhaitable que le fournisseur réponde au critère concerné. Il n'est pas indispensable mais faciliterait le fonctionnement du système. Il est acceptable d'écarter la réponse à ce critère en cas de difficultés techniques ou financières même faibles.

7.2. Limites de fourniture

Dans cette partie, il est question de préciser les éléments périphériques et/ou aux interfaces du banc mais qui sont nécessaires à son bon fonctionnement. Il est précisé ce qui est fourni par le CEA et ce qui doit être prévu par le Titulaire à ces interfaces.

Emplacement

Le CEA garantit au Titulaire un emplacement dans un laboratoire pour installer le banc. Le CEA garantit au Titulaire les dimensions maximales suivantes pour le banc (comprend à la fois les fournitures du Titulaire et celles du CEA) : 3000 mm de largeur, de 1000 mm de profondeur et de 2200 mm de hauteur. Les dimensions du spectromètre sont les suivantes : 1600 mm de largeur, de 820 mm de profondeur et de 1500 mm de hauteur.

Il revient donc au Titulaire de fournir un équipement qui soit compatible avec l'emplacement proposé (**F1**). Le CEA souhaite, pour des raisons d'ergonomie que le banc automatique soit installé sur un skid sur roue (**F2**). Enfin, il est souhaitable que le Titulaire développe le banc le plus compact que cela est raisonnablement possible (**F3**).

Accessibilité

Pour installer le banc automatique sur le site du CEA/DIF, sauf indication contraire de la part du CEA, la livraison entre le centre du Titulaire et celui du CEA/DIF (bâtiment rupture de charge) revient au Titulaire. La livraison interne au CEA revient au prestataire du CEA chargé de cette mission. Si la livraison est particulière de par la nature du banc automatique livré (fragile, hors norme, requiert des habilitations de manutention particulières) le **Titulaire doit prévoir tous les moyens logistiques nécessaires. Il appartient au Titulaire de demander les modalités d'accès pour la livraison** mais également de le prendre en compte pendant la phase de conception (**F4**).

Alimentation électrique

Sur le site du CEA/DAM, le CEA fournit une alimentation électrique monophasée en 230 V, 50Hz, fiche type E, connectée à l'onduleur de l'installation dédiée à l'utilisation du banc automatique exclusivement (incluant la pompe à vide). La protection garantie pour le banc (hors spectromètre de masse) est de 16 A (soit une puissance maximale d'environ 3,5 kVA).

Il revient au Titulaire de fournir un banc automatique (hors spectromètre de masse) alimenté par une unique prise de courant qui correspond à ses caractéristiques de fonctionnement (**F5**). Il revient au Titulaire de demander au CEA, le cas échéant, de réaliser des adaptations de puissance si le banc nécessite une puissance supérieure. Si cette information parvient au CEA après la fin de la phase de conception (prestation 1), le CEA ne pourra être tenu pour responsable du retard de mise en service lié à la non disponibilité de l'alimentation électrique s'il n'a pas été prévenu au cours de la réalisation de cette prestation.

Climatisation

Le banc automatique sera installé dans un laboratoire climatisé.

Alimentation en gaz

Au-delà des échantillons à mesurer, le banc automatique requiert 4 types de gaz qui sont tous fournis par le CEA : l'air réseau, les gaz vecteurs, les gaz utilisés pour le contrôle qualité et les étalons.

L'air réseau est de l'air comprimé accessible dans le laboratoire où sera situé le banc automatique. Il sera généré soit par le centre et à défaut par une bouteille industrielle. La pression garantie par le CEA est d'environ 7 bars absolus. Le Titulaire prévoit une entrée unique d'air comprimé (**F6**) sur le banc automatique.

Le gaz vecteur est issu d'un gaz industriel en réseau sous pression (arrive à environ 15 bars absolus dans le laboratoire) puis détendu à l'aide d'un manomètre détendeur. Il s'agit soit d'hélium de haute pureté soit de diazote de haute pureté. Le CEA garantit au Titulaire une connexion de type femelle double bague Swagelok® en 1/8 de pouce. Le CEA fournit le manomètre détendeur permettant d'avoir une pression comprise entre 1 et 5 bars absolus. Le Titulaire prévoit une connexion adéquate pour chaque gaz vecteur et un socle pour attacher les bouteilles sur le banc automatique (**F7**).

Le CEA fournit 4 bouteilles de gaz différentes utilisées pour réaliser les contrôles qualité. Ils sont issus d'un gaz industriel en bouteille sous pression (environ 200 bars pleines) puis détendu à l'aide d'un manodétendeur. Il s'agit de Xe ou autre composé d'intérêt dans une matrice soit de diazote soit d'hélium. Pour chaque bouteille de gaz de contrôle qualité, le CEA garantit au Titulaire une connexion de type femelle double bague Swagelok® en 1/8 de pouce. Le CEA fournit le manomètre détendeur permettant d'avoir une pression comprise entre 0,1 et 5 bars absolus. Le Titulaire prévoit une connexion adéquate pour chaque gaz utilisé pour le contrôle qualité et un socle pour attacher les bouteilles sur le banc automatique (**F8**).

Le CEA fournit 4 bouteilles de gaz étalons chacune issue d'un gaz industriel en bouteille sous pression (environ 200 bara pleines) puis détendu à l'aide d'un manodétendeur. Il s'agit de Xe ou autre composé d'intérêt dans une matrice soit de diazote soit d'hélium. Pour chaque bouteille de gaz étalon, le CEA garantit au Titulaire une connexion de type femelle double bague Swagelok® en 1/8 de pouce. Le CEA fournit le manomètre détendeur permettant d'avoir une pression comprise entre 0,1 et 5 bars absolus. Le Titulaire prévoit une connexion adéquate pour chaque gaz étalon et un socle pour attacher les bouteilles sur le banc automatique (**F9**).

Spectromètre de masse - Moyen de mesure

Le moyen de mesure utilisé est à la charge du CEA. Il s'agit d'un spectromètre de masse Prima Pro Batch Inlet de la société Thermo Scientific (Figure 8). Dans le cadre de ce marché, cet équipement restera avec sa chaîne informatique sur le site du CEA/DAM. **Le Titulaire doit prendre ses dispositions pour réaliser le banc avec cette contrainte (notamment en ce qui concerne l'adaptation et la programmation du spectromètre de masse ; cf 4.3.1).** De même, si le Titulaire est responsable du contrôle du spectromètre de masse (cf 7.5), la performance et le développement de la méthode de mesure est de la responsabilité du CEA.



Figure 8. Photographie du spectromètre de masse Prima Pro batch inlet de la société Thermo Scientific.

Note 1 : le spectromètre de masse est monté sur un skid sur roue, il est possible d'adapter le skid du spectromètre pour les besoins du présent marché.

Note 2 : à compter de la réunion de lancement, le CEA peut fournir au Titulaire les détails concernant le spectromètre pour lui permettre la conception et réalisation du banc automatique.

Note 3 : le spectromètre de masse est contrôlé à partir d'un logiciel propriétaire. Le CEA a prévu qu'une personne de la société du Titulaire puisse participer à la formation de l'utilisation du spectromètre de masse notamment pour ce qui concerne les aspects de programmation.

Note 4 : les éléments qui constituent le spectromètre doivent être contrôlés/pilotés par l'automate du Titulaire. De plus, le CEA attire l'attention sur le fait que certaines parties matérielles au niveau de l'introduction de l'échantillon dans le spectromètre peuvent nécessiter d'être adaptée.

Matériel informatique

Pour limiter la quantité de matériel informatique, le Titulaire utilise le PC fourni par le CEA pour y ajouter les éléments du § 7.5 (sous système contrôle commande). Cela doit être réalisé dans les règles informatiques telles qu'indiquées dans le § 5.5. Le PC restera sur le centre CEA/DIF, en aucun cas il ne pourra être envoyé au Titulaire ni connecté à internet d'une manière ou d'une autre. Le PC fourni par le CEA est un HP, SF 400 PRO avec Windows 11.

Adsorbants

Les adsorbants utilisés dans ce banc pour réaliser le transfert sont à la charge du CEA. Il s'agit d'une zéolithe dopée avec des nanoparticules métalliques.

Réacteurs

Les réacteurs (ou colonnes) seront préparés par le CEA.

Pompe à vide

Le CEA fournira une pompe à vide secondaire. Edwards T station 85. Il appartient au Titulaire de fournir la connexion adaptée vers la pompe à vide et vers l'alimentation électrique du banc ainsi qu'un emplacement pour celle-ci sur le skid (**F10**).

Prêt de fourniture CEA pour la réalisation de la prestation

Pour permettre la réalisation de la prestation, le CEA peut prêter au Titulaire du petit matériel d'intérêt notamment des archives, du gaz vecteur, des étalons de gaz. La liste de prêt et les conditions devront être définies ensemble lors des réunions de suivi dans un délai raisonnable permettant au CEA d'organiser le transport auprès du Titulaire dans les temps (prévoir 2 semaines pour des transports classiques et 4 semaines pour des transports spécifiques hors période de congés). Ces fournitures seront restituées au CEA à la fin de la phase de réalisation/mise au point (**F11**).

Toutes les autres fournitures nécessaires à la réalisation et aux essais du pilote sont à la charge du Titulaire et réputées comprises dans son offre.

Tableau 2 : Liste et caractérisation des fonctions liées aux limites de fournitures.

ID	Fonctionnalités	Critères	Criticité
F1	Respecter l'emplacement prévu par le CEA.	Les dimensions du banc automatique, du spectromètre de masse, de la chaîne informatique et que l'ensemble des utilités sont plus petites que 3000 mm de largeur, 1000 mm de profondeur et 2200 mm de hauteur.	P
F2	Etre monté sur un skid sur roue.	Le banc automatique est monté sur un skid sur roues équipées de frein.	P
F3	Etre compact.	Le banc automatique doit être aussi compact que cela est raisonnablement possible.	S
F4	Gérer les aspects logistiques.	Si la livraison n'est pas standard, il appartient au Titulaire : - D'étudier l'accessibilité du local dans lequel le banc automatique sera installé ; - De s'informer des modalités d'accès pour les livraisons ; - De prévoir les moyens de manutention nécessaires pour la livraison.	P
F5	Alimenter le banc automatique en énergie.	Le Titulaire fourni une prise de courant unique en 230 V, 50Hz, fiche type E sur protection 16 A qui alimente le banc automatique. Le cas échéant, le Titulaire prévient le CEA avant la fin de la phase de conception d'adaptation à faire pour permettre l'alimentation du banc.	P
F6	Alimenter le banc automatique en air comprimé.	Etre doté d'une seule connexion pour l'air comprimé dans un diamètre libre mais métrique avec des raccords de type Festo.	P
F7	Alimenter le banc automatique en gaz vecteur.	Etre doté pour chaque gaz vecteur d'une connexion avec un raccord Swagelok double bague en 1/8 de pouce mâle.	P
F8	Alimenter le banc automatique en gaz utilisé pour le contrôle qualité.	Etre doté pour chaque gaz utilisé pour le contrôle qualité d'une connexion avec un raccord Swagelok double bague en 1/8 de pouce mâle. Prévoir un socle pour fixer les bouteilles sur le banc (maximum B10).	P
F9	Alimenter le banc automatique en gaz étalon.	Etre doté pour chaque gaz étalon d'une connexion avec un raccord Swagelok double bague en 1/8 de pouce mâle. Prévoir un socle pour fixer les bouteilles sur le banc (maximum B10).	P
F10	Permettre de réaliser le vide dans le banc automatique.	Etre dotée d'une connexion vers la pompe à vide fournie pour réaliser le vide dans le banc automatique et vers l'alimentation électrique. Prévoir un emplacement pour la pompe à vide sur le skid. La pompe à vide fourni par le CEA est le modèle T station 85 (Edwards).	P
F11	Prévoir le consommable pour les essais.	Lister le matériel nécessaire que le CEA pourrait prêter pour réaliser les essais et le restituer une fois les essais terminés.	P

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

7.3. Fonctionnalités générales du banc automatique

Dans cette partie, il est question de présenter les points généraux auxquels le banc automatique doit répondre. Une description des différents points est d'abord réalisée. Ensuite, les critères auxquels doit répondre le banc automatique, de manière plus particulière, sont indiqués dans les § 7.4 et 7.5.

G 1 : sécurité

Le système doit répondre en tout point aux normes de sécurité et aux textes légaux en vigueur concernant les différents risques auquel un utilisateur sera exposé (électrique, thermique, mécanique, ...). En cas d'incident ou d'accident, la responsabilité du Titulaire pourra être engagée si le non-respect d'une ou plusieurs de ces normes de sécurité est avéré.

G 2 : protection des câbles électriques

Protéger autant que faire se peut tous les câbles électriques (courants faibles et forts), par exemple, dans des goulottes et utiliser des protections pour les câbles apparents pour éviter de les endommager.

G 3 : protection des tuyaux d'air comprimé

Protéger autant que faire se peut tous les tuyaux d'air comprimé, par exemple, dans des goulottes séparées des câbles électriques.

G4 : matériaux des tuyaux

Sauf indication contraire, le montage est réalisé en acier inoxydable 316 pour durer dans le temps.

G5 : type de raccords

Sauf indication contraire, les raccords utilisés sont de type VCR autant que possible car ces raccords sont adaptés à des pressions inférieures à la pression atmosphérique ce qui est essentiellement le cas ici.

G6 : diamètre des tuyaux

Sauf indication contraire, le diamètre externe des tuyaux du banc est de 1/8 de pouce car cela permet un bon compromis perte de charges/volume mort.

G7 : nature des vannes

Sauf indication contraire, utiliser soit des vannes pneumatiques (à commande électrique ou pneumatique) soit des électrovannes mais dans ce cas apporter la preuve de leur fiabilité. Ce critère provient d'un retour d'expérience où le taux de dysfonctionnement d'électrovannes à faible volume mort ne les rend pas compatible avec l'application actuelle. Ces vannes devront être obligatoirement à double sens de circulation, pilotables et normalement fermées.

G 8 : étanchéité/tenue au vide

Le système ne doit pas présenter de fuite majeure, que ce soit dans les phases sous pression et le cas échéant sous vide.

G 9 : limitation des chemins préférentiels

Pour limiter les chemins préférentiels dans la colonne, celle-ci est placée à la verticale.

Tableau 3. Liste et caractérisation des fonctions générales PE1.

ID	Fonctionnalités	Critères	Criticité
G 1	Permettre d'utiliser le banc automatique en toute sécurité.	Le banc automatique est conforme aux règles du droit du travail et aux différentes normes en vigueur qui s'appliquent à ce banc automatique.	P
G 2	Protéger les câbles électriques.	Mettre les câbles électriques (courants forts et faibles) dans des goulottes et protéger ceux qui doivent être en extérieur.	P
G 3	Protéger les tuyaux d'air comprimé.	Mettre autant que possible les tuyaux d'air comprimé dans des goulottes spécifiques.	P
G 4	Prévoir un matériau résistant.	Sans indication contraire utiliser des éléments de tuyauterie en acier inoxydable 316.	P
G 5	Prévoir des raccords adaptés.	Sans indication contraire utiliser des raccords de type VCR.	I
G 6	Prévoir des sections de tuyauterie adaptées.	Sans indication contraire utiliser une tuyauterie de diamètre externe 1/8.	P
G 7	Prévoir des vannes adaptées.	Utiliser soit des vannes pneumatiques (à commande électrique ou pneumatique) soit des électrovannes en apportant des éléments prouvant leur fiabilité (taux de défaillance inférieur à 1/100000). Les vannes sont pilotables, normalement fermées et à double sens de circulation.	P
G 8	Ne pas fuir.	Tenue au vide : garantie une pression inférieure à 1 mbara 12h après la mise au vide et l'isolation de la partie.	P
G 9	Limiter les chemins préférentiels.	La colonne est installée verticalement.	P

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

7.4. Sous-système « procédé »

Le procédé est constitué de 9 parties qui peuvent communiquer les unes avec les autres (voir Figure 9) :

- Partie 1 : raccordement des archives ; permet de connecter les 3 différents types de raccord des archives de l'OTICE ;
- Partie 2 : mesure de la pression ; permet de mesurer, par détente de l'archive dans un volume connu, la pression initiale dans la cellule ;
- Partie 3 : échantillonnage ; permet de prélever une partie de l'échantillon afin de réaliser une mesure de sa composition à l'aide du spectromètre de masse ou par chromatographie gazeuse ;
- Partie 4 : volumétrie ; permet de mesurer le volume d'une archive à l'aide d'un volume référence ;
- Partie 5 : adsorption ; permet d'extraire le xénon de sa matrice à l'aide d'une colonne d'adsorbant et d'un volume de détente ;
- Partie 6 : gaz vecteurs et contrôle qualité ; permet la gestion des deux gaz vecteurs (He et N₂) et des gaz utilisés pour le contrôle qualité ;
- Partie 7 : gaz étalons ; permet de gérer les gaz étalons nécessaires à l'étalonnage du spectromètre de masse et à la réalisation des contrôles qualité ;
- Partie 8 : vide ; permet de tirer au vide l'ensemble du banc automatique ;
- Partie 9 : mesure des conditions ambiantes ; permet de suivre dans le temps les variations des conditions ambiantes.

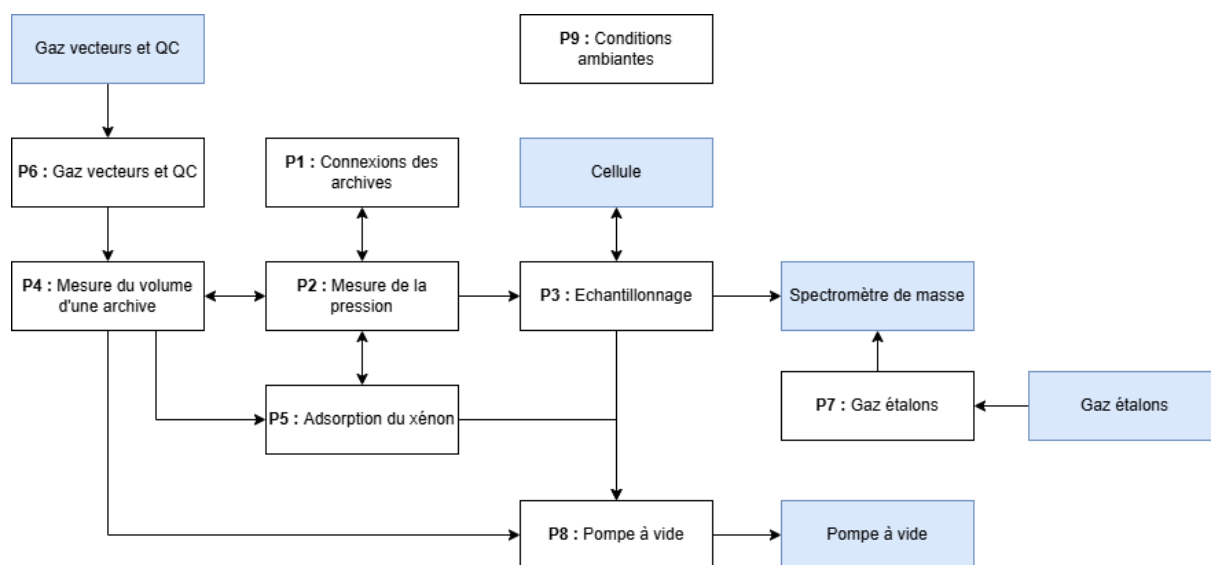


Figure 9 : Logigramme des différentes parties du banc automatique concernant le sous-système procédé. Les éléments en bleu sont fournis par le CEA.

7.4.1 Partie 1 – Raccordement des archives

Objectif

Les archives peuvent venir de plusieurs types de stations. En fonction de la nature de la station, les raccords rapides des archives sont différents. Les archives SPALAX sont équipées d'un raccord de type Staubli RBE06, celles des SPALAX-NG sont équipées d'un raccord de type Staubli RBE03 et celles des stations SAUNA et Xe international sont équipées d'un raccord Swagelok QC4. Le rôle de cette partie est de permettre de raccorder (connecter) l'archive (quelle que soit sa nature) au banc automatique.

Description

Comme une seule entrée d'introduction d'échantillon est prévue sur le banc automatique (*cf* 7.4.2) pour permettre de limiter les volumes morts, il est nécessaire d'avoir à disposition 3 connexions, une pour chaque type de raccords rapides des différentes archives du réseau (**P1_1**). La connexion est ici définie comme l'élément qui raccorde les archives au banc automatique et qui respecte l'ensemble des critères de cette partie. Dans le cadre du traitement d'une archive, il revient à l'opérateur de choisir la bonne connexion parmi les 3 et de le raccorder manuellement au banc. L'intérêt d'avoir 3 connexions distinctes est d'une part d'avoir un volume mort fixe et connu par élément et d'autre part de permettre aux opérateurs de réaliser le « branchement » de l'archive à la connexion dans un sac à gant pour limiter la pollution de l'échantillon.

Pour chaque connexion, un raccord doit permettre de raccorder tous les types de raccords d'archives (**P1_2**). Autrement dit, chaque connexion est dédiée à un type d'archive.

Pour permettre d'une part de limiter la pollution de l'échantillon en réalisant le vide et d'autre part de contrôler l'écoulement de l'échantillon, la connexion doit être équipée d'une vanne (**P1_3**).

En prévision du montage et démontage de chaque connexion, il doit être possible de démonter le tuyau d'air comprimé qui actionne la vanne aisément ou, le cas échéant, la commande électrique de la vanne (**P1_4**).

Chaque connexion doit pouvoir être raccordée au banc automatique (**P1_5**). Pour limiter les volumes morts, cette connexion doit se faire de préférence avec un raccord en 1/8 de pouce (**P1_6**).

Chaque connexion doit avoir un volume mort faible (**P1_7** et **P1_7 bis**).

Un support doit permettre de fixer chaque type d'archive (**P1_8**).

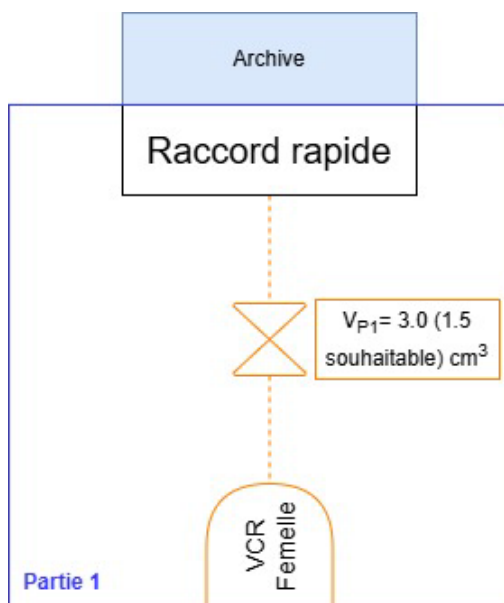


Figure 10 : Schéma de la partie raccordement des archives.

Tableau 4. Liste et caractérisation des fonctions de la partie raccordement des archives (partie 1).

ID	Fonctionnalités	Critères	Criticité
P1_1	Connecter tous les types d'archives.	Fournir 3 connexions qui répondent à l'ensemble des critères de cette partie.	P
P1_2	Adapter chaque connexion à un type de raccord rapide des archives de l'OTICE.	Equiper la première connexion d'un raccord RBE 06 (SPALAX). Equiper la seconde connexion d'un raccord RBE 03 (SPALAX-NG). Equiper la troisième connexion d'un raccord Swagelok QC4 (SAUNA et Xe international).	P
P1_3	Gérer la circulation du gaz dans chaque connexion.	Chaque connexion doit être équipée d'une vanne pilotable, à double sens et normalement fermée (cf critère G7).	P
P1_4	Connecter/déconnecter la vanne du réseau d'air comprimé ou de la commande électrique.	Permettre de connecter/déconnecter le tuyau d'air comprimé ou la commande électrique qui actionne la vanne pour permettre le changement de la connexion.	P
P1_5	Raccorder la connexion au banc automatique.	Equiper chaque connexion d'un raccord VCR femelle.	P
P1_6	Limiter les volumes morts de la connexion.	Le raccord VCR (P1_5) doit être en 1/8 de pouce.	S
P1_7	Avoir un faible volume mort maximum.	Chaque connexion (raccord rapide exclu) doit avoir le volume mort le plus faible possible sans être supérieur à 3,0 cm ³ .	P
P1_7 bis	Avoir le plus faible volume mort.	Avoir un volume mort inférieur à 1,5 cm ³ .	S
P1_8	Supporter chaque type d'archive.	Prévoir un moyen pour supporter chaque type d'archive et limiter les contraintes mécaniques sur les connexions lorsque l'archive est raccordée au banc automatique (un moyen ajustable pour chaque type d'archive).	P

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

7.4.2 Partie 2 – Mesure de la pression

Objectif

Comme indiqué dans l'Équation 2 (cf § 7.5.1), il est nécessaire de connaître la pression de l'archive pour déterminer le rendement. Comme les archives ne sont pas équipées de capteur de pression, il est nécessaire de détendre le contenu de l'archive dans un volume doté d'un capteur de pression. Si le volume de détente est connu il est alors possible de déterminer la pression initiale de l'archive. De plus cette partie est centrale puisqu'elle est au carrefour d'autres parties essentielles comme l'échantillonnage (partie 3), la volumétrie (partie 4) et l'adsorption (partie 5). Elle doit donc permettre d'orienter la circulation du gaz parmi ces différentes parties en fonction des actions à réaliser pour les opérations de transfert et de mesure du Xe.

Description

La partie 2 est connectée (**P2_1**) à la connexion de raccordement de l'archive (partie 1). De plus elle est connectée et permet la circulation du gaz vers la partie échantillonnage (**P2_2**) (partie 3), vers la partie volumétrie (**P2_3**) (partie 4) et la partie adsorption (**P2_4**) (partie 5).

Il faut pouvoir mesurer la pression (**P2_5**) dans le volume central (volume mort) de la partie 2 pour permettre justement de déterminer la pression initiale d'échantillon dans l'archive.

Pour limiter les pertes d'échantillon le volume mort de cette partie (entre le capteur de pression, les vannes des parties 3 à 5 et le raccord de la partie 1) doit être faible (**P2_6** et **P2_6 bis**).

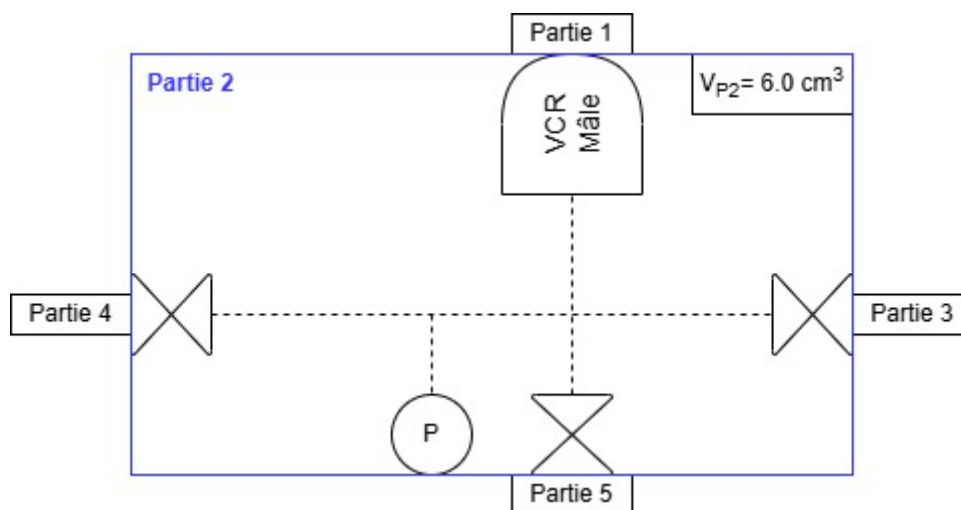


Figure 11 : Schéma de la partie mesure de la pression.

Tableau 5 : Liste et caractérisation des fonctions de la partie mesure de la pression (partie 2).

ID	Fonctionnalités	Critères	Criticité
P2_1	Connecter l'archive (partie 1).	Etre équipée d'un raccord VCR mâle pour raccorder la partie connexion de l'archive (partie 1).	P
P2_2	Connecter et faire circuler le gaz vers la partie échantillonnage (partie 3).	Connecter la partie échantillonnage (partie 3) et permettre de contrôler et piloter l'écoulement du flux vers cette partie.	P
P2_3	Connecter et faire circuler le gaz vers la partie volumétrie (partie 4).	Connecter la partie volumétrie (partie 4) et permettre de contrôler et piloter l'écoulement du flux vers cette partie.	P
P2_4	Connecter et faire circuler le gaz vers la partie adsorption (partie 5).	Connecter la partie adsorption (partie 5) et permettre de contrôler et piloter l'écoulement du flux vers cette partie.	P
P2_5	Mesurer la pression dans le volume central (volume mort) de la partie.	Capteur de pression avec les caractéristiques suivantes : - Gamme de mesure allant de 0 à 1100 mbara ; - Doit permettre de mesurer toute nature de gaz ; - Permettre des mesures entre 50 et 1100 mbar avec une incertitude relative la plus faible possible mais jamais supérieure à 0,3 % ; - Le capteur doit résister à une pression de 2500 mbara ; - Certificat d'étalonnage COFRAC (LNE ou équivalent) - Avoir un faible volume mort (<i>cf P2_6</i>)	P
P2_6	Avoir un faible volume mort maximum.	Le volume mort (ou central) de la partie mesure de la pression (avec le volume mort du capteur de pression) est le plus faible possible et nécessairement inférieur à 6,0 cm ³ en prenant en compte le volume mort du capteur de pression.	P
P2_6 bis	Avoir le plus faible volume mort.	Avoir un volume mort inférieur à 4,0 cm ³ .	S

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

7.4.3 Partie 3 – Echantillonnage

Objectif

Après la détermination de la pression, il est nécessaire de déterminer la composition en Xe stable de l'échantillon. Cette détermination est prévue pour être réalisée soit par spectrométrie de masse de manière nominale soit par chromatographie en phase gazeuse par le biais d'une aliquote (prélèvement de quelques millilitres). Cette même partie est également utilisée pour déterminer la composition après transfert une fois que la cellule de mesure a été remplie. Elle est donc connectée à la cellule de mesure. Enfin, pour « nettoyer » le contenu du volume mort lorsque cela est nécessaire, il doit être possible de faire le vide.

Description

La partie 3 est connectée (**P3_1**) à la partie mesure de la pression (partie 2). De plus elle est connectée et permet la circulation du gaz vers le spectromètre de masse ou l'aliquote utilisée en chromatographie en phase gaz (**P3_2**) et vers la cellule de mesure (**P3_3**) grâce à une vanne HAM-LET que nous utilisons déjà (Figure 13). La partie 3 est également connectée en permettant la circulation du gaz vers la partie vide (**P3_4**) (partie 8)

Pour limiter les pertes d'échantillon le volume mort de la partie centrale (entre le raccord de la partie 2 et les vannes du spectromètre de masse/aliquote et de la cellule de mesure) doit être faible (**P3_5** et **P3_5 bis**).

Pour permettre la mesure de la composition de l'archive avant de réaliser la mesure nucléaire dans la cellule et afin de garantir les critères de l'OTICE sur le rendement de transfert, il est souhaitable de créer un faible volume mort artificiel entre le volume central de la vanne de la partie 3 et la vanne HAM-LET de la cellule (Figure 13 - droite). Ce volume mort permet le prélèvement d'une faible quantité de l'échantillon contenu dans la cellule mais suffisante pour en mesurer sa composition avant de réaliser la mesure nucléaire (**P3_6**).

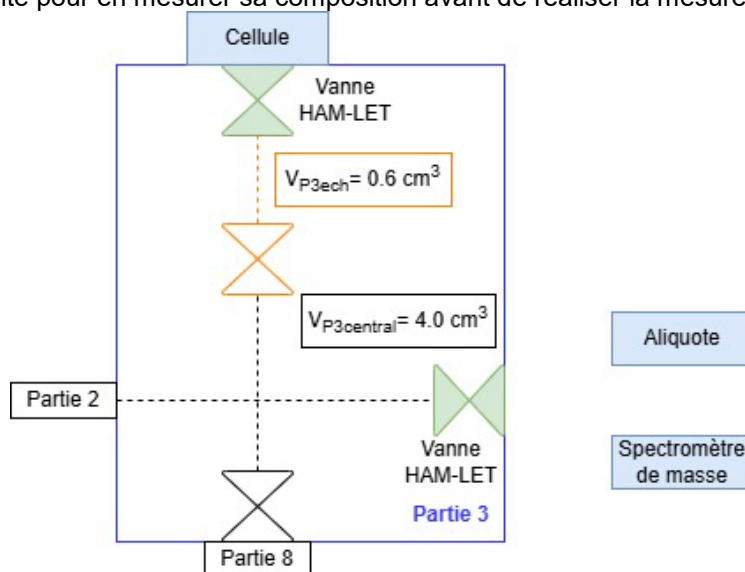


Figure 12 : Schéma de la partie échantillonnage.

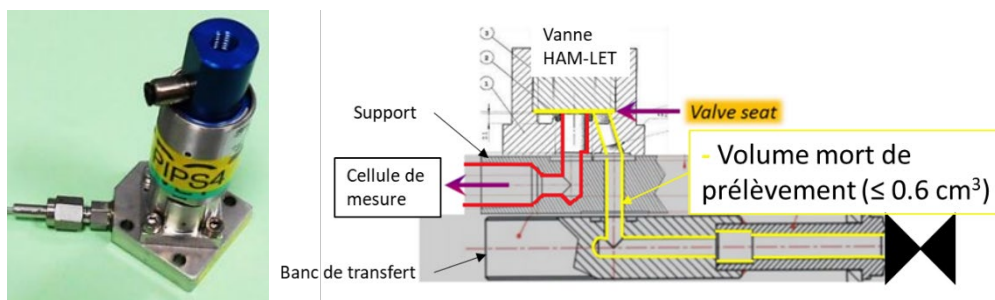


Figure 13. A gauche la photographie d'une vanne HAM-LET avec son support et la connexion VCR vers la cellule. A droite le schéma du montage de la vanne HAM-LET sur le banc de transfert.

Tableau 6 : Liste et caractérisation des fonctions de la partie échantillonnage (partie 3).

ID	Fonctionnalités	Critères	Criticité
P3_1	Etre connecté à la partie mesure de la pression (partie 2).	Connecter la partie de mesure de la pression (partie 2).	P
P3_2	Connecter et faire circuler le gaz vers le spectromètre de masse ou l'aliquote.	Etre équipé d'une HAM-LET dont la partie haute se termine par un raccord en 1/8", de type VCR mâle et dont la base se termine par un raccord 1/8", de type VCR femelle. Le raccord de la partie haute est connecté soit à l'entrée du spectromètre de masse soit à l'aliquote. Le raccord de la base est connecté au banc automatique.	P
P3_3	Connecter et faire circuler le gaz vers la cellule de mesure.	Etre équipé d'une HAM-LET dont la partie haute se termine par un raccord en 1/8", de type VCR mâle et dont la base se termine par un raccord 1/8", de type VCR femelle. Le raccord de la partie haute est connecté à la cellule de mesure. Le raccord de la base est connecté au banc automatique. La référence des vannes HAM-LET est la suivante : HMSSC20-4VKC	P
P3_4	Faire le vide.	Connecter la partie vide (partie 8) et permettre de contrôler et piloter l'écoulement du flux vers cette partie.	P
P3_5	Avoir un faible volume mort central maximum.	Le volume mort (ou central) de la partie centrale est le plus faible possible mais inférieur à 4,0 cm ³ .	P
P3_5 bis	Avoir le plus faible volume mort central.	Avoir un volume mort inférieur à 2,5 cm ³ .	S
P3_6	Avoir un faible volume de prélèvement de l'échantillon de la cellule.	Avoir volume mort artificiel créé à l'aide d'une vanne entre la partie centrale et la vanne HAM-LET de la cellule est le plus faible possible mais inférieur à 0,6 cm ³ . Dans l'éventualité où ce critère ne peut être respecté, la vanne permettant de créer ce volume mort artificiel est alors supprimée.	I

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

7.4.4 Partie 4 – Volumétrie

Objectif

Toujours pour déterminer le rendement, il est nécessaire de déterminer précisément le volume de l'archive. C'est le rôle principal de la partie volumétrie. Pour remplir ce rôle, la partie volumétrie doit être constituée de 3 sous-parties : le volume mort, le volume tampon et le volume étalon.

Pour mesurer le volume de l'archive, le volume de la connexion (partie 1), le volume mort de la mesure de la pression (partie 2) et le volume tampon et mort de la partie volumétrie sont remplis puis détendus dans le volume étalon de la partie volumétrie. Cela permet de déterminer le volume « central » des parties 1, 2 et 4. Ensuite ce même volume est rempli puis détendu dans l'archive pour déterminer le volume de l'archive.

Dans cette partie le volume étalon doit être déterminé de manière très précise et avec une métrologie maîtrisée pour permettre de remonter à la détermination du volume de l'archive. Le volume tampon n'a pas besoin d'être connu mais il doit avoir une valeur cible pour déterminer le volume de l'archive avec suffisamment de précision.

Enfin le volume mort de cette partie est utilisé notamment pour la circulation du gaz vers les autres parties et notamment vers les parties mesure de la pression (partie 2), adsorption (partie 5), gaz vecteurs et contrôle qualité (partie 6) et vide (partie 8). Cela permet de réaliser des actions complémentaires comme le remplissage d'une archive pour réaliser un contrôle qualité, vider la partie volumétrie indépendamment des autres parties entre autres choses.

Description

Equiper la partie volumétrie de 3 sous-parties distinctes (**P4_1**) : le volume mort, le volume tampon et le volume étalon.

La sous-partie volume mort est connectée (**P4_VM_1**) à la partie mesure de la pression (partie 2). De plus elle est connectée et permet la circulation du gaz vers la partie adsorption (partie 5) (**P4_VM_2**), vers la partie gaz vecteurs et contrôle qualité (partie 6) (**P4_VM_3**), vers la partie vide (partie 8) (**P4_VM_4**). De plus, cette sous-partie doit avoir un faible volume mort (**P4_VM_5**).

La sous-partie volume tampon a un volume cible (**P4_VT_1**) qui permet de remplir son rôle pour la volumétrie. Il est équipé d'un capteur de pression permettant de mesurer la pression dans cette sous-partie (**P4_VT_2**). Cette sous-partie étant centrale dans la partie volumétrie, est connectée à la sous-partie volume mort (**P4_VT_3**) et à la sous-partie volume étalon (**P4_VT_4**).

La sous-partie volume étalon est connectée et permet la circulation du gaz vers la sous-partie volume tampon (**P4_VE_1**). De plus elle est équipée d'un volume étalon certifié qui permet la détermination du volume de l'archive (**P4_VE_2**). Le tuyau d'air comprimé qui pilote l'ouverture de la vanne (**G7**), ou le cas échéant, la commande électrique de la vanne (**G7**) doit pouvoir être connecté/déconnecté (**P4_VE_3**).

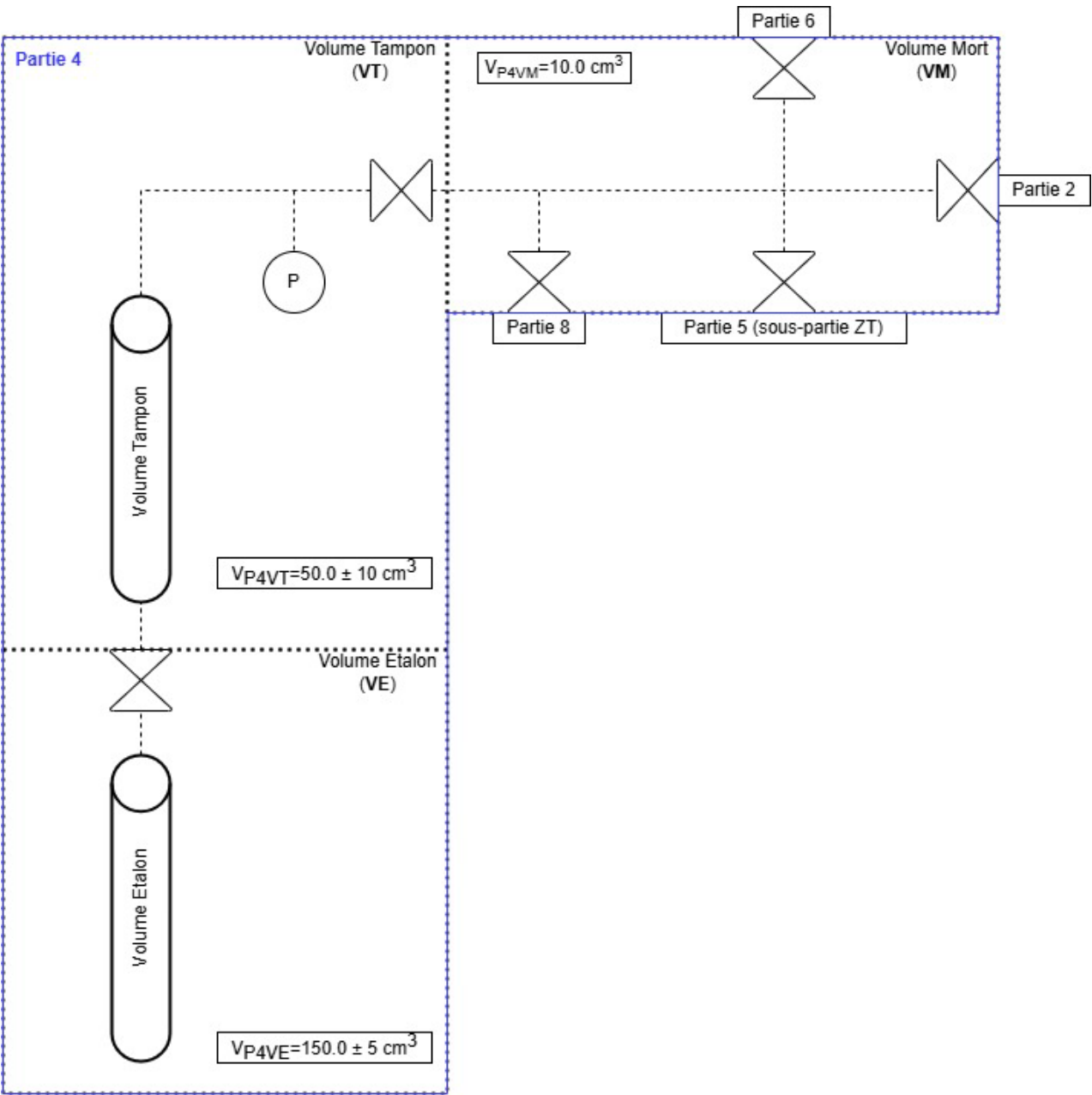


Figure 14 : Schéma de la partie volumétrie.

Tableau 7 : Liste et caractérisation des fonctions de la partie volumétrie (partie 4).

ID	Fonctionnalités	Critères	Criticité
P4_1	Etre constitué de 3 sous-parties.	Etre constitué de 3 sous-parties : - Une sous-partie « volume mort » (VM) - Une sous-partie « volume tampon » (VT) - Une sous-partie « volume étalon » (VE)	P
P4_VM_1	Etre connecté à la partie mesure de la pression (partie 2).	Connecter la sous partie volume mort à la partie mesure de la pression (partie 2).	P
P4_VM_2	Connecter et faire circuler le gaz vers la partie adsorption (partie 5).	Connecter la sous partie volume mort à la partie adsorption (partie 5) et permettre de contrôler et piloter l'écoulement du flux vers cette partie.	P
P4_VM_3	Connecter et faire circuler le gaz vers la partie gaz vecteurs et contrôle qualité (partie 6).	Connecter la sous partie volume mort à la partie gaz vecteurs et contrôle qualité (partie 6) et permettre de contrôler et piloter l'écoulement du flux vers cette partie.	P
P4_VM_4	Connecter et faire circuler le gaz vers la partie vide (partie 8).	Connecter la sous partie volume mort à la partie vide (partie 8) et permettre de contrôler et piloter l'écoulement du flux vers cette partie.	P
P4_VM_5	Avoir un faible volume mort.	Le volume mort de la sous partie « volume mort » de la partie volumétrie est le plus faible possible mais inférieur à 10 cm ³ .	P
P4_VT_1	Avoir un volume tampon cible.	Le volume de la sous partie volume tampon est de 50 cm ³ avec une tolérance de 10 cm ³ .	P
P4_VT_2	Mesurer la pression dans le volume tampon.	Capteur de pression placé sur la sous-partie volume tampon avec les caractéristiques suivantes : - Gamme de mesure allant de 0 à 1100 mbara ; - Doit permettre de mesurer toute nature de gaz ; - Permettre des mesures entre 10 et 1100 mbara avec une incertitude relative la plus faible possible mais jamais supérieure à 1 % ; - Le capteur doit résister à une pression de 2500 mbara.	P
P4_VT_3	Connecter et faire circuler le gaz avec la sous-partie volume mort (partie 4).	Connecter la sous-partie volume tampon à la sous partie volume mort et permettre de contrôler et piloter l'écoulement du flux entre ces sous-parties.	P
P4_VT_4	Connecter à la sous-partie volume étalon (partie 4).	Connecter la sous-partie volume tampon à la sous partie volume étalon.	P
P4_VE_1	Connecter et faire circuler le gaz vers la sous-partie volume tampon (partie 4).	Connecter la sous partie volume étalon à la sous-partie volume tampon (partie 4) et permettre de contrôler et piloter l'écoulement du flux vers cette partie.	P
P4_VE_2	Mesurer le volume.	La sous partie VE est équipée d'un volume étalon qui a les caractéristiques suivantes :	P

		- Volume étalon : 150 cm³ avec une tolérance de 5 cm³ - Incertitude relative du volume de la sous-partie VE inférieure à 1 % - Certificat d'étalonnage COFRAC (LNE ou équivalent) de la sous-partie VE Note : le volume étalonné doit être celui constitué du volume étalon et de la vanne jusqu'au raccord à l'interface avec la sous partie volume tampon.	
P4_VE_3	Connecter/déconnecter la vanne au réseau d'air comprimé.	Permettre de connecter/déconnecter le tuyau d'air comprimé ou la commande électrique qui actionne la vanne pour permettre le changement et la mesure de volume du volume étalon.	P

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

7.4.5 Partie 5 – Adsorption

Objectif

La partie adsorption (partie 5) est la partie centrale qui permet dans un premier temps d'adsorber sélectivement le Xe de l'échantillon. Pour cela une série d'adsorption est réalisée à l'aide d'un volume de détente dont le but est de forcer le passage de l'échantillon à travers l'adsorbant de manière contrôlée.

Une fois l'archive vidée, la colonne contenant l'adsorbant est chauffée pour désorber son contenu et transférer celui-ci vers la cellule de mesure. Pour améliorer le rendement, il peut être possible d'utiliser un flux de gaz provenant soit du volume de détente soit de la partie volumétrie (partie 4).

Description

Equiper la partie adsorption de 3 sous-parties distinctes (**P5_1**) : la colonne (CO), la zone tampon (ZT) et le volume de détente (VD). La sous-partie colonne regroupe toutes les fonctionnalités autour de l'usage de l'adsorbant pour réaliser l'adsorption du Xe de l'archive puis la restitution vers la cellule de mesure. La sous-partie zone tampon est connectée à des utilités pour permettre le bon fonctionnement de cette partie. Elle permet également la réalisation de diagnostic rendant possible la mesure de la composition du gaz contenu dans le volume de détente pour déceler, le cas échéant, un dysfonctionnement du processus, ou encore permettre de réaliser un contrôle qualité de l'adsorbant. Enfin la sous-partie volume de détente permet d'une part de maîtriser la phase d'adsorption et d'autre part d'améliorer le rendement de transfert en permettant le rinçage de la colonne.

La sous-partie colonne est la zone la plus critique pour le transfert. Elle est connectée à la mesure de la pression (partie 2) (**P5_CO_1**). Elle est également connectée et permet la circulation vers la sous-partie zone tampon (**P5_CO_2**). Pour permettre de contrôler le bon déroulement des phénomènes d'adsorption et de désorption dans cette sous-partie, cette dernière doit être équipée d'un moyen de contrôler la pression (**P5_CO_3**). Elle est également équipée de la colonne d'adsorbant (**P5_CO_4**), elle-même équipée de thermocouples (**P5_CO_5**) et d'un moyen de chauffage homogène jusqu'à une température d'intérêt (**P5_CO_6**). La colonne et l'ensemble de ces équipements, notamment le chauffage sont placés dans un boîtier qui protège l'utilisateur de la température (**P5_CO_7**). Un ventilateur équipe également la base du boîtier pour permettre le refroidissement de la colonne (**P5_CO_8**). Enfin comme pour d'autres parties, le volume mort de cette sous-partie a une influence sur les performances de transfert et doit donc être le plus faible possible (**P5_CO_9**).

La sous-partie zone tampon a un rôle essentiellement de distribution de gaz dans les autres sous-parties. Elle est connectée à la sous-partie colonne (**P5_ZT_1**). Elle est également connectée et permet la circulation du gaz vers la sous-partie volume de détente (**P5_ZT_2**), la volumétrie (partie 4) (**P5_ZT_3**), la partie vide (partie 8) (**P5_ZT_4**) et vers le spectromètre de masse (**P5_ZT_5**). Cette zone ainsi que celle en aval doit pouvoir s'adapter à une modification de hauteur de la colonne (**P5_ZT_6**).

La sous-partie volume de détente est connectée à la sous-partie zone tampon (**P5_VD_1**). Elle est équipée d'un capteur de pression (**P5_VD_2**) ainsi que d'un volume (**P5_VD_3**) adapté à sa fonction.

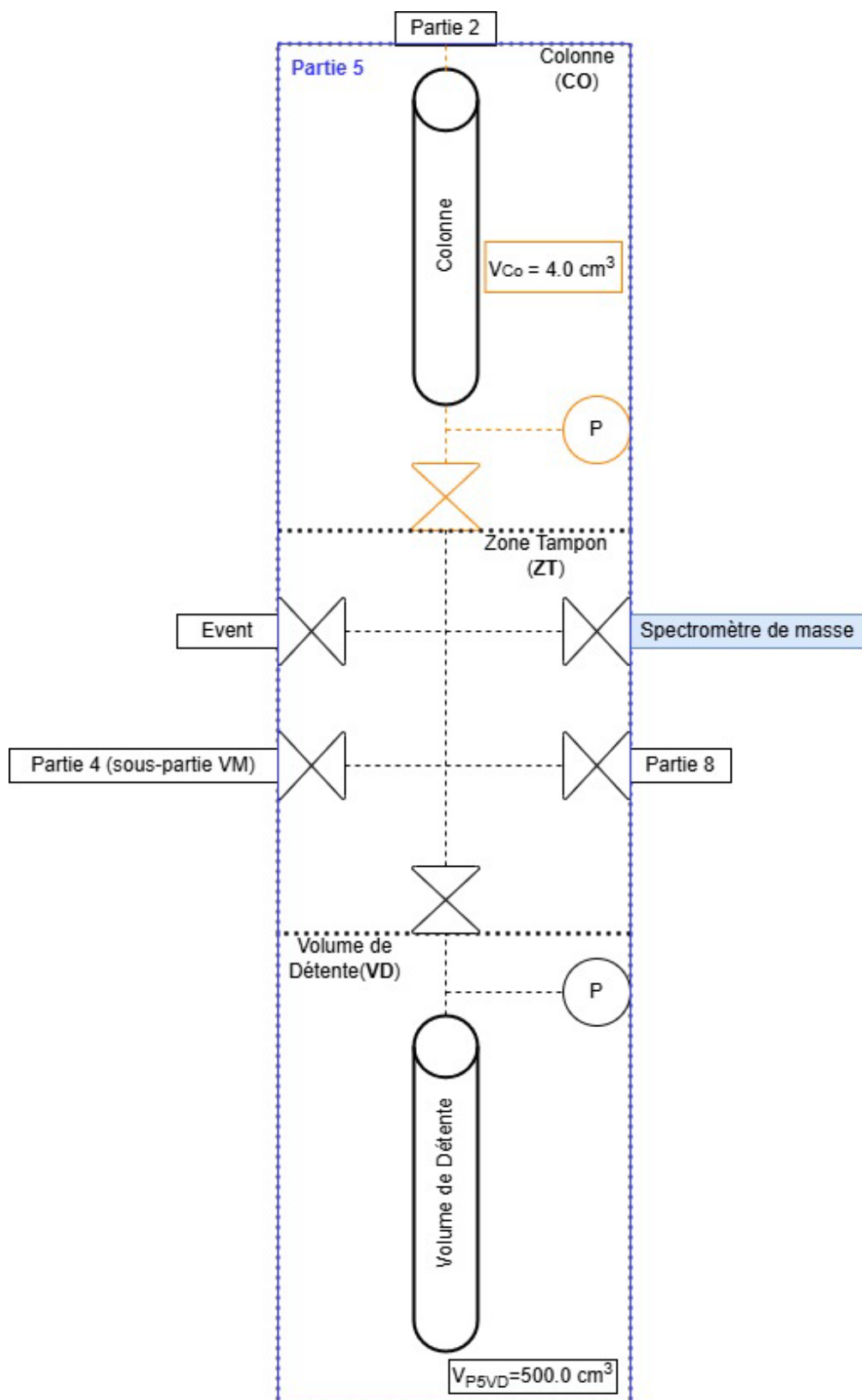


Figure 15 : Schéma de la partie adsorption.

Tableau 8 : Liste et caractérisation des fonctions de la partie adsorption du xénon (partie 5).

ID	Fonctionnalités	Critères	Criticité
P5_1	Etre constitué de 3 sous-parties.	Etre constitué de 3 sous-parties : - Une sous-partie « colonne » (CO) - Une sous-partie « zone tampon » (ZT) - Une sous-partie « volume de détente » (VD)	P
P5_CO_1	Etre connecté à la partie mesure de la pression (partie 2).	Connecter la partie de mesure de la pression (partie 2).	P
P5_CO_2	Connecter et faire circuler le gaz vers la sous-partie zone tampon (partie 5).	Connecter la sous partie colonne à la sous-partie zone tampon (partie 5) et permettre de contrôler et piloter l'écoulement du flux vers cette sous-partie.	P
P5_CO_3	Mesurer la pression dans la sous-partie colonne.	Capteur de pression avec les caractéristiques suivantes : - Gamme de mesure allant de 1 à 2000 mbara ; - Permettre de mesurer toute nature de gaz ; - Résister mécaniquement à des pressions allant jusqu'à 5000 mbara ; Incertitude relative la meilleure possible, inférieure ou égale à 10 % sur toute la gamme de mesure.	P
P5_CO_4	Equiper une colonne d'adsorption.	Equiper une colonne avec les caractéristiques suivantes : - Longueur : 130 ± 50 mm - Longueur utile : 100 ± 50 mm - Diamètre extérieur : 1/4" - Diamètre interne cible : 4,57 mm - Connexions : Raccords VCR femelles 1/4" Note : le volume mort cible de la colonne sans adsorbant est d'environ 2,1 cm ³ .	P
P5_CO_5	Mesurer de la température de la colonne.	Equiper la colonne avec 2 thermocouples, au contact de la paroi externe de la colonne, dont les caractéristiques sont les suivantes : - Gamme de température : 0 – 400°C Incertitude de mesure : 1 ° C	P
P5_CO_6	Chauffer la colonne.	Equiper la colonne d'un élément chauffant permettant de chauffer l'adsorbant uniformément jusqu'à 400°C.	P
P5_CO_7	Protéger l'utilisateur de la température.	Installer la colonne dans un boîtier isolant qui protège l'utilisateur et confine les calories à l'intérieur. Présence d'un pictogramme « élément chauffant » sur le boîtier	P
P5_CO_8	Refroidir la colonne.	Installer un ventilateur à la base du boîtier pour permettre d'évacuer la chaleur et refroidir la colonne. Prévoir des sorties dans le boîtier pour évacuer les calories.	P

P5_CO_9	Avoir un volume mort faible	Le volume mort de la sous-partie colonne, sans la colonne, est le plus faible possible mais inférieur à 4 cm ³ .	P
P5_ZT_1	Connecter la sous-partie colonne (partie 5).	Connecter la sous-partie zone tampon à la sous-partie colonne (partie 5).	P
P5_ZT_2	Connecter et faire circuler le gaz vers la sous-partie volume de détente (partie 5).	Connecter la sous-partie zone tampon à la sous-partie volume de détente (partie 5) et permettre de contrôler et piloter l'écoulement du flux vers cette partie.	P
P5_ZT_3	Connecter et faire circuler le gaz vers la partie volumétrie (partie 4).	Connecter la sous-partie zone tampon à la partie volumétrie (partie 4) et permettre de contrôler et piloter l'écoulement du flux vers cette partie.	P
P5_ZT_4	Connecter et faire circuler le gaz vers la partie vide (partie 8).	Connecter la sous-partie zone tampon à la partie vide (partie 8) et permettre de contrôler et piloter l'écoulement du flux vers cette partie.	P
P5_ZT_5	Connecter et faire circuler le gaz vers le spectromètre de masse.	Connecter la sous-partie zone tampon au spectromètre de masse (partie 8) et permettre de contrôler et piloter l'écoulement du flux vers cette partie.	P
P5_ZT_6	Etre adaptable à une modification de hauteur de colonne.	Permettre à toute la partie située en aval de la colonne de s'adapter à des modifications de hauteurs de colonne en respectant l'ensemble des autres critères. Plage de longueur de colonne : 130 ± 70 mm	P
P5_VD_1	Connecter à la sous-partie zone tampon (partie 5) et faire circuler le gaz.	Connecter la sous-partie volume de détente à la sous-partie zone tampon (partie 5) et permettre de contrôler et piloter l'écoulement du flux vers cette sous-partie.	P
P5_VD_2	Mesure de la pression dans le volume de détente	Capteur de pression avec les caractéristiques suivantes : - Gamme de mesure allant de 1 à 1100 mbara ; - Permettre de mesurer toute nature de gaz ; - Incertitude relative la meilleure possible, inférieure ou égale à 10 % sur toute la gamme de mesure.	P
P5_VD_3	Etre équipé d'un volume adapté.	Equiper un volume de détente de 500 cm ³ avec une tolérance de 10 cm ³ . Ce volume doit pouvoir être adapté.	P

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

7.4.6 Partie 6 – Gaz vecteurs et contrôle qualité

Objectif

Pour le bon fonctionnement du banc automatique, nous avons besoin de gaz vecteur et de gaz de contrôle qualité.

Le gaz vecteur est un gaz réputé peu onéreux au regard des étalons et permet d'être consommé lors des opérations à plus faible valeur ajoutée.

Le N₂ est utilisé car c'est la matrice la moins chère des échantillons que nous étudions. Il permet de déterminer le volume d'une archive notamment grâce à la partie volumétrie (partie 4). Il peut également être utilisé comme gaz vecteur pour améliorer le rendement de transfert des échantillons dont la matrice est également du N₂.

L'He peut être utilisé pour déterminer le volume de la partie contenant de l'adsorbant car il a la propriété de ne pas s'adsorber. Il peut également être utilisé pour déterminer le volume d'une archive mais il coûte plus cher que le N₂. Enfin il peut également être utilisé comme gaz vecteur pour améliorer le rendement de transfert des échantillons dont la matrice est également de l'He.

Les gaz de contrôle qualité permettent de remplir une archive à partir d'un gaz dont la composition est connue. Une fois remplie, l'archive est traitée comme s'il s'agissait d'un échantillon inconnu. A la fin du traitement, on s'assure que la performance du banc :

- i. répond aux critères que l'on s'est fixé, et
- ii. n'évolue pas significativement avec le temps.

Le cas échéant, en cas de baisse de performance, cela doit permettre aux opérateurs de régler des dysfonctionnements mineurs avant que le banc ne conduise à des résultats hors des spécifications que nous nous sommes fixés. La nature des contrôles qualité est très proche des étalons mais les gaz ne peuvent être les mêmes pour éviter une comparaison à partir de la même référence.

Description

D'abord il est nécessaire de connecter selon les spécifications du § 7.2 soit les gaz vecteurs, soit les gaz utilisés pour le contrôle qualité (**P6_1**). Une fois les gaz connectés, il faut pouvoir soit fermer l'arrivée de ceux-ci, soit ouvrir un seul d'entre eux de manière à alimenter l'aval (**P6_2**). Que ce soit pour déterminer le volume de l'archive, améliorer la phase de transfert ou préparer une archive, chacune de ces actions requiert de remplir une partie du banc automatique jusqu'à une pression cible. Pour cela, une régulation de pression du gaz est nécessaire (**P6_3**). Le gaz (vecteur ou contrôle qualité) dont la pression est régulée est connecté vers le banc automatique (**P6_4**) au niveau de la partie volumétrie (partie 4). Finalement, le débit de chaque gaz (vecteurs et QC) est régulé (**P6_5**).

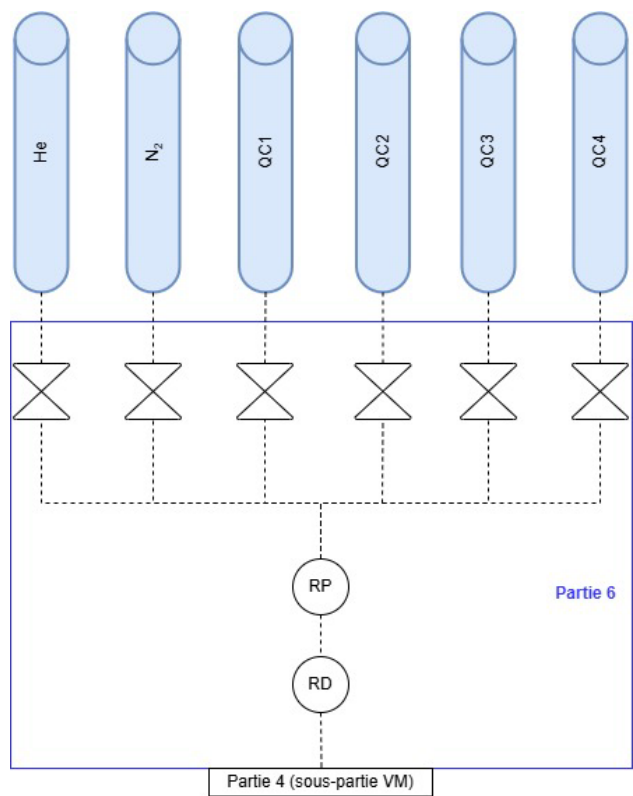


Figure 16 : Schéma de la partie gaz vecteurs et de contrôle qualité.

Tableau 9 : Liste et caractérisation des fonctions de la partie gaz vecteurs (partie 6).

ID	Fonctionnalités	Critères	Criticité
P6_1	Connecter les gaz vecteurs et bouteilles des contrôle qualité.	Connecter 2 gaz vecteurs et 4 bouteilles des contrôles qualité selon les spécifications de la partie § 7.2.	P
P6_2	Alimenter le banc en gaz.	A partir de chaque connexion, permettre soit à 1 seul des gaz (vecteur ou contrôle qualité), soit à aucun, d'être déversé vers le banc automatique.	P
P6_3	Réguler la pression des gaz	Disposer d'un moyen de réguler la pression avec les critères suivants : Composé d'un capteur de pression et d'une vanne de régulation Gamme de régulation : 1 à 2000 mbara $\pm$ 5% Pression d'entrée : 2 bara Nature de gaz : variée, doit s'adapter à la composition mélange N ₂ ou He avec différentes teneurs en gaz noble Compatible avec le tirage au vide.	P
P6_4	Alimenter le banc automatique.	Connecter l'aval du régulateur de pression au banc automatique sur la partie volumétrie (partie 4).	P
P6_5	Réguler le débit des gaz (vecteurs et QC)	Régulation de débit de la partie 6 vers la sous-partie VM de la partie 4. Débit compris entre 0,75 et 15 NL.h ⁻¹ (ordre de grandeur à confirmer lors de la définition) Nature des gaz : diazote, hélium et mélange de gaz Pression d'entrée min/max : 100 / 2000 mbara Pression de sortie min/max : 1 / 2000 mbara Compatible avec le tirage au vide.	P

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

7.4.7 Partie 7 – Gaz étalons

Objectif

Pour déterminer la teneur en Xe dans l'archive et dans la cellule, en plus de mesurer l'échantillon dans ces deux contenants, il est également indispensable de mesurer le signal de gaz étalons. C'est la raison pour laquelle il faut prévoir une partie qui permette d'introduire dans le spectromètre de masse (et uniquement le spectromètre de masse, cette partie n'est pas utile pour la mesure par chromatographie en phase gazeuse) des étalons qui couvrent l'ensemble des cas de figure.

Description

D'abord il est nécessaire de connecter toutes les bouteilles étalons (**P7_1**) selon les spécifications du § 7.2. En effet, l'étalonnage requiert d'utiliser un gaz étalon de la nature la plus proche possible de l'échantillon pour éliminer les effets de matrice. Une fois les bouteilles connectées, il faut pouvoir soit fermer l'arrivée des bouteilles soit ouvrir une seule bouteille de manière à alimenter l'aval en gaz étalon (**P7_2**). Pour que l'étalonnage du spectromètre de masse soit pertinent, il requiert de réaliser la mesure de l'étalon dans des conditions de pression les plus proches possibles de celle de l'échantillon pour limiter les effets de pression dans le spectromètre de masse. Pour cela une régulation de pression du gaz étalon est nécessaire (**P7_3**). Le gaz étalon dont la pression est régulée est connecté vers le spectromètre de masse pour y être mesuré (**P7_4**). Finalement, le volume mort de la partie « gaz étalons » doit être maîtrisé (**P7_5**) pour limiter la consommation d'étalons onéreux.

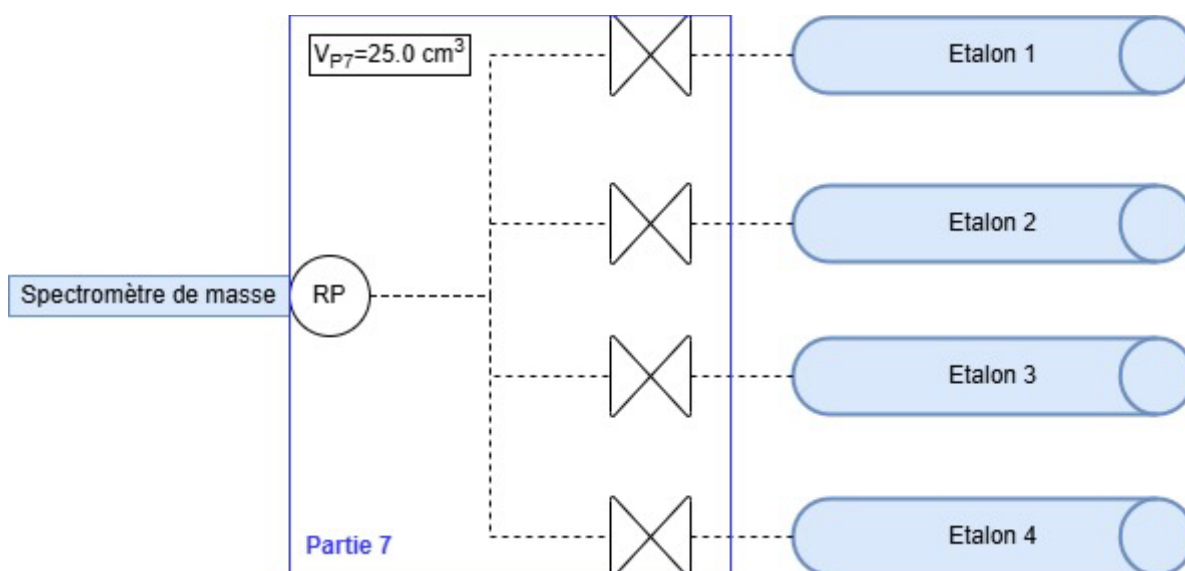


Figure 17 : Schéma de la partie gaz étalon.

Tableau 10 : Liste et caractérisation des fonctions de la partie gaz étalons (partie 7).

ID	Fonctionnalités	Critères	Criticité
P7_1	Connecter les bouteilles étalons.	Connecter 4 bouteilles étalons selon les spécifications de la partie § 7.2.	P
P7_2	Alimenter le banc en gaz étalon.	A partir de chaque connexion, permettre soit à 1 seul des étalons, soit à aucun, d'être déversé vers le spectromètre de masse.	P
P7_3	Réguler la pression des gaz étalons.	Disposer d'un moyen de réguler la pression avec les critères suivants : Composé d'un capteur de pression et d'une vanne de régulation Gamme de régulation : 1 à 2000 mbara $\pm$ 5% Pression d'entrée : 2 bara Nature de gaz : variée, doit s'adapter à la composition mélange N ₂ ou He avec différentes teneurs en gaz noble Compatible avec le tirage au vide	P
P7_4	Alimenter le spectromètre de masse.	Connecter l'aval du régulateur de pression au spectromètre de masse (voie dédiée aux étalons).	P
P7_5	Avoir un faible volume mort.	Le volume mort (ou central) de la partie gaz étalon est le plus faible possible et inférieur à 25 cm ³ .	P

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

7.4.8 Partie 8 – Vide

Objectif

Le rôle de la partie vide est de permettre de faire le vide dans les différents endroits d'intérêt du banc automatique. Le vide permet de réaliser les différentes détente gazeuses ou simplement de purger une partie d'un échantillon.

Note : le spectromètre de masse est également équipé de deux pompes à vide (une à vide primaire et l'autre à vide secondaire) qui sont utiles dans le cas de la mesure du Xe.

Description

La partie vide comprend une connexion vers la pompe à vide (**P8_1**) qui est fournie par le CEA (cf § 7.2). Elle comprend également un capteur de pression à proximité immédiate de la pompe (**P8_2**) pour évaluer le niveau de vide de celle-ci. La présence d'une vanne manuelle permet d'isoler la pompe du reste du banc automatique (**P8_3**) notamment pour les opérations de maintenance.

Le vide est ensuite apporté dans un tuyau souple adapté au vide avec un gros diamètre au plus proche du banc automatique pour limiter les pertes de charges (**P8_4**) jusqu'à un point de connexion. Ce point de connexion est relié à une vanne qui permet la gestion du vide dans les différentes parties du banc (**P8_5**). La pompe à vide est protégée à l'aide d'un limiteur de pression (**P8_6**). Un capteur de pression (**P8_7**) permet de suivre l'évolution de la pression dans les canalisations de la partie vide du banc auxquelles sont connectés les parties échantillonnage (**P8_8**), volumétrie (**P8_9**) et adsorption (**P8_10**).

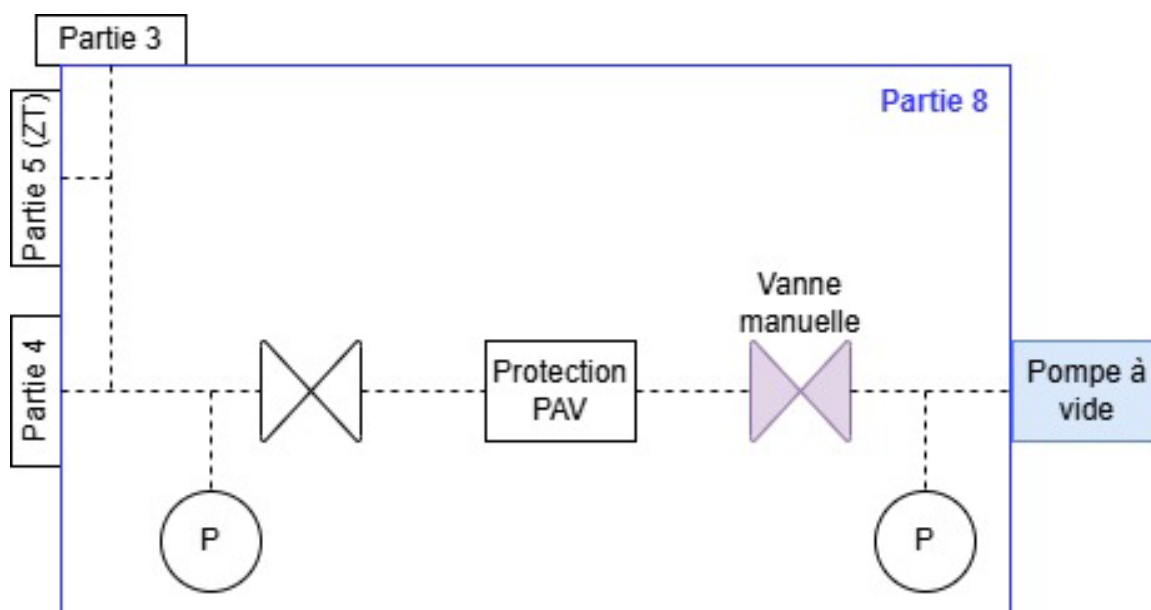


Figure 18 : Schéma de la partie vide.

Tableau 11 : Liste et caractérisation des fonctions de la partie vide (partie 8).

ID	Fonctionnalités	Critères	Criticité
P8_1	Raccorder la pompe à vide.	Raccorder la pompe à vide fourni par le CEA (cf § 7.2) avec des raccords de grand diamètre adaptés au vide secondaire.	P
P8_2	Mesurer la pression au niveau de la pompe.	Placer un capteur de pression ayant les caractéristiques suivantes au plus proche de la pompe à vide : Gamme de mesure allant de 10^{-7} mbara à 10^3 mbara avec une précision d'environ 20 % relatif.	P
P8_3	Ouvrir et fermer le vide du banc automatique manuellement.	Placer en aval du capteur de pression par rapport à la pompe à vide une vanne manuelle avec un raccord adapté au vide secondaire de grand diamètre.	P
P8_4	Apporter le vide au plus proche du banc automatique.	En partant de la vanne, apporter via un tuyau souple adapté au vide secondaire de fort diamètre le vide jusqu'à un point de connexion de plus petit diamètre (diamètre externe plus grand ou égal à ¼ de pouce).	P
P8_5	Faire circuler le gaz dans les différentes parties.	Mettre une vanne au niveau du point de connexion (cf P8_4) du côté des différentes parties du banc automatique pour permettre le vide dans chacune d'elle.	P
P8_6	Protéger la pompe à vide des surpressions.	Placer en aval de la vanne manuelle par rapport à la pompe à vide un limiteur de pression. Pression maximum admise au niveau de la pompe : 1 mbara	P
P8_7	Mesurer la pression dans les canalisations de la partie vide.	Placer en aval de la vanne de « distribution » (cf P8_5) par rapport à la pompe à vide un capteur de pression. Gamme de mesure 10^{-2} à 1100 mbar absolus $\pm 5\%$. Résistance mécanique du capteur de pression jusqu'à 5000 mbar absolu. Permettre de contrôler et piloter l'isolation du capteur de la pompe à vide afin de réaliser la mesure du vide dans le banc automatique soit en dynamique soit en statique.	P
P8_8	Faire le vide dans la partie échantillonnage (partie 3).	Connecter le point de connexion à la partie échantillonnage (partie 3).	P
P8_9	Faire le vide dans la partie volumétrie (partie 4).	Connecter le point de connexion à la partie volumétrie (partie 4).	P
P8_10	Faire le vide dans la partie adsorption (partie 5).	Connecter le point de connexion à la partie adsorption (partie 5).	P

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

7.4.9 Partie 9 – Mesure des conditions ambiantes

Objectif

Pour permettre de garantir le bon fonctionnement du banc d'une part, et pour la détermination du rendement de transfert d'autre part, il est nécessaire de mesurer les conditions ambiantes de fonctionnement du banc. Pour cela, la température du laboratoire et son humidité sont mesurées en continu. Suivre les paramètres environnementaux du banc automatique (température et hygrométrie du laboratoire). C'est notamment grâce à cette partie que les paramètres T^{Arch} et T^{Cel} sont déterminés pour le calcul du rendement de transfert.

Description

Pour vérifier les conditions ambiantes, équiper le banc automatique d'un capteur de température (**P9_1**), positionner la sonde judicieusement (**P9_2**) pour obtenir des valeurs de T^{Arch} et T^{Cel} pertinentes et mesurer également l'humidité du laboratoire (**P9_3**) dans lequel se trouve le banc automatique.

Tableau 12 : Liste et caractérisation des fonctions de la partie conditions ambiantes (partie 9).

ID	Fonctionnalités	Critères	Criticité
P9_1	Mesurer la température.	Etre équipé d'un capteur de température adapté à la mesure de la température ambiante avec les caractéristiques suivantes : - Gamme de température : 0 – 50°C ; - Incertitude absolue : $\pm 0,1^\circ\text{C}$.	P
P9_2	Positionner la sonde à un endroit d'intérêt.	Positionner la sonde de température à proximité de la position de l'archive et de la cellule.	P
P9_3	Mesurer l'hygrométrie au voisinage proche du banc.	Etre équipé d'un hygromètre adapté à la mesure de l'humidité dans un laboratoire avec les caractéristiques suivantes : - Gamme de point de rosé : -3 – 40 °C ; - Incertitude relative 5 %.	I

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

7.4.10 Aperçu général du sous-système procédé

A toutes fins utiles, un exemple du P&ID est indiqué à la Figure 19. Ce P&ID ne peut être considéré comme contractuel. Il s'agit d'un support pour permettre aux soumissionnaires d'apprécier plus facilement l'envergure de l'actuel projet. Les critères définis dans les paragraphes précédents prévalent sur le schéma indiqué ici.

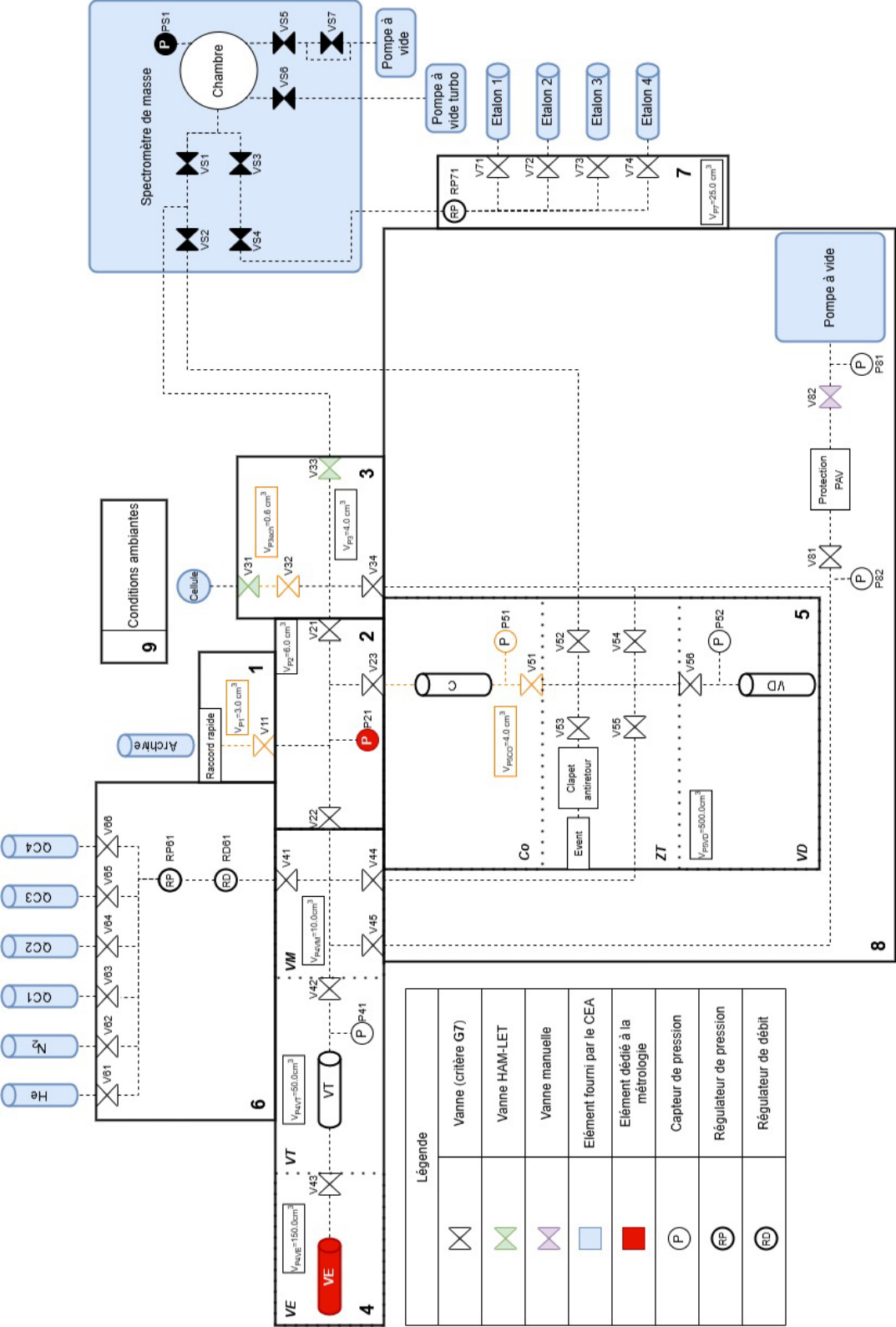


Figure 19. Exemple de P&ID du banc automatique.

7.5. Sous-système « contrôle commande »

Il est question ici de présenter les aspects du cahier des charges du banc automatique qui concernent le sous-système contrôle commande.

7.5.1 Généralités

Le contrôle commande est constitué de tous les éléments permettant :

- de visualiser le fonctionnement du banc automatique via un synoptique ;
- de piloter le banc soit selon une recette par un contrôle automatique soit par un contrôle manuel ;
- de paramétrer et lancer les recettes préprogrammées ;
- de visualiser précisément l'avancement d'une recette ;
- d'enregistrer les résultats obtenus pour l'ensemble des échantillons et des recettes réalisées ;
- de représenter les valeurs des capteurs sous forme de série temporelle ;
- de paramétrer les éléments nécessaires au fonctionnement du banc ;
- de paramétrer les informations notamment métrologiques ;
- de paramétrer les consignes et seuils de sécurité à appliquer ;
- de faire remonter les anomalies et le cas échéant mettre le système en sécurité.

Pour rappel, comme indiqué précédemment (§ 7) le contrôle commande est constitué de 2 parties : l'Automate Programmable Industriel (API) et la supervision.

7.5.2 Définitions générales liées au contrôle commande

API : Automate Programmable Industriel, ou API, est un système électronique numérique programmable destiné au contrôle de procédés industriels par traitement séquentiel. Il envoie des instructions à des pré actionneurs à partir d'entrées, de consignes et d'un programme informatique.

IHM : Interface Homme Machine est une interface utilisateur ou un panneau de commande qui relie une personne à une machine (dans le cas présent, la sous partie procédé du banc automatique).

Supervision : logiciel qui permet de réaliser l'IHM et qui regroupe l'essentiel des fonctionnalités du sous-système contrôle commande.

Synoptique : schéma du P&ID complet du banc automatique présent dans la supervision qui offre une vue d'ensemble de ce dernier ainsi que de son fonctionnement.

Mode (de pilotage) automatique : mode de travail dans lequel le contrôle commande pilote les différents éléments à partir d'une recette déterminée par un opérateur à partir de l'automate.

Mode (de pilotage) manuel : mode de travail dans lequel le contrôle commande pilote les différents éléments à partir de consignes données directement par un opérateur notamment grâce à l'IHM.

Mode opérateur : mode de navigation standard dans la supervision qui permet d'accéder uniquement aux champs nécessaires pour réaliser des actions élémentaires et des recettes simples en mode nominal.

Mode expert : mode de navigation avec les droits les plus élevés dans la supervision qui permet d'accéder à toutes les fonctionnalités de celle-ci.

Etape : opération unitaire rythmée par une durée limitée ou une condition à atteindre correspondant à un ensemble de consignes données aux différents éléments de contrôles du système.

Séquence : ensemble de plusieurs étapes permettant de réaliser un processus élémentaire plus complexe.

Recette : ensemble de plusieurs séquences permettant de réaliser un traitement complet, qui correspond à une somme de séquence, souhaité par un opérateur.

7.5.3 Automate Programmable Industriel (API)

L'API est constitué de tous les éléments hardware et software permettant de prendre le contrôle du système. Dans la suite de ce document nous présentons les critères purement matériels puis les fonctionnalités auxquelles doit répondre l'API.

7.5.3.1. Aspects matériels

ID	Fonctionnalités	Critères	Criticité
API M1	Limiter les systèmes informatiques	Utiliser l'ordinateur du spectromètre de masse pour supporter l'interface et l'automate.	P
API M2	Etre propriétaire des licences	Le cas échéant, fournir au CEA le logiciel automate avec sa licence pour permettre les modifications sur le système informatique support.	P
API M3	Avoir une interface graphique pour la supervision	Utiliser un logiciel d'interface comme Panorama ou tout autre logiciel permettant d'obtenir une IHM ergonomique.	P
API M4	Utiliser un logiciel utilisable par des sociétés tierces	Utiliser soit un logiciel commercial pour les critères API, soit attester que le code source pourra être fourni et modifiable pour une société tierce.	P

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

7.5.3.2. Aspects fonctionnels

ID	Fonctionnalités	Critères	Criticité
API F1	Piloter le banc automatique	Fait fonctionner le banc en automatique ou en manuel	P
API F2	Naviguer dans les répertoires	Permettre de naviguer dans les répertoires d'intérêt (code automate, données enregistrées, ...)	P
API F3	Modifier la date et heure du système	Permettre de modifier la date et l'heure du système La date et heure du banc automatique est unique et est synchronisée entre tous les sous-systèmes	P
API F4	Modifier le code automate par le CEA	Comme l'ordinateur ne sera pas relié au réseau internet, il doit être possible de modifier le code par le personnel CEA selon un protocole défini par le Titulaire (maintenance, modification, ...).	P
API F5	Code non limité au Titulaire	Le Titulaire, ou son prestataire, ne peuvent pas être les seules sociétés compétentes pour modifier la programmation de l'automate. Ce code doit être modifiables par des sociétés concurrentes.	P
API F6	Installation hors internet	Compte-tenu du fait que l'ordinateur soit hors réseau, le Titulaire installe et fournit le protocole d'installation de tous les moyens informatiques (logiciels sous licences, codes, configuration, ...) en mode « stand alone » c'est-à-dire sans avoir besoin d'une connexion internet	P
API F7	Mode d'utilisation de la supervision	Il y a deux modes d'utilisation de la supervision, un mode expert qui donne accès à toutes les fonctionnalités et un mode opérateur qui a uniquement accès aux fonctionnalités essentielles	P

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

7.5.4 Supervision

7.5.4.1. Généralités

Le logiciel de supervision présente *a minima* 9 volets pour le suivi, le contrôle et le pilotage du banc automatique. Ces 9 volets sont schématisés ci-dessous.

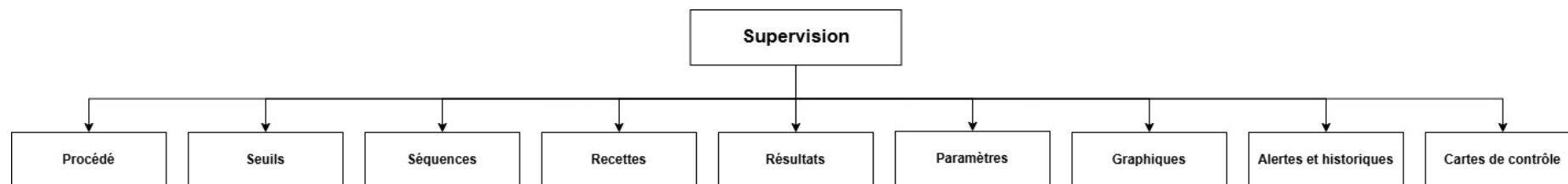


Figure 20. Les 9 volets de supervision du banc automatique.

API G1	Avoir une interface graphique pour la supervision.	Permettre de réaliser tous les critères de la supervision avec une interface graphique et les volets présentés après.	P
API G2	Avoir une cohérence dans l'interface de la supervision.	Dans la mesure du possible, tous les critères doivent être rassemblés dans l'interface graphique ; toutefois, il est acceptable que les données de certains volets (comme seuils, séquences, paramètres, alertes et historiques) se présentent sous forme de tableur tant que toutes les autres fonctionnalités sont respectées.	S

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

7.5.4.2. Volet « Procédé »

L'objectif de ce volet est de permettre à un opérateur de visualiser sur un synoptique le déroulement d'une recette ou rapidement et clairement l'évolution du procédé dans le temps et le cas échéant de prendre la main pour réaliser des modifications manuelles. En particulier, le volet procédé permet de :

ID	Fonctionnalité	Critère	Criticité
API-V1 1	Accessibilité et modifications	Le volet « Procédé » est accessible pour consultation à tout utilisateur. Les modifications d'état des éléments du banc automatique sont réservées aux opérateurs en mode expert.	P
API-V1 2	Visualiser l'évolution du procédé dans le temps	Représente le banc automatique sous forme de synoptique (exemple indiqué à la Figure 21) et : - indique le mode d'utilisation opérateur/expert en permettant de passer de l'un à l'autre - indique en temps réel les valeurs de consignes et mesurées - indique en temps réel le sens de circulation du fluide - indique le mode de pilotage (manuel ou automatique) <i>Les détails concernant la visualisation de l'évolution du procédé dans le temps seront déterminés dans le dossier de conception détaillé.</i>	P
API-V1 3	Contrôler manuellement les actionneurs et régulateurs	A tout moment, l'utilisateur peut sélectionner -sur le schéma ou sur un zoom- un actionneur ou un régulateur et changer manuellement son état ou sa consigne. Dans ce cas, les éléments modifiés sont clairement identifiables dans le synoptique. Dans le cas d'un pilotage automatique, l'utilisateur peut rendre la main sur des commandes manuelles par un bouton RAZ (remise à zéro) <i>Les détails concernant la prise de contrôle manuelle/automatique du banc automatique seront déterminés dans le dossier de conception détaillé.</i>	P
API-V1 4	Informers sur l'état de fonctionnement du banc automatique	Indique la date, l'heure, les 5 dernières alertes ou alarmes non acquittées. Le cas échéant, le numéro de séquence, de l'étape, sa durée et son avancement (en %).	P

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

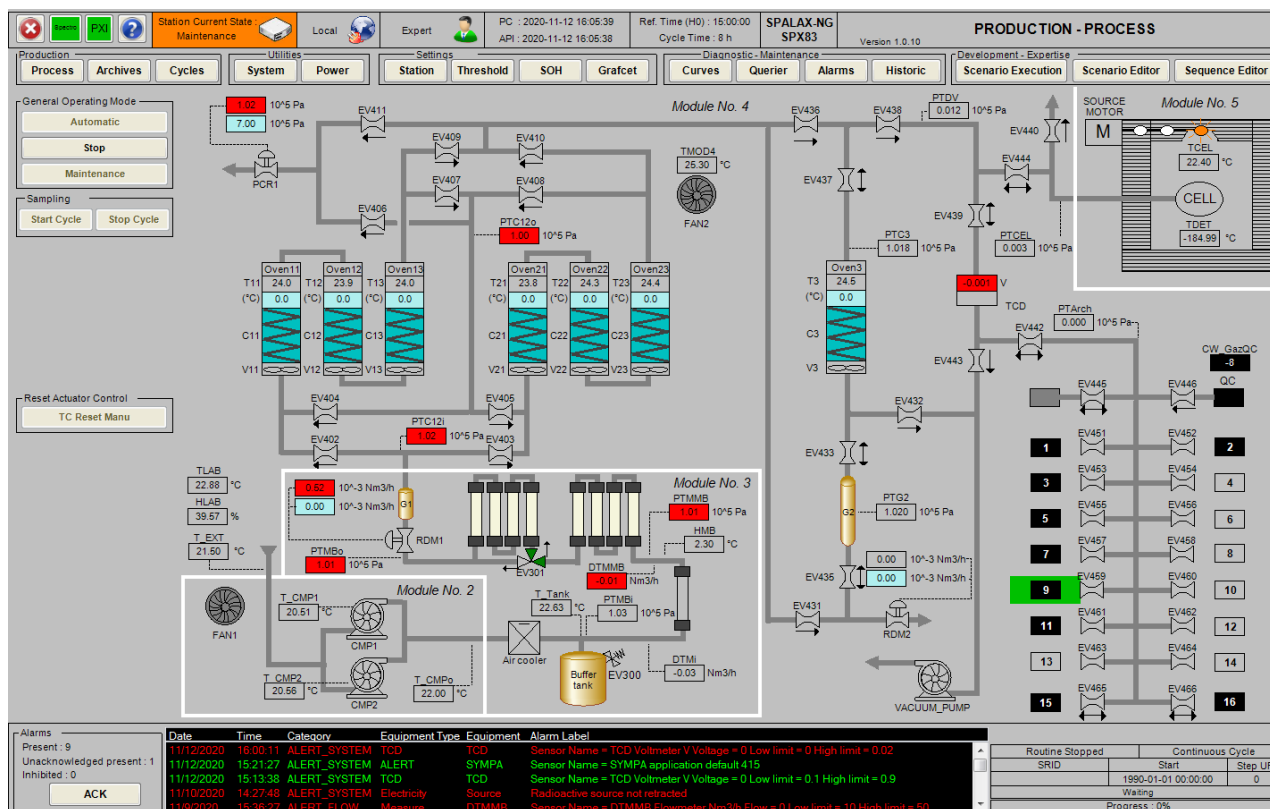


Figure 21. Exemple de synoptique pour le volet procédé.

7.5.4.3. Volet « Seuils »

L'objectif de ce volet est de renseigner les informations liées à la régulation et aux conditions d'alerte et de sécurité (processus et sécurité). Les fonctionnalités de ce volet sont regroupées dans le tableau ci-après.

ID	Fonctionnalité	Critère	Criticité
API-V2 1	Accessibilité et modifications	Le volet « Seuils » est accessible à tout utilisateur. Les modifications sont réservées aux opérateurs en mode expert.	P
API-V2 2	Affiche les valeurs de consignes	Indique dans l'onglet « Seuils » les valeurs des consignes des régulations en température, débit et pression. Indique une seule valeur si celle-ci est générique pour l'ensemble des recettes, sinon indique autant de consignes par élément de régulation que cela est nécessaire (exemple : une seule température de consigne, mais plusieurs consignes de pression sur un seul régulateur en fonction de la nature de l'archive à traiter). <i>Les détails de l'affichage des valeurs des consignes seront déterminés dans le dossier de conception détaillé</i>	P
API-V2 3	Affiche les valeurs des conditions d'alerte et de sécurité	Indique dans l'onglet « Seuils » les valeurs des conditions d'alerte et de sécurité auxquelles l'automate doit répondre. Cela concerne : - Les seuils d'alerte et de sécurité (température, pression ... limites d'alerte et de sécurité) ainsi que les conditions de déclenchement (temporisation) de la matrice de sécurité sur les différents régulateurs et capteurs ;	P

		- Les valeurs seuils de bon fonctionnement pour la réalisation du process (valeurs limites des tests d'étanchéité, ...). <i>Les détails de l'affichage des valeurs des conditions d'alerte et de sécurité seront déterminés dans le dossier de conception détaillé</i>	
API-V2 4	Modifier les seuils	En mode expert, permet de changer les informations renseignées dans le volet « Seuils ». A chaque modification, crée un fichier qui archive les différentes versions et qui puisse être nommé, importé et exporté en mode expert.	P

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

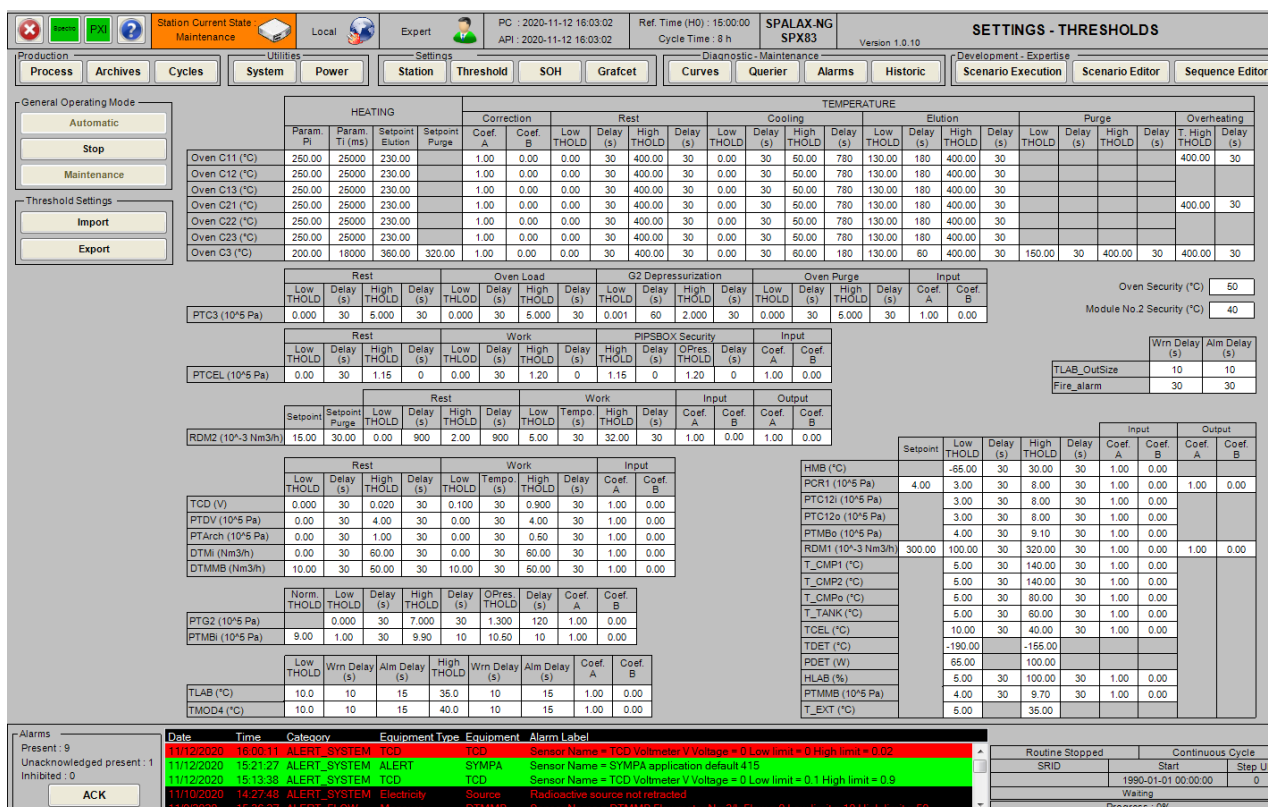


Figure 22 : Exemple de synoptique pour le volet seuils.

7.5.4.4. Volet « Séquences »

Le rôle de ce volet est de visualiser/ajuster la préparation des séquences de l'automate. Les différents critères auxquels ce volet doit répondre sont indiqués ci-après.

ID	Fonctionnalité	Critère	Criticité
API-V3 1	Accessibilité et modifications	Le volet « Séquences » est accessible à tout utilisateur. Les modifications sont réservées aux opérateurs en mode expert.	P
API-V3 2	Visualiser les séquences	Pour chaque séquence, fait apparaître le nom et la durée de chaque étape ainsi que les conditions de d'exécution le cas échéant. <i>Les détails de la visualisation des séquences seront déterminés dans le dossier de conception détaillé</i>	P
API-V3 3	Modifier les séquences	En mode expert, permet de changer la durée ou les conditions d'exécution (temporisation, température de chauffage, débit, pressions cibles, etc...). A	P

		chaque modification, crée un fichier qui archive les différentes versions et qui puisse être nommé, importé et exporté en mode expert. <i>Les détails de la modification des séquences seront déterminés dans le dossier de conception détaillé</i>	
--	--	--	--

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

7.5.4.5. Volet « Recettes »

Le rôle de ce volet est de gérer le lancement des séquences de l'automate. Ses principales fonctionnalités sont les suivantes :

ID	Fonctionnalité	Critère	Criticité
API-V4 1	Accessibilité du volet	Ce volet est accessible en mode opérateur et expert. Les détails de ce que l'opérateur peut ou ne peut pas faire seront déterminés dans le dossier de conception détaillé.	P
API-V4 2	Lancement d'une recette	Ce volet est constitué de sous volets qui correspondent aux recettes à réaliser. Pour lancer une recette, après l'avoir choisi, paramétrer les options de transfert et mesure (type d'archive, mesure spectromètre, ...) et lancer la recette immédiatement. Enregistre les données automatiquement au lancement de la recette. <i>Les détails du lancement des différentes recettes seront déterminés dans le dossier de conception détaillé</i>	P
API-V4 3	Affichage de l'interface	Pour une recette donnée, l'interface est constituée de quatre parties regroupées dans un tableau : - la liste des séquences à réaliser pour réaliser la recette, - les paramètres associés à chaque séquence pour la bonne réalisation de ceux-ci, - les résultats obtenus pour la séquence en question, - et l'état d'accomplissement des différentes séquences.	P
API-V4 4	Suivre l'état des séquences	Affiche les différentes séquences d'une recette et leur état (ex : en cours, terminée, en attente ...) dans la partie des états (cf Figure 23).	P
API-V4 5	Gestion des erreurs des recettes	En cas d'apparition d'un message d'erreur, il doit être possible d'opérer manuellement le banc automatique, uniquement en mode expert et choisir une étape pour poursuivre le traitement et la mesure ceci afin d'éviter de perdre l'échantillon au cours du traitement. <i>Les détails de la gestion des erreurs seront déterminés dans le dossier de conception détaillé</i>	P
API-V4 6	Possibilité de traiter des échantillons en deux temps	Certains paramètres de séquences impliquent que le traitement et la mesure puisse être réalisés en deux temps distincts. Ce volet permettra de réaliser ce type de traitement.	P
API-V4 7	Compléter une mesure	Permettre de réaliser des opérations sur un même échantillon en plusieurs temps ou de fournir des	P

		informations issues de systèmes externes (exemple chromatographie en phase gaz). Par exemple, avoir en tête qu'un échantillon peut être transféré et qu'il ne soit possible de réaliser la mesure de la composition de la cellule qu'après avoir réalisé la mesure nucléaire. <i>Les détails pour compléter une mesure, que ce soit par des informations un complément de protocole seront déterminés dans le dossier de conception détaillé</i>	
--	--	--	--

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

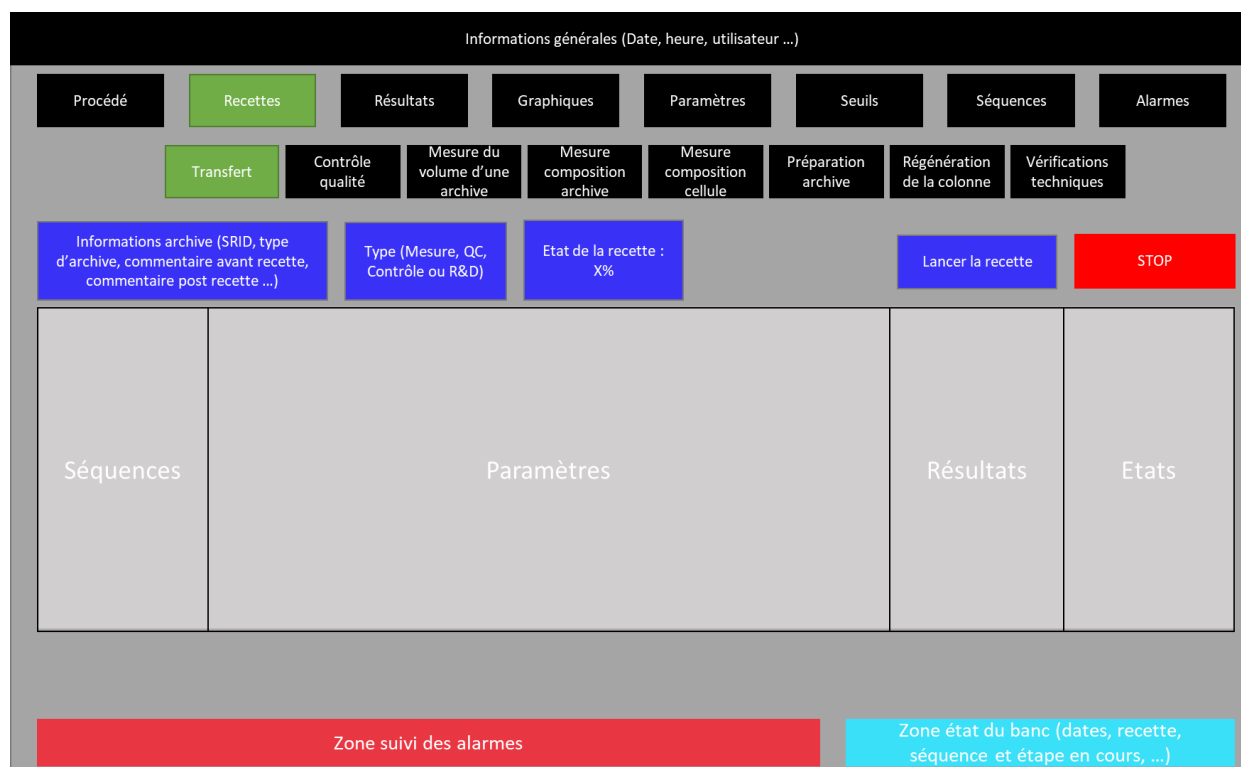


Figure 23 : Exemple de synoptique pour le volet recettes.

7.5.4.6. Volet « Résultats »

Le rôle de ce volet est de gérer les données et l'enregistrement des données liées au fonctionnement de l'automate. Les différents critères auxquels ce volet doit répondre sont indiqués ci-après.

ID	Fonctionnalité	Critère	Criticité
API-V5 1	Accessibilité et modifications	Le volet « Résultats » est accessible à tout utilisateur. Les modifications sont réservées aux opérateurs en mode expert.	P
API-V5 2	Regrouper les résultats	Permettre de visualiser/modifier les résultats en les regroupant soit par SRID (échantillon) (1 ^{er} niveau) et date (2 nd niveau). <i>Les détails de la stratégie de regroupement des résultats seront déterminés dans le dossier de conception détaillé</i>	P
API-V5 3	Types de données enregistrées	Pour chaque SRID, enregistrer dans un répertoire du système d'exploitation : - les valeurs des capteurs obtenues et l'état des vannes au cours des recettes	P

		(fusionner l'ensemble des séquences réalisées au cours de la recette) ; - les résultats calculés pour chaque paramètre d'intérêt lors des différentes séquences (composition, volume, pression, ...) Si différentes recettes sont appliquées à un même échantillon (même SRID), créer une arborescence en précisant les dates et heures de réalisation de la recette. <i>Les détails de la stratégie d'enregistrement des données seront déterminés dans le dossier de conception détaillé</i>	
API-V5 4	Consultation des résultats	Permet de sélectionner les résultats d'une mesure avec un certain nombre de filtre (SRID, date, type de mesure, opérateur, ...) et affiche les résultats calculés et des valeurs obtenues pendant le procédé tout en permettant de personnaliser les colonnes de résultats. <i>Les détails de la consultation des résultats seront déterminés dans le dossier de conception détaillé</i>	P
API-V5 5	Affichage des données des capteurs, régulateurs et statuts	Permet, en sélectionnant les résultats d'une recette, de visualiser les données de l'ensemble des capteurs, consignes des éléments de régulation et statuts des vannes tout en permettant de zoomer, changer d'axe, scroller, ... <i>Les détails de l'affichage des données seront déterminés dans le dossier de conception détaillé</i>	P
API-V5 6	Modification des résultats	Permet à un utilisateur en mode expert de compléter des résultats déterminés par des systèmes externes (chromatographie en phase gaz, volume d'une archive, ...).	P
API-V5 7	Verrouiller les données	Prévoir un bouton qui permet de verrouiller les données après validation de ces dernières par un opérateur.	P
API-V5 8	Enregistrer les données	Permet grâce à un bouton, d'enregistrer/arrêter l'enregistrement uniquement des données des capteurs et états des vannes lors du pilotage du banc automatique en mode manuel. Le nom du fichier sera indiqué par l'opérateur. Donner la possibilité d'ajouter des commentaires associés au fichier enregistré.	P
API-V5 9	Définir la fréquence d'enregistrement	Enregistrer les données des capteurs et états à raison de 1 Hz par paramètre.	P

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

7.5.4.7. Volet « Paramètres »

Le rôle de ce volet est de gérer les différents paramètres nécessaires au bon fonctionnement du banc automatique. Les différents critères auxquels ce volet doit répondre sont indiqués ci-après.

ID	Fonctionnalité	Critère	Criticité
API-V6 1	Accessibilité et modifications	Le volet « Paramètres » est accessible à tout utilisateur. Les modifications sont réservées aux opérateurs en mode expert.	P
API-V6 2	Affiche les informations générales	Indique dans le volet « Paramètres » les informations générales du banc à savoir les différents opérateurs, la nature des archives	P

		traitées (SAUNA I, SAUNA II, SPALAX, ...), types de mesures (PTE, QC, R&D, ...), liste du matériel et valeurs associées (nom des connecteurs et volume mort de chacun d'eux, nom des cellules de mesures et volume mort associé, ...). <i>Les détails de l'affichage des informations générales seront déterminés dans le dossier de conception détaillé</i>	
API-V6 3	Affiche les informations liées aux gaz étalons	Indique pour chaque étalon (chaque entrée) la composition et son incertitude associée.	P
API-V6 4	Affiche les informations liées aux gaz des contrôles qualité	Indique pour chaque gaz servant aux contrôles qualité (chaque entrée) la composition et son incertitude associée.	P
API-V6 5	Affiche les informations liées aux différents volumes du banc automatique	Indique les volumes et incertitudes de chaque élément d'intérêt du banc (volumes morts, volumes tampons et étalons, ...).	P
API-V6 6	Affiche les informations liées aux étalonnages des différents capteurs	Indique pour chaque capteur, les paramètres d'étalonnage permettant le cas échéant la conversion de la valeur lue en valeur réelle (fonction mathématique, gamme, unité, ...) ainsi que les informations associées permettant de déterminer les incertitudes.	P
API-V6 7	Affiche les informations liées aux éléments de régulation	Indique pour chaque élément de régulation les réglages PID (proportionnels, intégrales et différentiels).	P
API-V6 8	Affiche les informations utiles aux différents calculs	Indique tous les paramètres utiles, notamment pour la réalisation des différents calculs des valeurs ainsi que des incertitudes associées.	P
API-V6 9	Modifier les paramètres	En mode expert, permet de changer les informations renseignées dans le volet « Paramètres ». A chaque modification, crée un fichier qui archive les différentes versions et qui puisse être nommé, importé et exporté en mode expert.	P

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

7.5.4.8. Volet « Graphiques »

Le rôle du volet graphique est d'afficher sous forme de graphique les données des différents éléments du banc en direct (modulo une mémoire tampon).

ID	Fonctionnalité	Critère	Criticité
API-V7 1	Accessibilité et modifications	Le volet « Graphiques » est accessible et peut-être modifié par tout utilisateur.	P
API-V7 2	Visualiser l'évolution des valeurs des capteurs et des régulateurs en direct	Affiche les valeurs des différents capteurs et consignes sur un graphique constitué de plusieurs ordonnées.	P
API-V7 3	Ergonomie de visualisation	Le graphique doit permettre : - De choisir le ou les capteurs à représenter (maximum 5 paramètres en simultané) ; - D'ajuster l'échelle en x (pour toutes les données) et en y (individuellement) pour chaque paramètre ; - De zoomer et dézoomer ; - De faire « glisser » les données (scroll) ; - De pré-enregistrer des modes de visualisation prédéfinis.	P

		Les détails concernant l'ergonomie de visualisation seront déterminés dans le dossier de conception détaillé.	
API-V7 4	Tamponner les données	Conserve une mémoire tampon de 72 h l'état des différentes vannes, les données des capteurs et régulateur permettant d'afficher les valeurs passées sur cet intervalle.	P

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

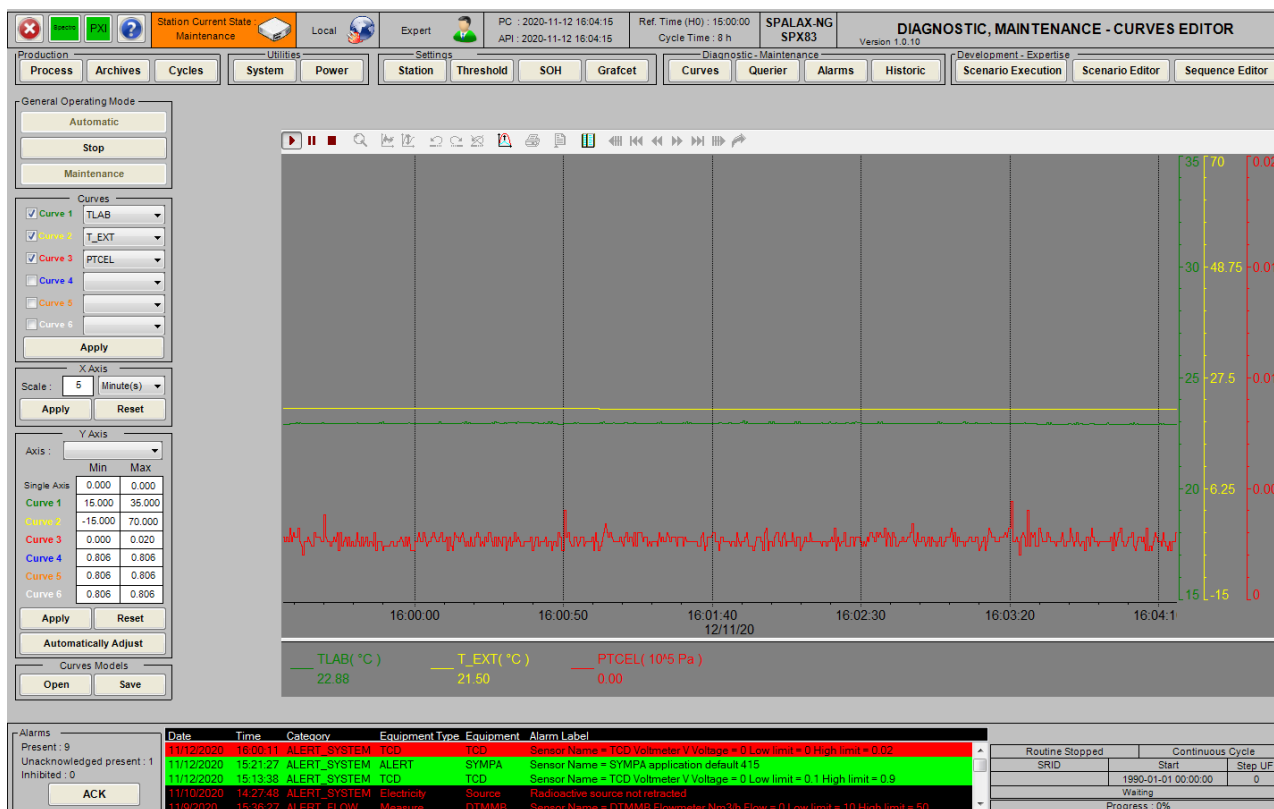


Figure 24 : Exemple de synoptique pour le volet graphiques.

7.5.4.9. Volet « Alertes et historiques »

Le rôle du volet « alerte et historique » est d'indiquer tous les messages liés à la sécurité et au fonctionnement du banc automatique et de l'automate. Cela doit permettre soit d'aider l'utilisateur dans la résolution dans le cas de dysfonctionnement, soit de permettre d'avoir un historique des modifications réalisées. Un exemple de représentation est indiqué à la Figure 25 et Figure 26.

Concernant les alertes et l'historique, ce volet doit permettre :

- D'indiquer un message relatif à un dysfonctionnement ou à un statut (activation d'une méthode, alerte de sécurité, seuil atteint, ...) ;
- D'indiquer la date et l'heure d'apparition de l'évènement ;

ID	Fonctionnalité	Critère	Criticité
API-V8 1	Accessibilité et modifications	Le volet « Alertes » est accessible à tout utilisateur. Les modifications (réarmement/acquittement) sont réservées aux opérateurs en mode expert.	P
API-V8 2	Alerter sur un événement	Indique un message relatif à un dysfonctionnement ou à un statut (activation d'une méthode, alerte de sécurité, seuil atteint, ...).	P
API-V8 3	Horodater l'évènement	Indique la date et l'heure d'apparition d'un événement.	P
API-V8 4	Acquitter les alarmes	Acquitte les alarmes et réarme le banc automatique (uniquement en mode expert).	P

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

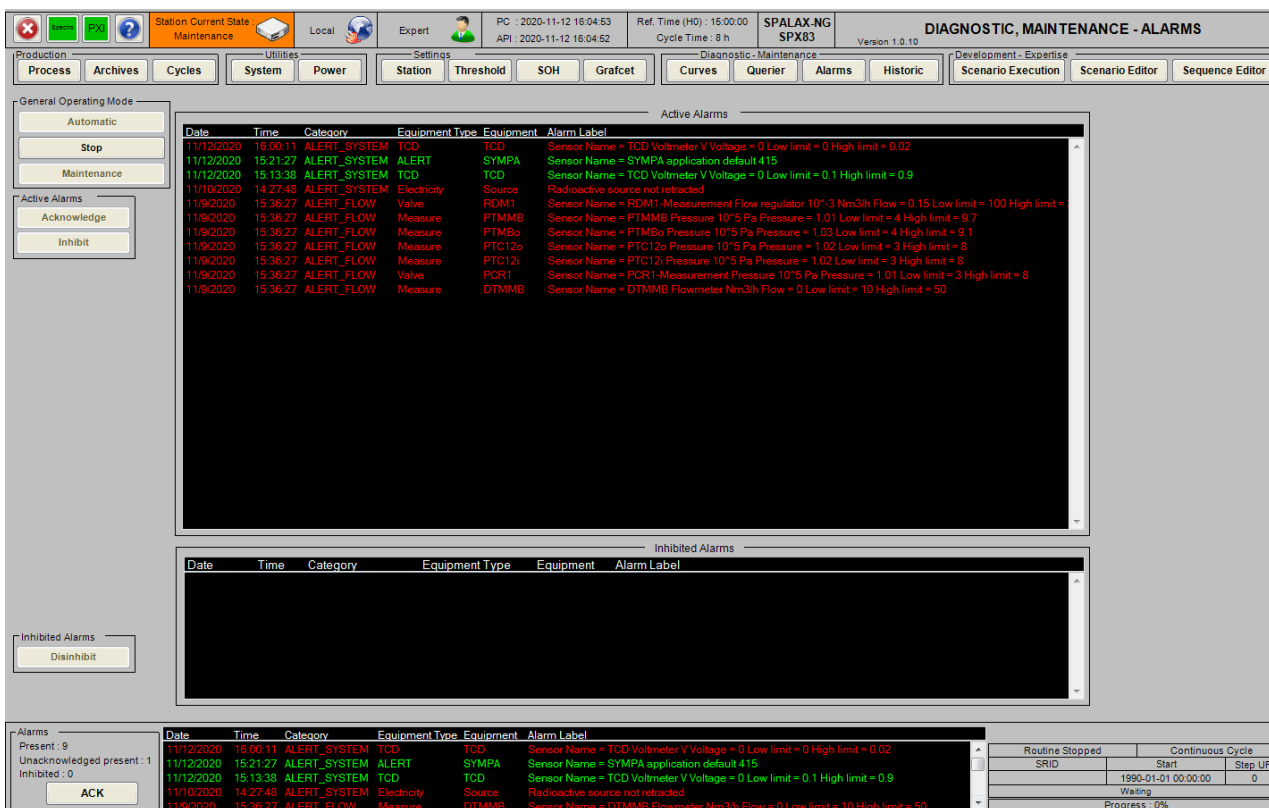


Figure 25 : Exemple de synoptique pour le volet alarmes.

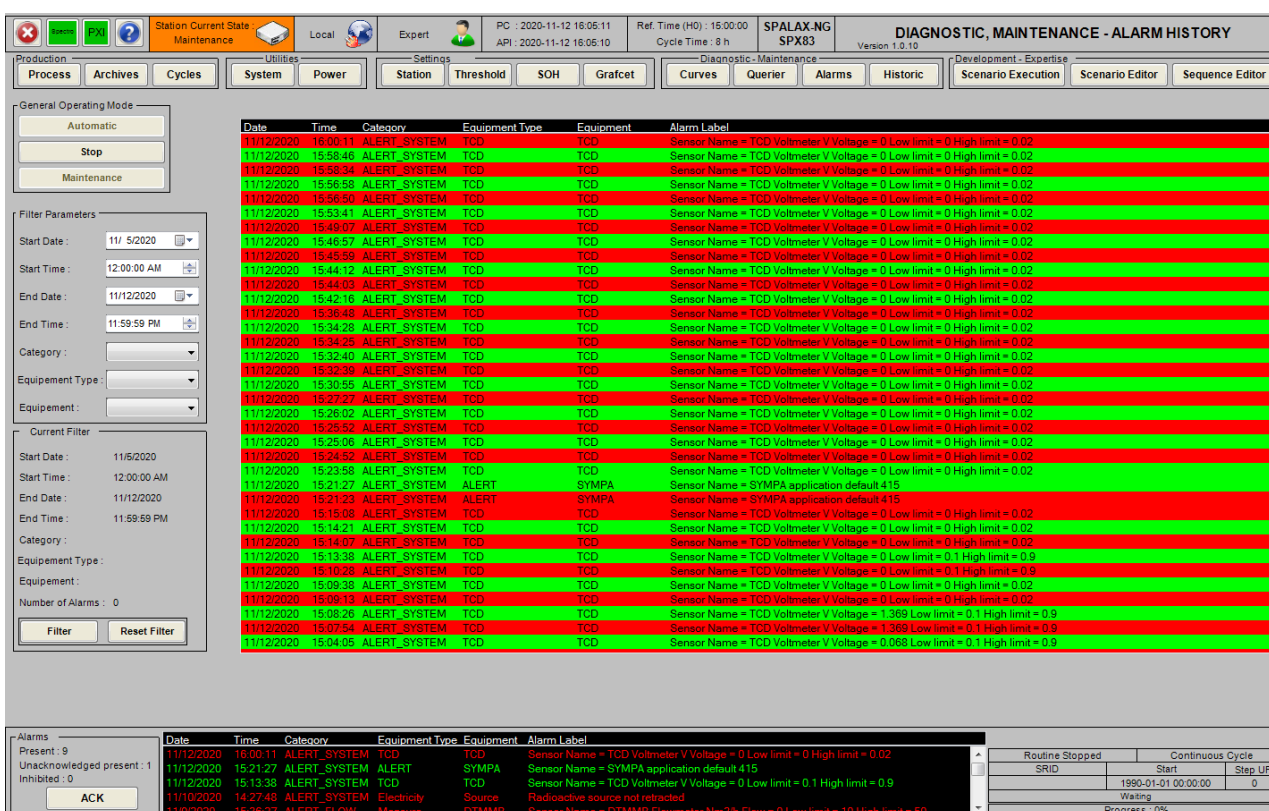


Figure 26 : Exemple de synoptique pour le volet historique.

7.5.4.10. Volet « Cartes de contrôle »

Le rôle de ce volet est de suivre l'état de fonctionnement du banc à l'aide de cartes de contrôle.

ID	Fonctionnalité	Critère	Criticité
API-V9 1	Accessibilité et modifications	Le volet « Cartes de contrôle » est accessible à tout utilisateur. Les modifications sont réservées aux opérateurs en mode expert.	P
API-V9 2	Consultation des résultats liés aux cartes de contrôles	Permet d'afficher, regrouper et filtrer les résultats concernant les éléments suivants : - Tests d'étanchéité partie par partie ; - Performance de l'adsorbant ; - Résultats des contrôles qualité. Ces données sont générées par la recette « Vérifications techniques » et « Contrôle qualité ». <i>Les détails de la consultation des résultats liés aux cartes de contrôles seront déterminés dans le dossier de conception détaillé</i>	P
API-V9 3	Export des données	Permet d'exporter les données d'un tableau filtré par un utilisateur.	P
API-V9 4	Affichage des cartes de contrôle	Pour un certain nombre d'éléments définis, afficher les cartes de contrôles (graphique indiquant l'évolution d'une performance dans le temps) en ayant la possibilité de fixer par l'opérateur : - les limites min et max de contrôle et de tolérance ; - de filtrer par sous ensemble (exemple : type de station). - d'ajouter/supprimer (en mode expert) des commentaires datés pour aider à comprendre des évolutions particulières dans les cartes de contrôle. <i>Les détails de l'affichage des cartes de contrôle seront déterminés dans le dossier de conception détaillé</i>	P

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

7.5.5 Recettes du banc

Il est question ici de décrire les recettes classiques qui pourront notamment être lancées par un opérateur. Pour rappel, chaque recette est constituée d'un ensemble de séquence. Les séquences qui constituent les recettes seront détaillées dans le § 7.5.6. Voici les recettes qui doivent impérativement être présentes ainsi qu'un bref descriptif :

- Transfert : permet de réaliser le transfert et la mesure du contenu d'une archive ;
- Contrôle qualité : remplit une archive pré-installée sur le banc automatique à partir d'un gaz utilisé comme contrôle qualité puis réalise les mêmes opérations que dans le cadre d'un transfert pour s'assurer de la performance du banc automatique dans des conditions maîtrisées ;
- Mesure du volume d'une archive : permet exclusivement de déterminer le volume d'une archive ;
- Mesure composition archive : permet de déterminer la teneur de différents éléments d'une archive ;
- Mesure composition cellule : permet de déterminer la teneur de différents éléments dans la cellule de mesure ;
- Préparation archive : permet de remplir une archive avec un gaz connu (gaz de type contrôle qualité) dans des conditions de pression et de température maîtrisées ;
- Régénération de la colonne : permet de régénérer la colonne d'adsorption pour purger les impuretés ;
- Vérifications techniques : permet de réaliser des diagnostics sur les différentes parties du banc automatique (taux de fuite, vérification performance adsorbant, ...) ;

ID	Type	Description	Criticité
R1	Définir les recettes	Le banc automatique doit pouvoir réaliser les 8 recettes indiquées ici. Ces recettes apparaissent à l'IHM et répondent aux critères du § 7.5.4.5. <i>Les détails des recettes seront déterminés dans le dossier de conception détaillé</i>	P

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

Les figures présentées dans le §7.5.5 sont données à titre d'exemple.

7.5.5.1. Transfert

La recette « transfert » (Figure 27) permet de transférer de manière automatique le xénon présent dans une archive de l'OTICE vers une cellule de mesure. La pression initiale de l'archive, la composition initiale de l'archive, la composition finale de la cellule et le volume de l'archive sont déterminés au cours de la recette.

Informations générales (Date, heure, utilisateur ...)

Procédé

Recettes

Résultats

Graphiques

Paramètres

Seuils

Séquences

Alarmes

Transfert

Contrôle qualité

Mesure du volume d'une archive

Mesure composition archive

Mesure composition cellule

Préparation archive

Régénération de la colonne

Vérifications techniques

Informations archive (SRID, type d'archive, commentaire avant recette, commentaire post recette ...)

Type (Mesure, QC, Contrôle ou R&D)

Etat de la recette : X%

Lancer la recette

STOP

Séquences	Paramètres séquence	Résultats	Etat
S1 Connexion	Connexion sous boîte à gant : oui/non (SAUNA et Xe int)	...	✓
S2 Mesure de la pression		Pressions mesurée, pression calculée, ...	✓
S3 Mesure de la composition de l'archive	Spectromètre de masse / Aliquote Type gaz étalon (Expert)	Composition de l'archive, ...	—
S4 Adsorption		Pression résiduelle dans l'archive, ...	●
S5 Désorption		Pression dans la cellule, ...	●
S7 Mesure de la composition de la cellule	Spectromètre de masse oui/non Type gaz étalon (Expert) Avant ou après spectrométrie gamma	Composition de la cellule, ...	●
S8 Mesure du volume de l'archive		Pressions mesurées Volume calculé, ...	●
S6 Régénération de la colonne	Temps de régénération		●

Zone suivi des alarmes

Zone état du banc (dates, recette et séquence en cours, ...)

— En cours

✓ Réalisé avec succès

✗ Erreur

● En attente

Figure 27 : Exemple de l'interface de la recette transfert.

7.5.5.2. Contrôle qualité

La recette « contrôle qualité » (Figure 28) permet de préparer une archive avec un gaz étalon. Le transfert du xénon de l'archive vers la cellule est ensuite réalisé. La pression initiale de l'archive, la composition initiale de l'archive, la pression finale dans la cellule, la composition finale de la cellule et le volume de l'archive sont déterminés au cours de la recette.

Informations générales (Date, heure, utilisateur ...)

Procédé

Recettes

Résultats

Graphiques

Paramètres

Seuils

Séquences

Alarmes

Transfert

Contrôle qualité

Mesure du volume d'une archive

Mesure composition archive

Mesure composition cellule

Préparation archive

Régénération de la colonne

Vérifications techniques

Informations archive (SRID, type d'archive, commentaire avant recette, commentaire post recette ...)

Type (Mesure, QC, Contrôle ou R&D)

Etat de la recette : X%

Lancer la recette

STOP

Séquences	Paramètres séquence	Résultats	Etat
S1 Connexion	Connexion sous boîte à gant : oui/non (SAUNA et Xe int)	...	✓
S9 Préparation d'une archive		Pression dans l'archive Température, ...	✓
S2 Mesure de la pression		Pressions mesurée, pression calculée, ...	—
S3 Mesure de la composition de l'archive	Spectromètre de masse / Aliquote Type gaz étalon (Expert)	Composition de l'archive, ...	●
S4 Adsorption		Pression résiduelle dans l'archive, ...	●
S5 Désorption		Pression dans la cellule, ...	●
S7 Mesure de la composition de la cellule	Spectromètre de masse oui/non Type gaz étalon (Expert) Avant ou après spectrométrie gamma	Composition de la cellule, ...	●
S8 Mesure du volume de l'archive		Pressions mesurées Volume calculé, ...	●
S6 Régénération de la colonne	Temps de régénération		●

Zone suivi des alarmes

Zone état du banc (dates, recette et séquence en cours, ...)

- En cours
- ✓ Réalisé avec succès
- ✗ Erreur
- En attente

Figure 28 : Exemple de l'interface de la recette contrôle qualité.

7.5.5.3. Mesure du volume d'une archive

La recette « mesure du volume d'une archive » (Figure 29) permet de mesurer le volume d'une archive connectée au banc automatique.

Informations générales (Date, heure, utilisateur ...)

Procédé

Recettes

Résultats

Graphiques

Paramètres

Seuils

Séquences

Alarmes

Transfert

Contrôle qualité

Mesure du volume d'une archive

Mesure composition archive

Mesure composition cellule

Préparation archive

Régénération de la colonne

Vérifications techniques

Informations archive (SRID, type d'archive, commentaire avant recette, commentaire post recette ...)

Type (Mesure, QC, Contrôle ou R&D)

Etat de la recette : X%

Lancer la recette

STOP

Séquences	Paramètres séquence	Résultats	Etat
S1 Connexion	Connexion sous boîte à gant : oui/non (SAUNA et Xe int)	...	✓
S8 Mesure du volume de l'archive		Pressions mesurées Volume calculé, ...	—

Zone suivi des alarmes

Zone état du banc (dates, recette et séquence en cours, ...)

— En cours

✓ Réalisé avec succès

✗ Erreur

● En attente

Figure 29 : Exemple de l'interface de la recette mesure du volume d'une archive.

7.5.5.4. Mesure de la composition en xénon et de la pression de l'archive

La recette « mesure de la composition et de la pression d'une archive » (Figure 30) permet de mesurer la pression dans une archive ainsi que la composition de l'échantillon contenu dans l'archive.

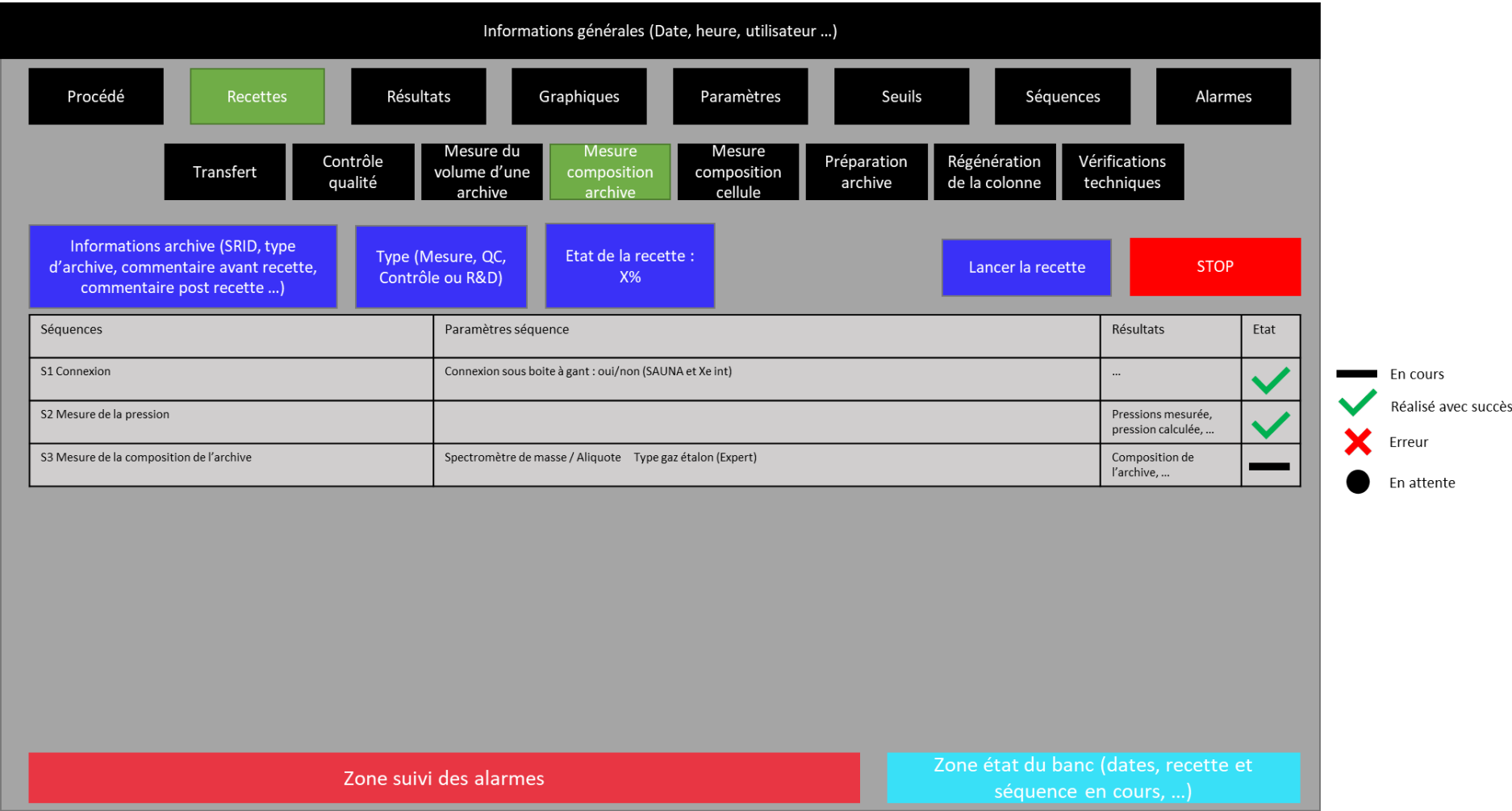


Figure 30 : Exemple de l'interface de la recette mesure de la composition d'une archive.

7.5.5.5. Mesure de la composition de la cellule

La recette de « mesure de la composition de la cellule » (Figure 31) permet, après avoir connecté une cellule au banc automatique, de mesurer sa composition.

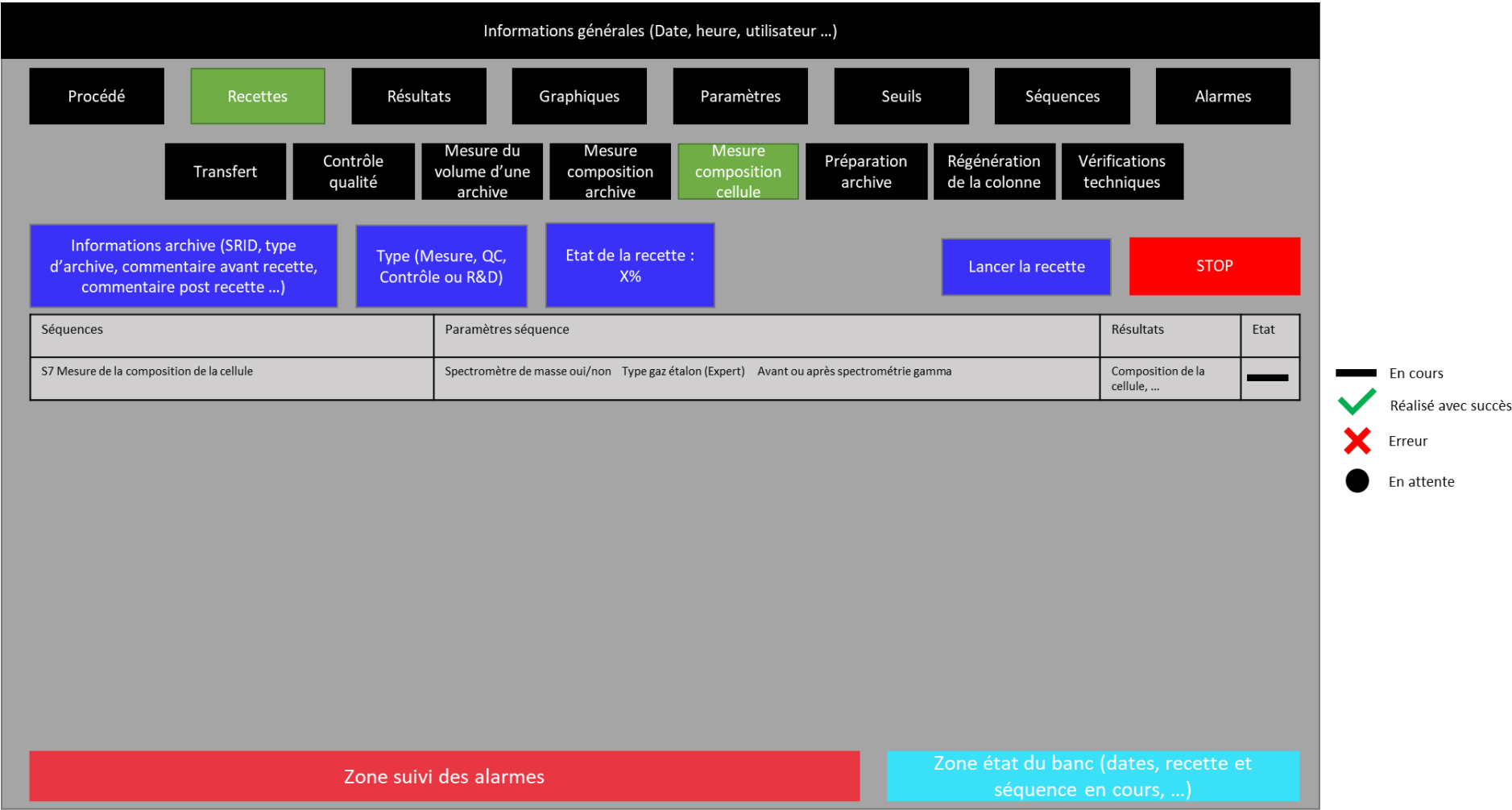


Figure 31 : Exemple de l'interface de la recette mesure de la composition d'une cellule.

7.5.5.6. Préparation d'une archive

La recette « préparation d'une archive » (Figure 32) permet de préparer une archive à l'aide d'un gaz étalon.

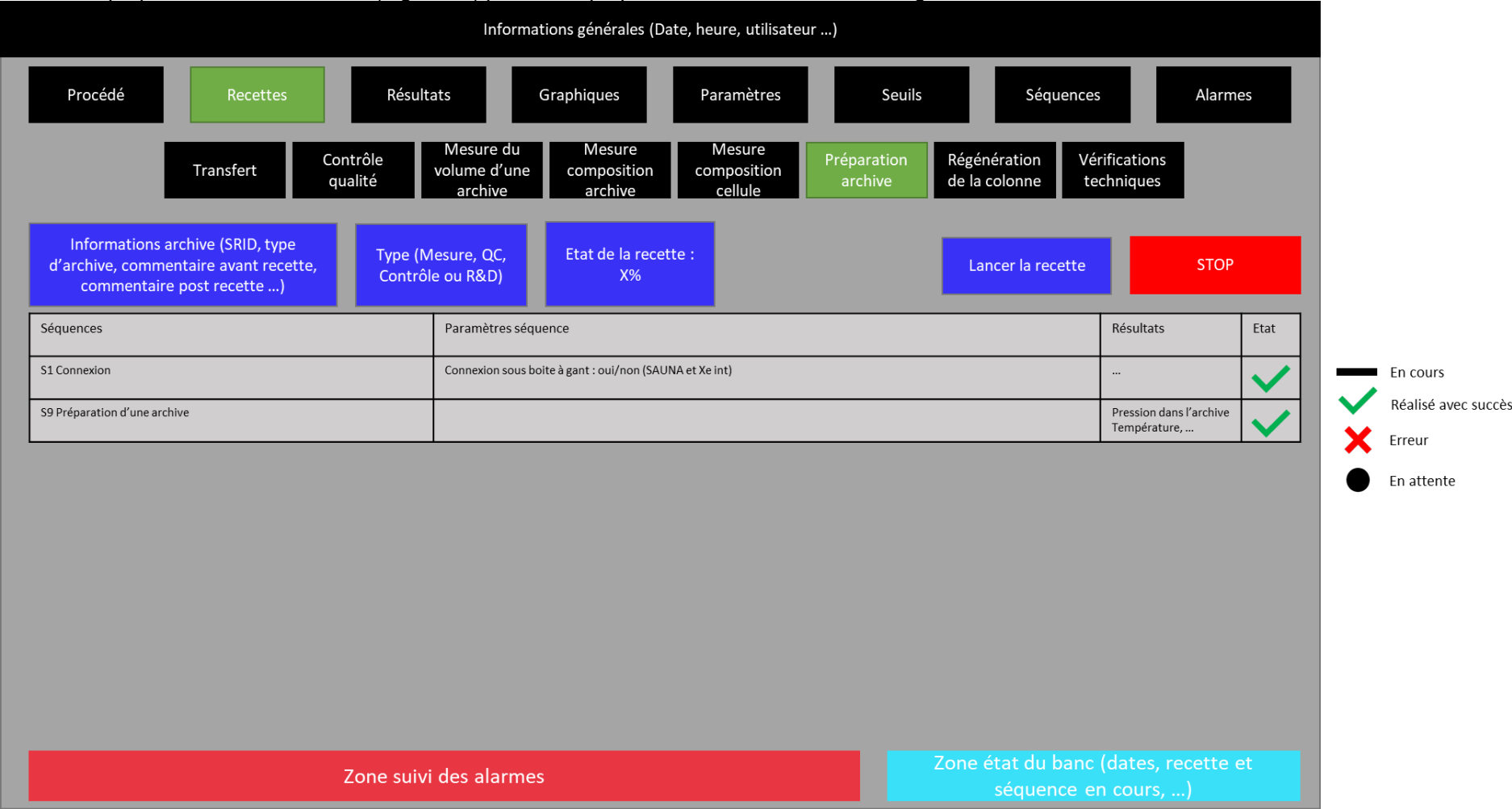


Figure 32 : Exemple de l'interface de la recette préparation d'une archive.

7.5.5.7. Régénération de la colonne

La recette régénération (Figure 33) permet de préparer la colonne pour un nouveau transfert. La colonne est chauffée sous flux d'hélium. La colonne est alors stockée sous pression pour garantir ses performances lors du transfert suivant.

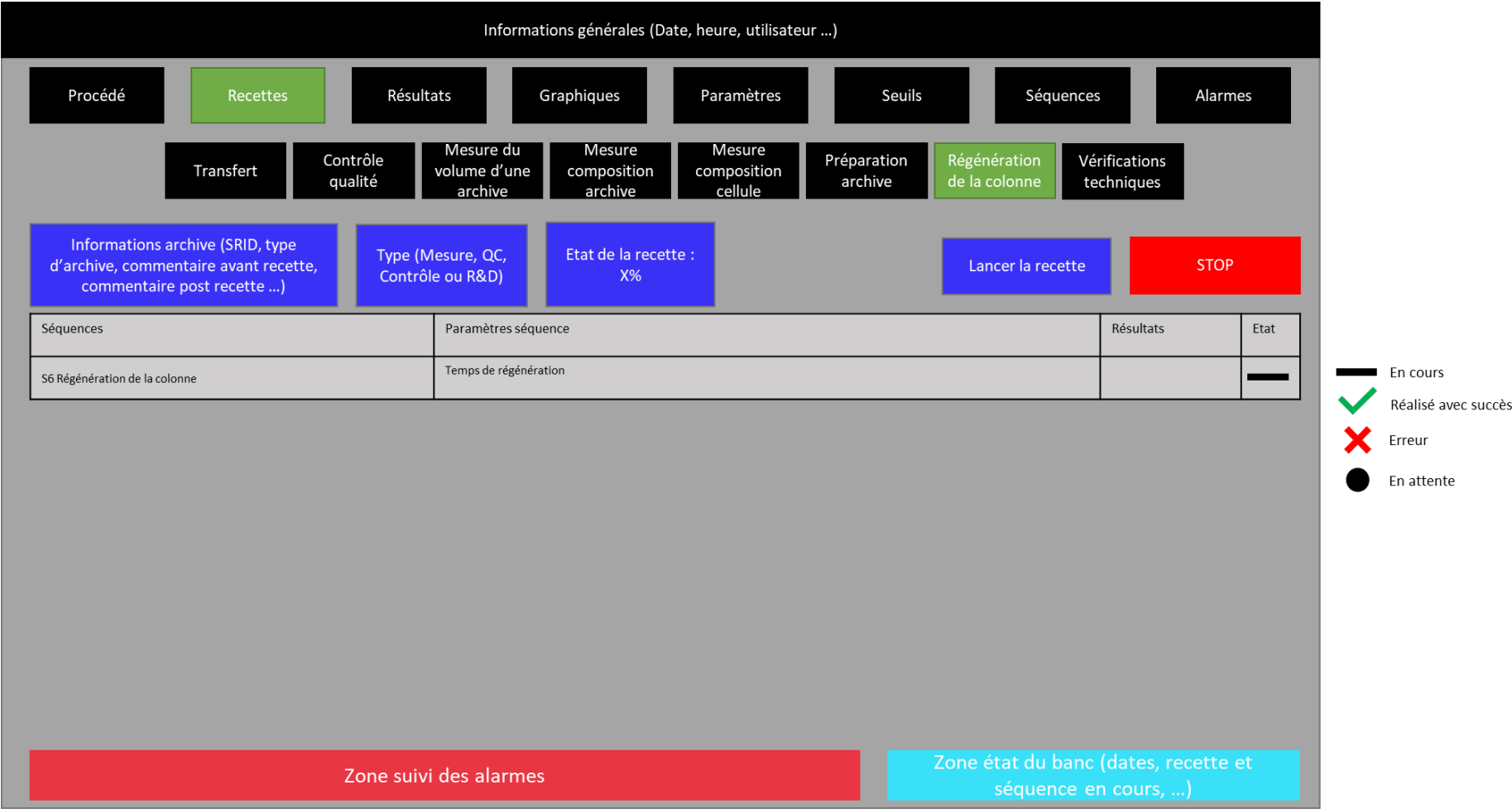


Figure 33 : Exemple de l'interface de la recette de régénération de la colonne.

7.5.5.8. Recette vérifications techniques

La recette de vérifications techniques (Figure 34) permet de vérifier les performances du banc. Cette recette est accessible uniquement par un utilisateur expert.

Informations générales (Date, heure, utilisateur ...)

Procédé

Recettes

Résultats

Graphiques

Paramètres

Seuils

Séquences

Alarmes

Transfert

Contrôle qualité

Mesure du volume d'une archive

Mesure composition archive

Mesure composition cellule

Préparation archive

Régénération de la colonne

Vérifications techniques

Informations archive (SRID, type d'archive, commentaire avant recette, commentaire post recette ...)

Type (Mesure, QC, Contrôle ou R&D)

Etat de la recette : X%

Lancer la recette

STOP

Séquences	Paramètres séquence	Résultats	Etat
S12 Vérifications techniques	Toutes les parties du banc : Oui/Non Sélectionner les parties :	Capacité d'adsorption : Oui/Non	

Zone suivi des alarmes

Zone état du banc (dates, recette et séquence en cours, ...)

En cours

Réalisé avec succès

Erreur

En attente

Figure 34 : Exemple de l'interface de la recette de vérifications techniques.

7.5.6 Séquences du banc automatique

Dans cette partie il est question de décrire les séquences que le banc automatique doit réaliser.

Les exemples décrits dans le §7.5.6 sont donnés à titre indicatif. Ces séquences pourront être complétées ou modifiées lors de la conception sur demande du CEA.

Le banc permet d'effectuer chacune des séquences de manière indépendante :

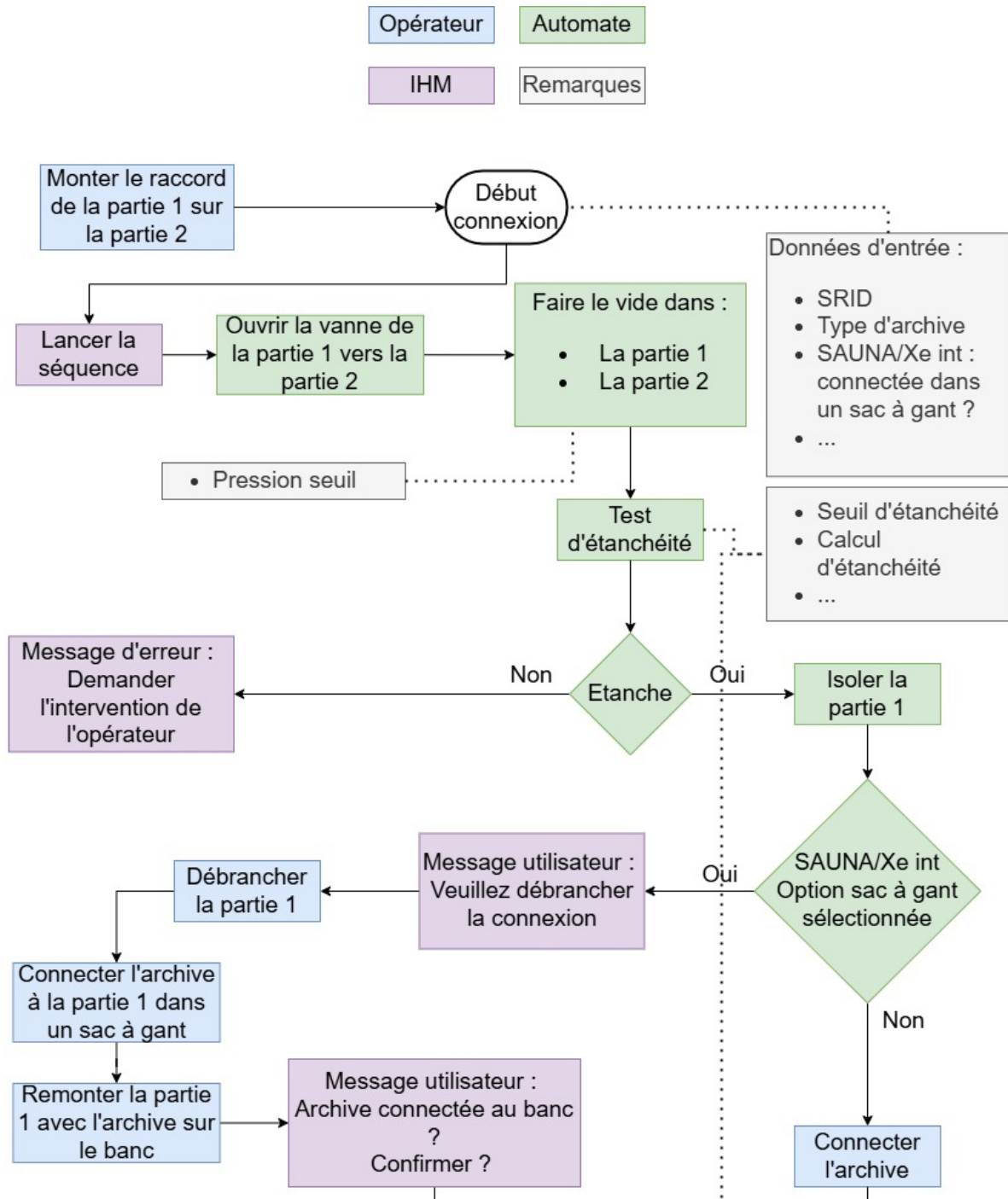
- S1 : Connexion de l'archive
Permet de connecter les différents types d'archive au banc.
- S2 : Mesure de la pression
Permet de mesurer la pression après détente et déterminer la pression initiale dans l'archive
- S3 : Mesure de la teneur en Xe dans l'archive
Permet de mesurer la teneur en xénon contenu dans l'archive avant transfert.
- S4 : Adsorption
Permet de capturer le xénon par adsorption sur une colonne de zéolithe.
- S5 : Désorption
Permet de restituer le xénon adsorber dans la cellule de mesure.
- S6 : Régénération de la colonne
Permet de chauffer la colonne sous flux d'hélium afin de la régénérer.
- S7 : Mesure de la teneur en Xe dans la cellule
Permet de mesurer la teneur en xénon contenu dans la cellule après transfert.
- S8 : Mesure du volume de l'archive
Permet de mesurer le volume de l'archive par détente dans un volume étalon.
- S9 : Préparation d'une archive
Permet de préparer une archive à l'aide d'une bouteille étalon.
- S10 : Vérifications techniques
Permet de vérifier l'absence de fuite et les performances d'adsorption de la colonne.

ID	Type	Description	Criticité
S1	Coder les étapes des séquences	Renseigner dans l'automate la procédure à suivre pour permettre de réaliser les 8 recettes du banc automatique, elles-mêmes constitués de tout ou partie des séquences présentées dans ce paragraphe. <i>Les détails des séquences seront déterminés dans le dossier de conception détaillé</i>	P

* P : primordial / I : importante / S : souhaitable

On estime à environ 350 étapes pour permettre le bon fonctionnement de l'ensemble des séquences constituant les recettes et ce en prenant en compte toutes les options de traitement. Ces étapes sont soit autonome, soit temporisée, soit conditionnée à l'atteinte d'un critère, etc. Dans certains cas des vérifications donnent lieu à l'apparition d'un message d'erreur ou à la mesure d'un paramètre. Enfin, l'objectif ultime de ces recettes et séquences est de permettre le calcul du rendement de transfert, et des volumes de Xe dans l'archive et la cellule de mesure (et de leur incertitude associée) ainsi que des paramètres dont il dépend (pression de l'archive, teneur en Xe de l'archive, ...).

7.5.6.1. S1 : Connexion de l'archive



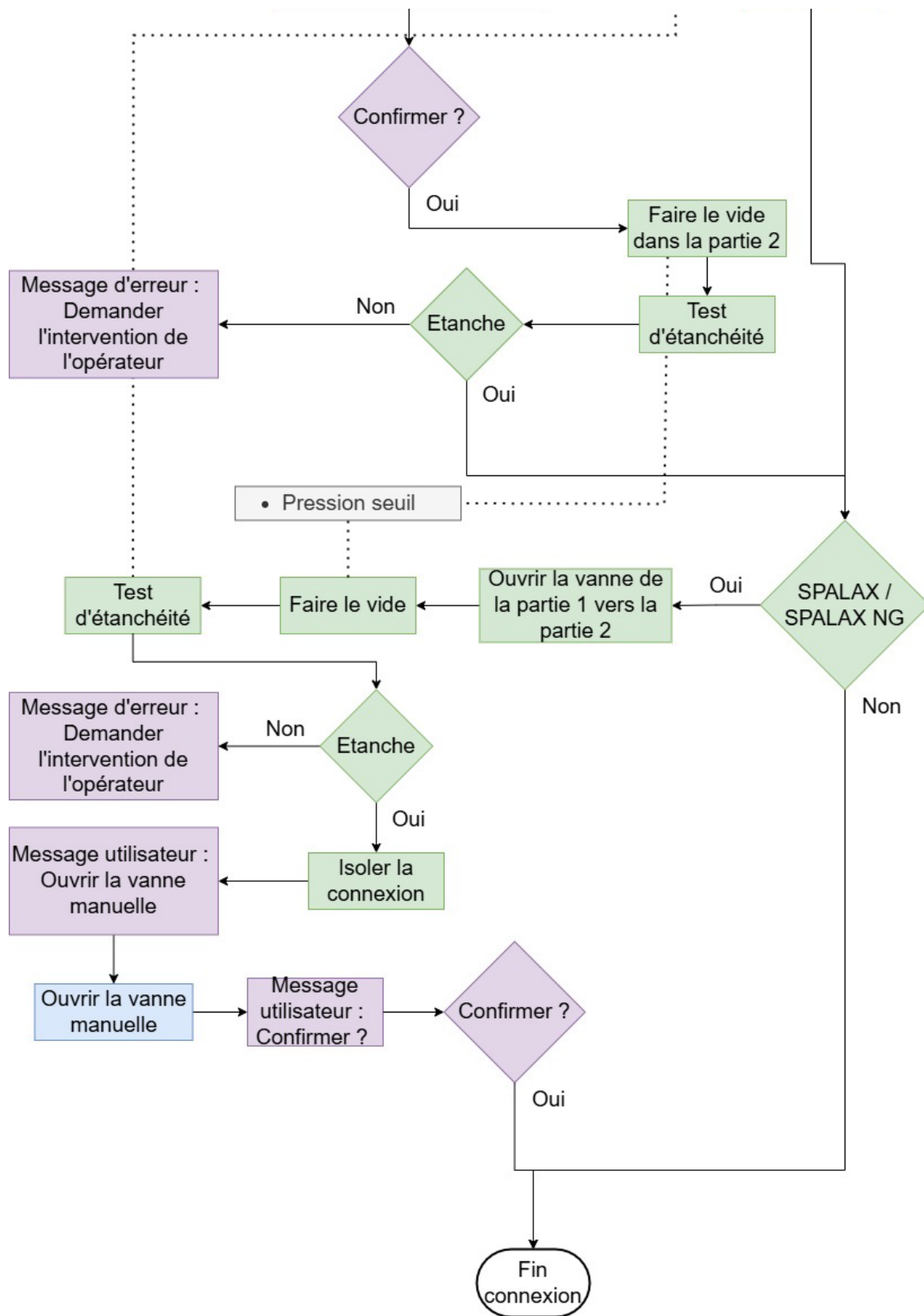


Figure 35 : Logigramme de la séquence de connexion d'une archive.

7.5.6.2. S2 : Mesure de la pression

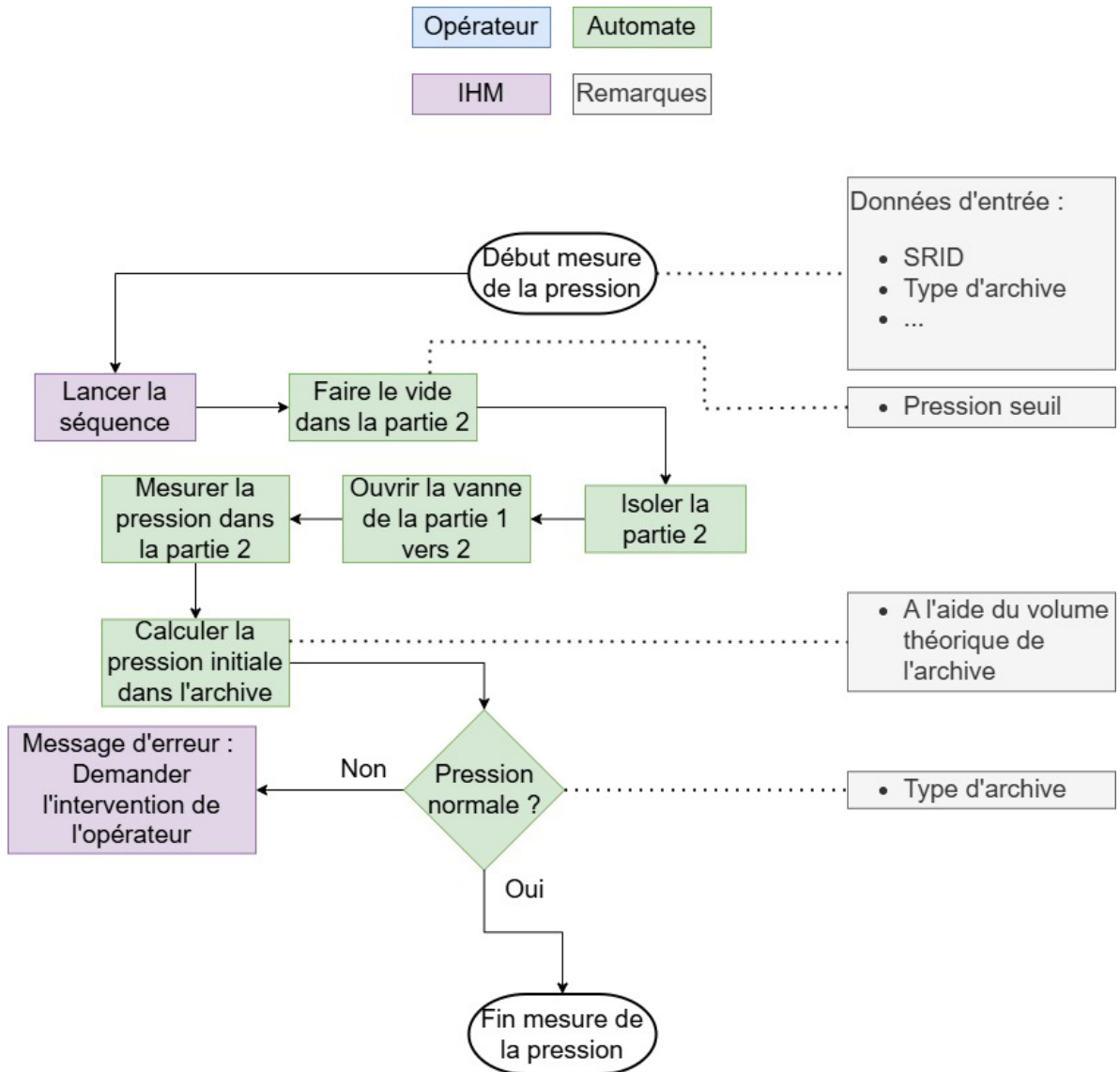
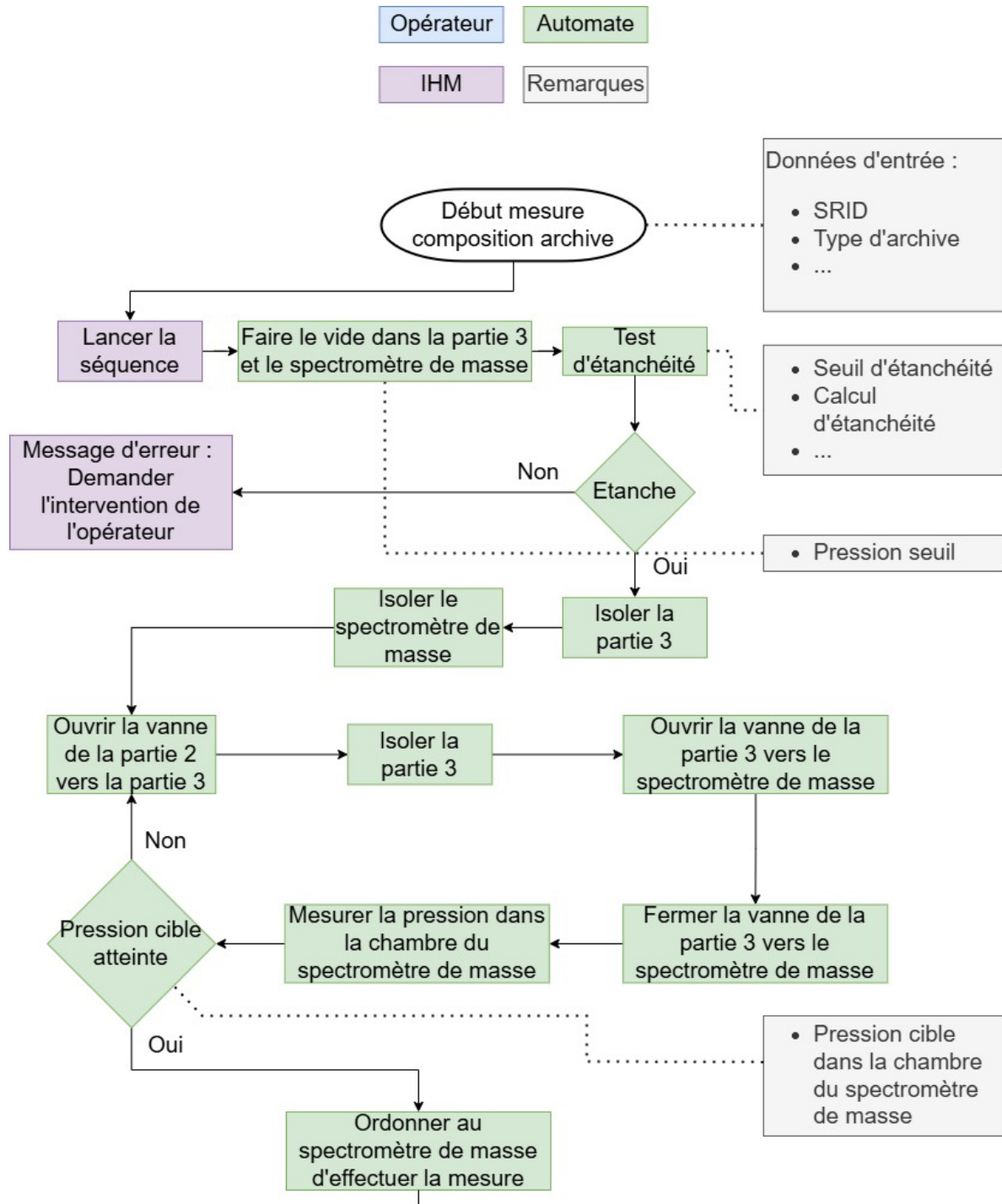


Figure 36 : Logigramme de la séquence de mesure de la pression dans l'archive.

7.5.6.3. S3 : Mesure de la teneur en Xe dans l'archive



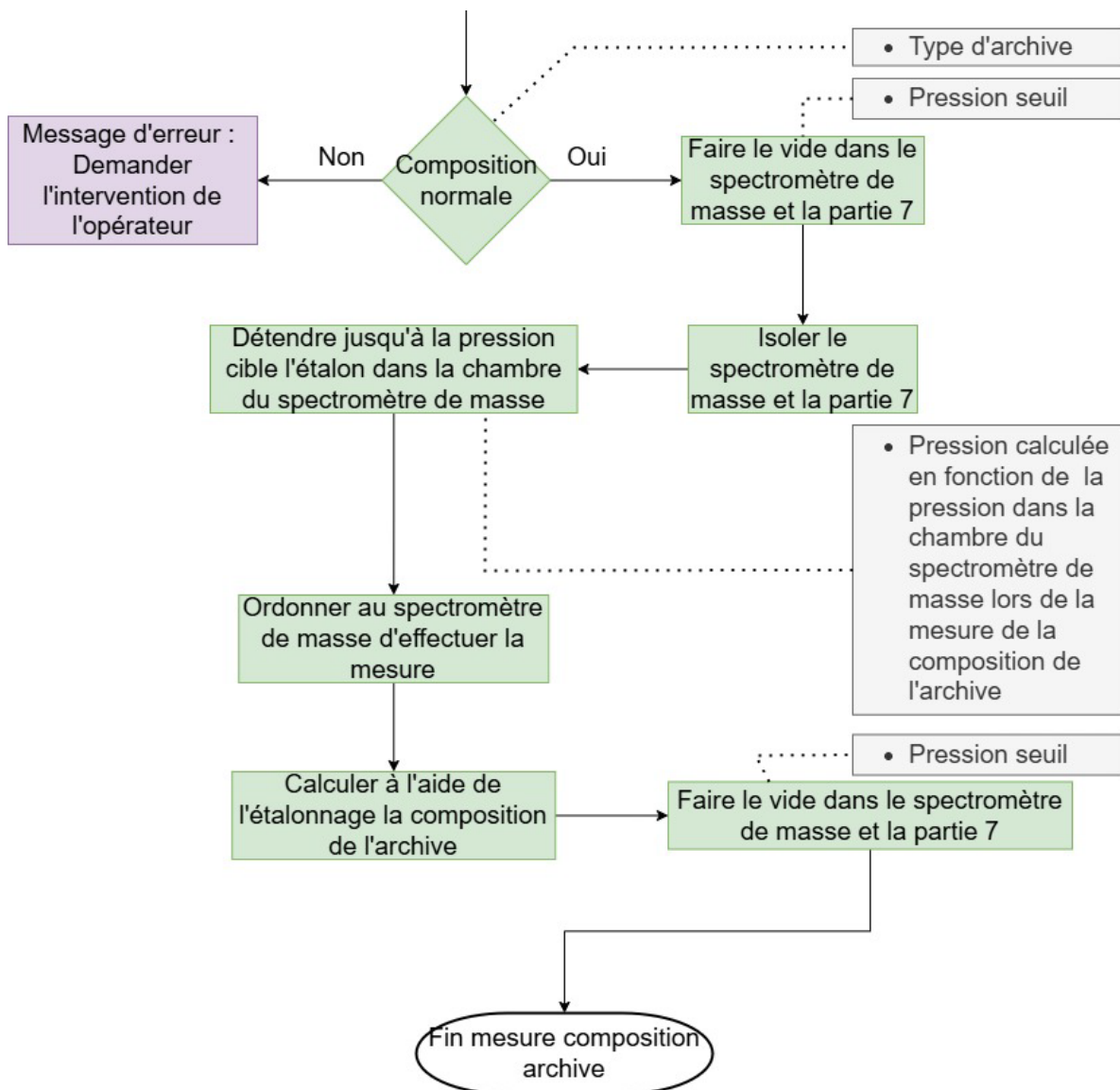
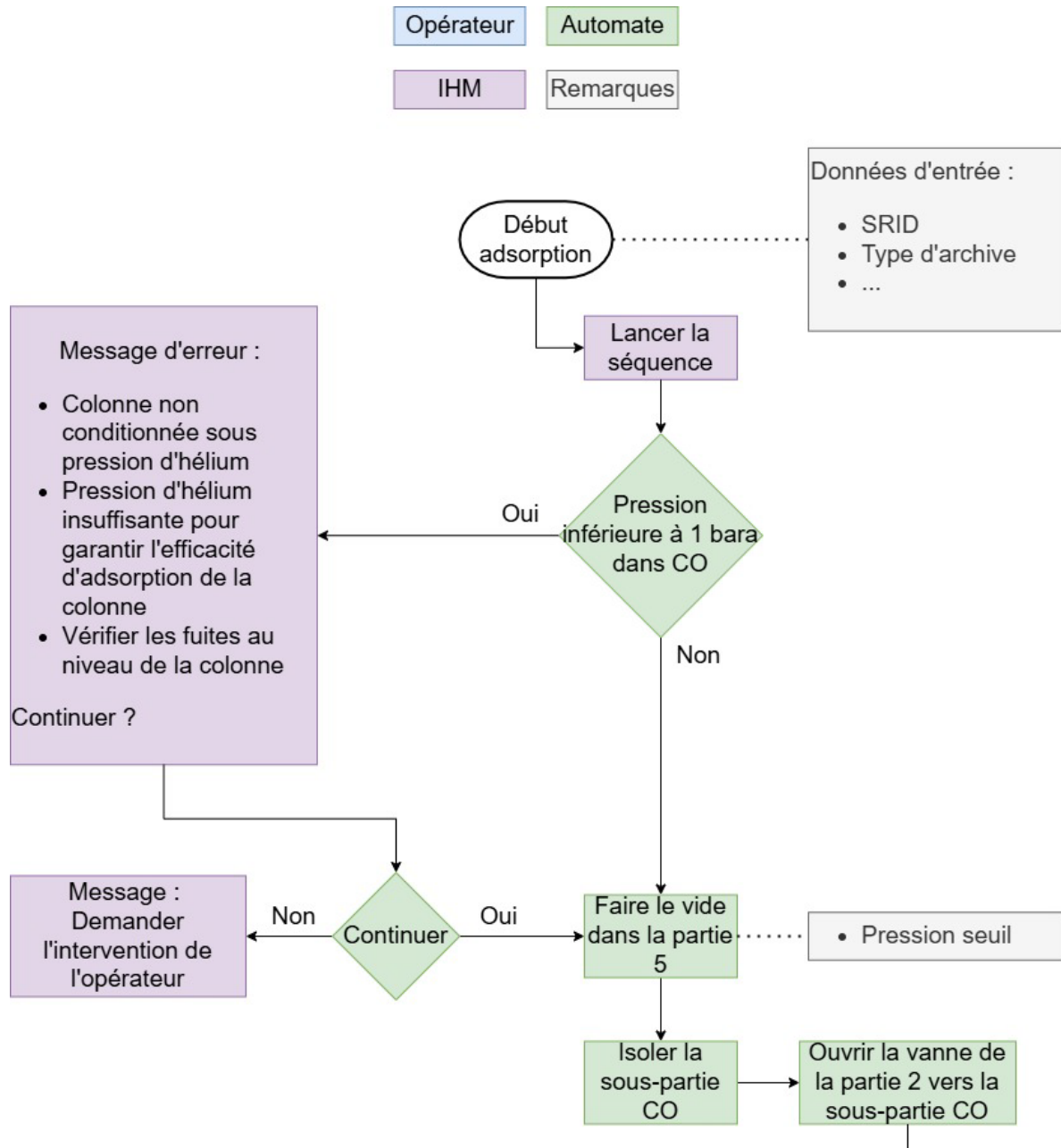


Figure 37 : Logigramme de la séquence de mesure de la teneur en xénon de l'archive.

7.5.6.4. S4 : Adsorption



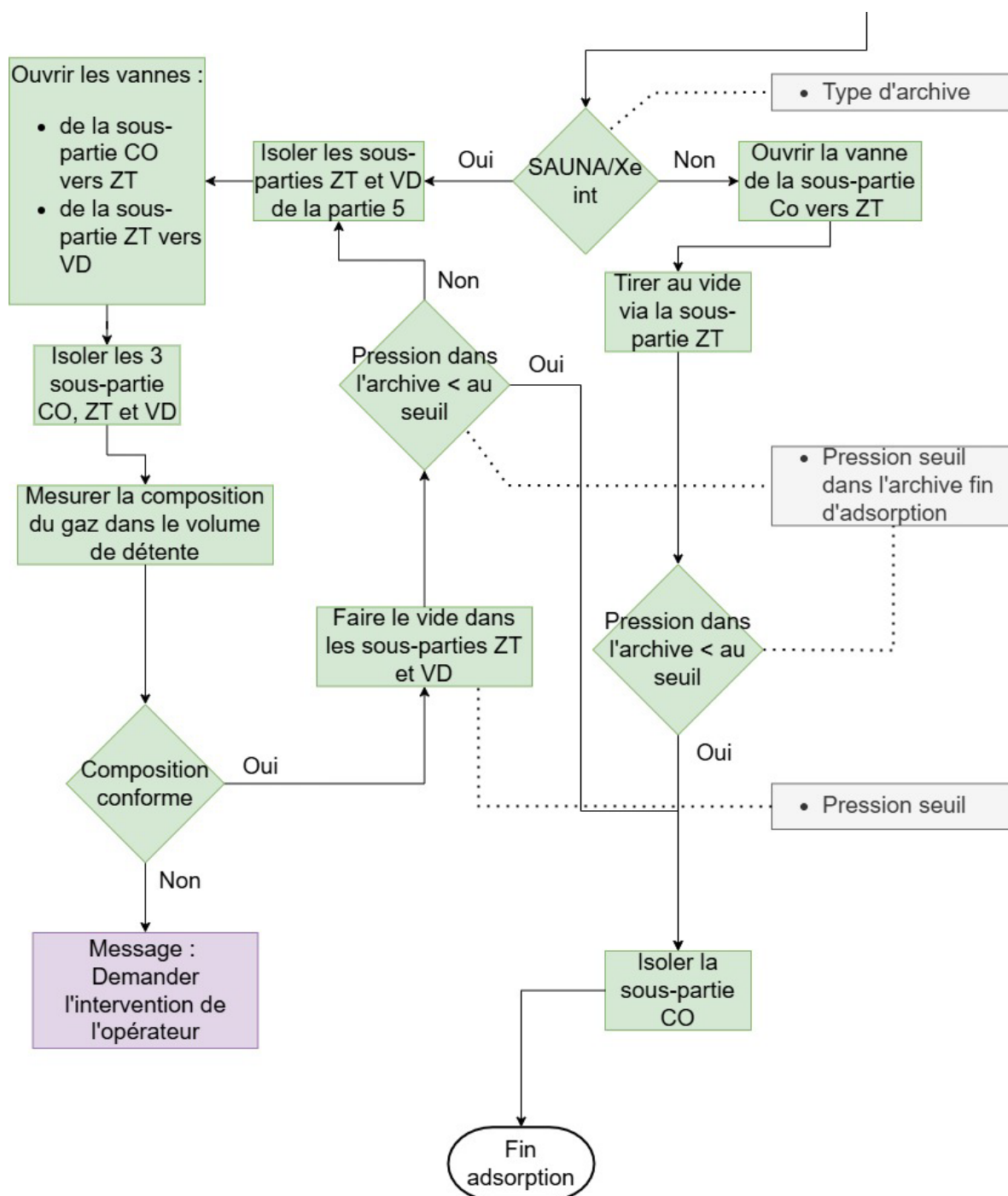
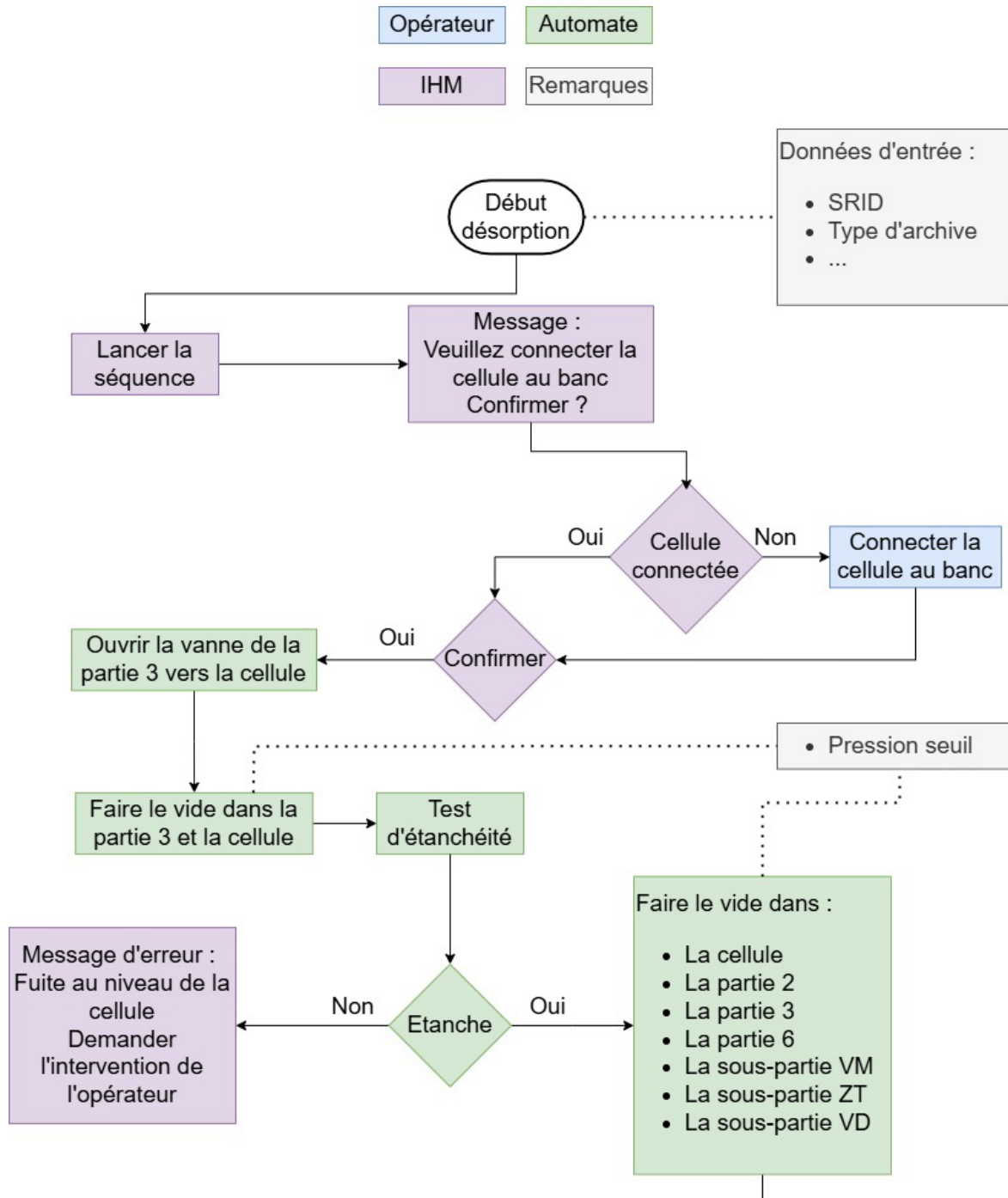
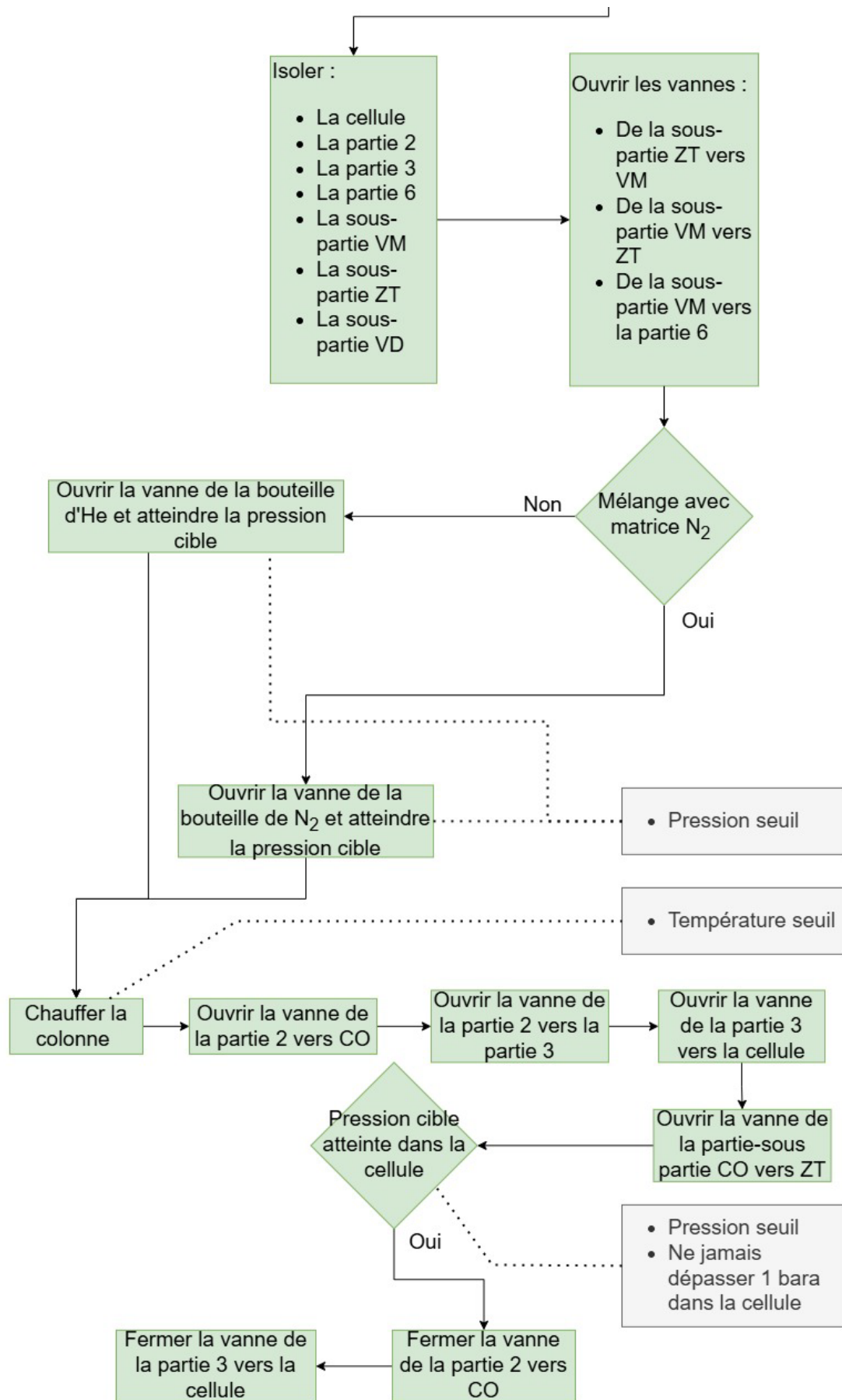


Figure 38 : Logigramme de la séquence d'adsorption du xénon.

7.5.6.5. S5 : Désorption





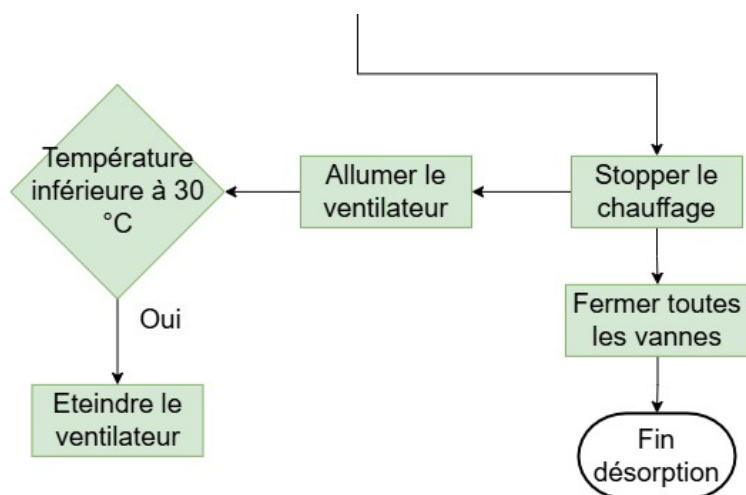
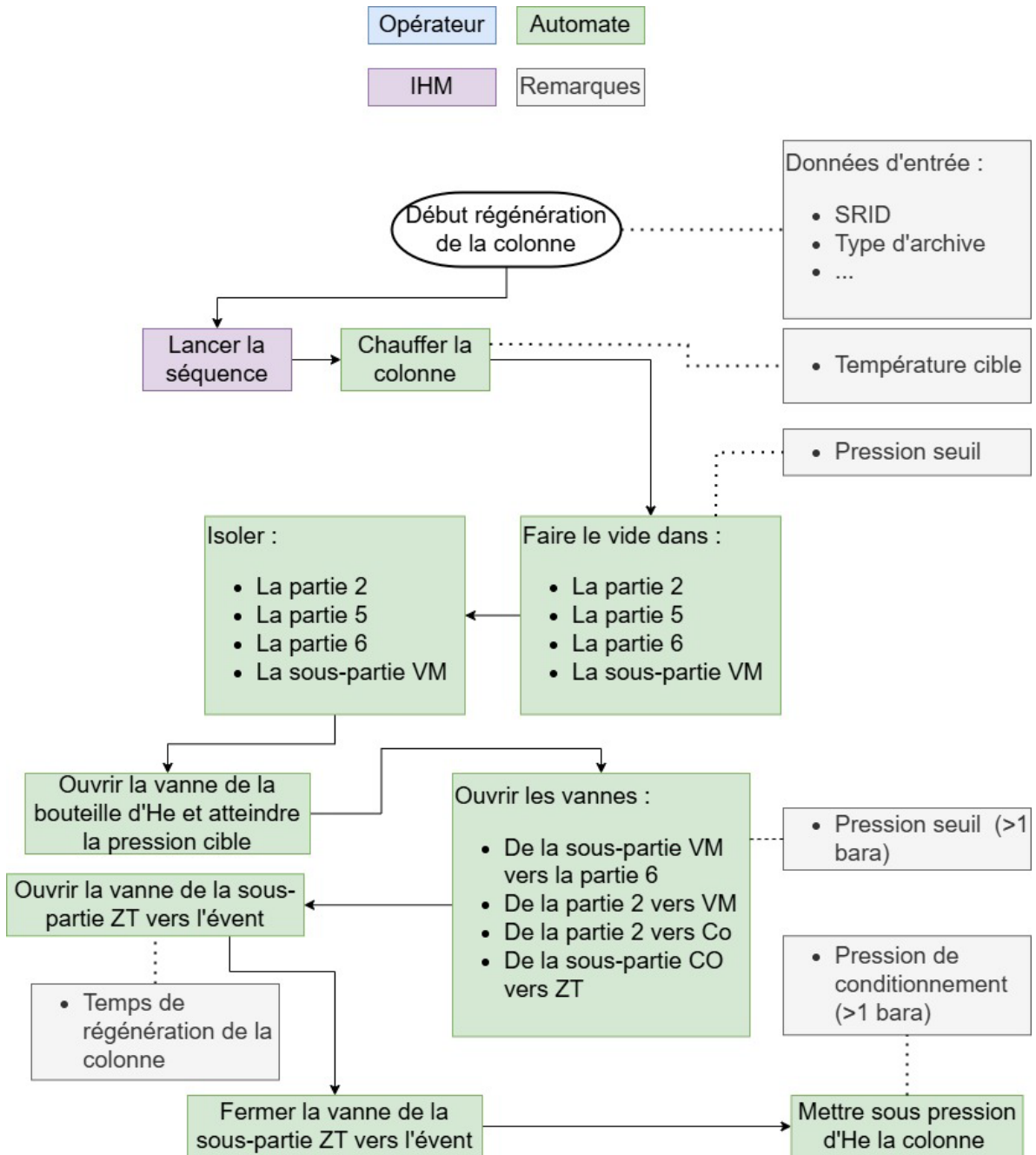


Figure 39 : Logigramme de la séquence de désorption du xénon.

7.5.6.6. S6 : Régénération de la colonne



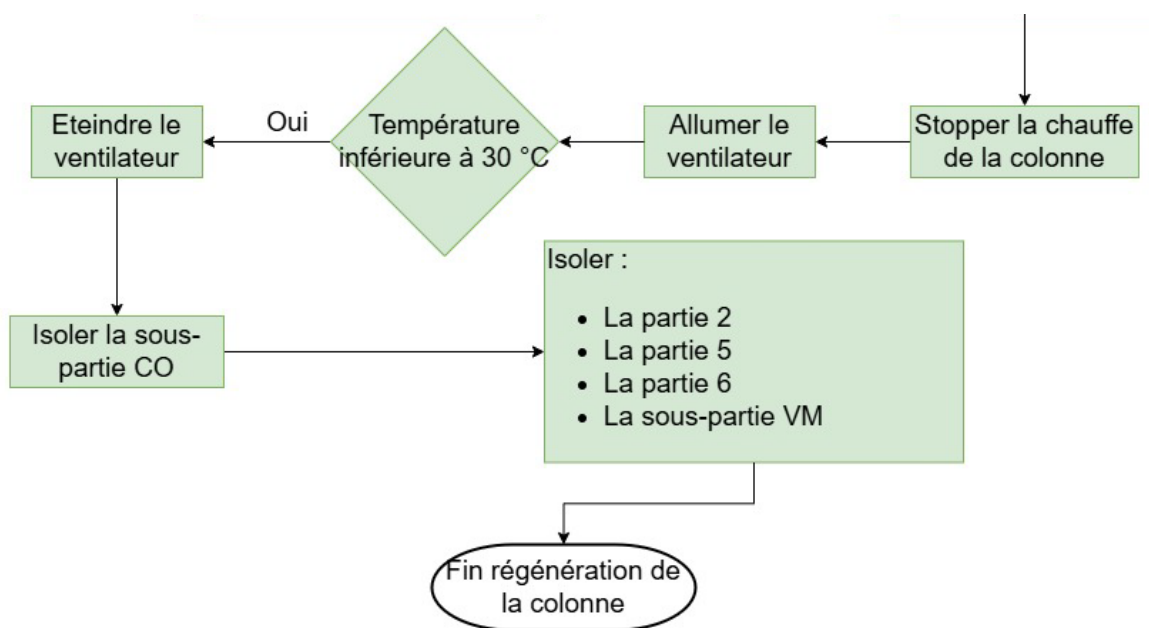
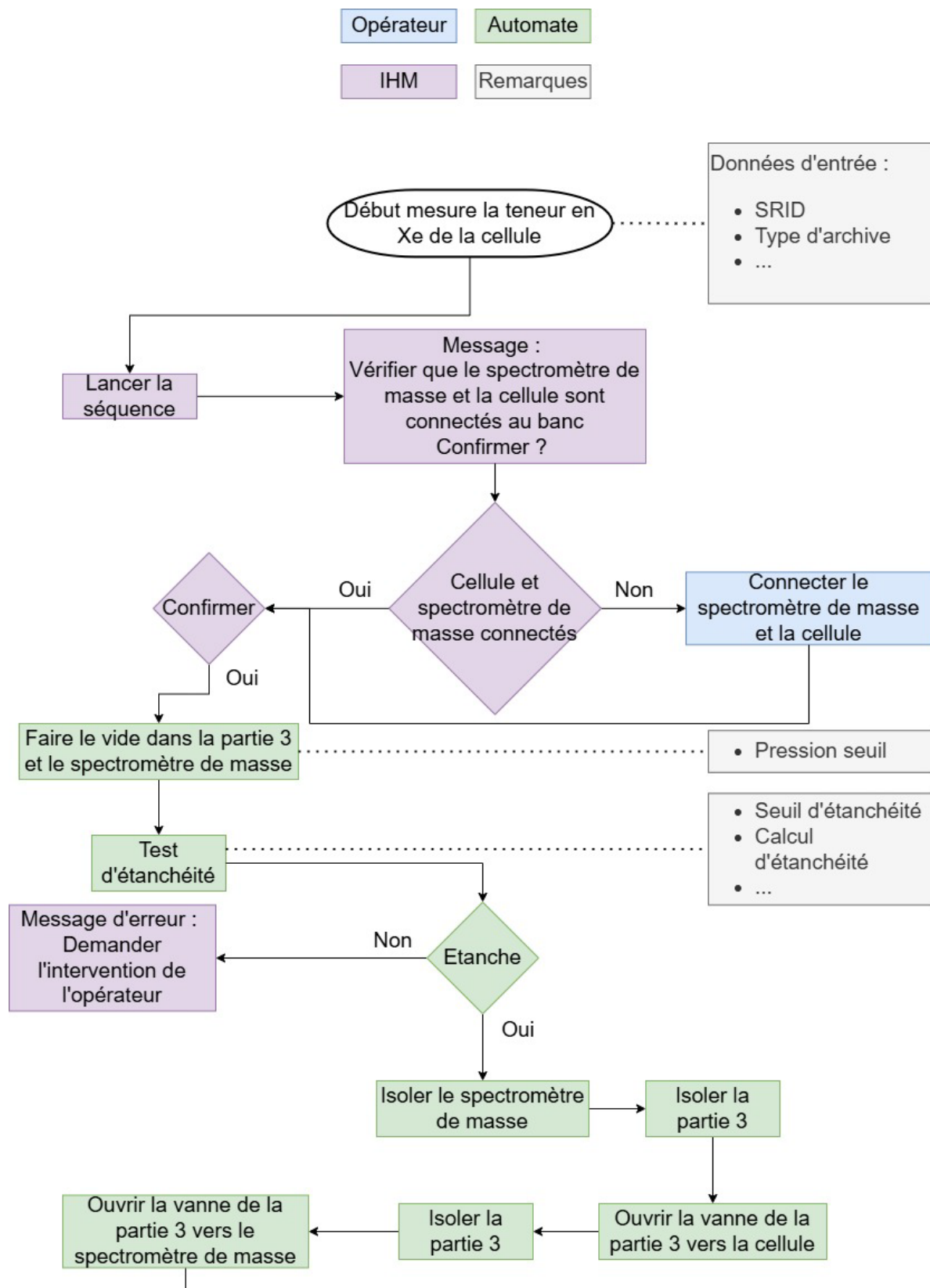


Figure 40: Logigramme de la séquence de régénération d'une colonne.

7.5.6.7. S7 : Mesure de la teneur en Xe dans la cellule



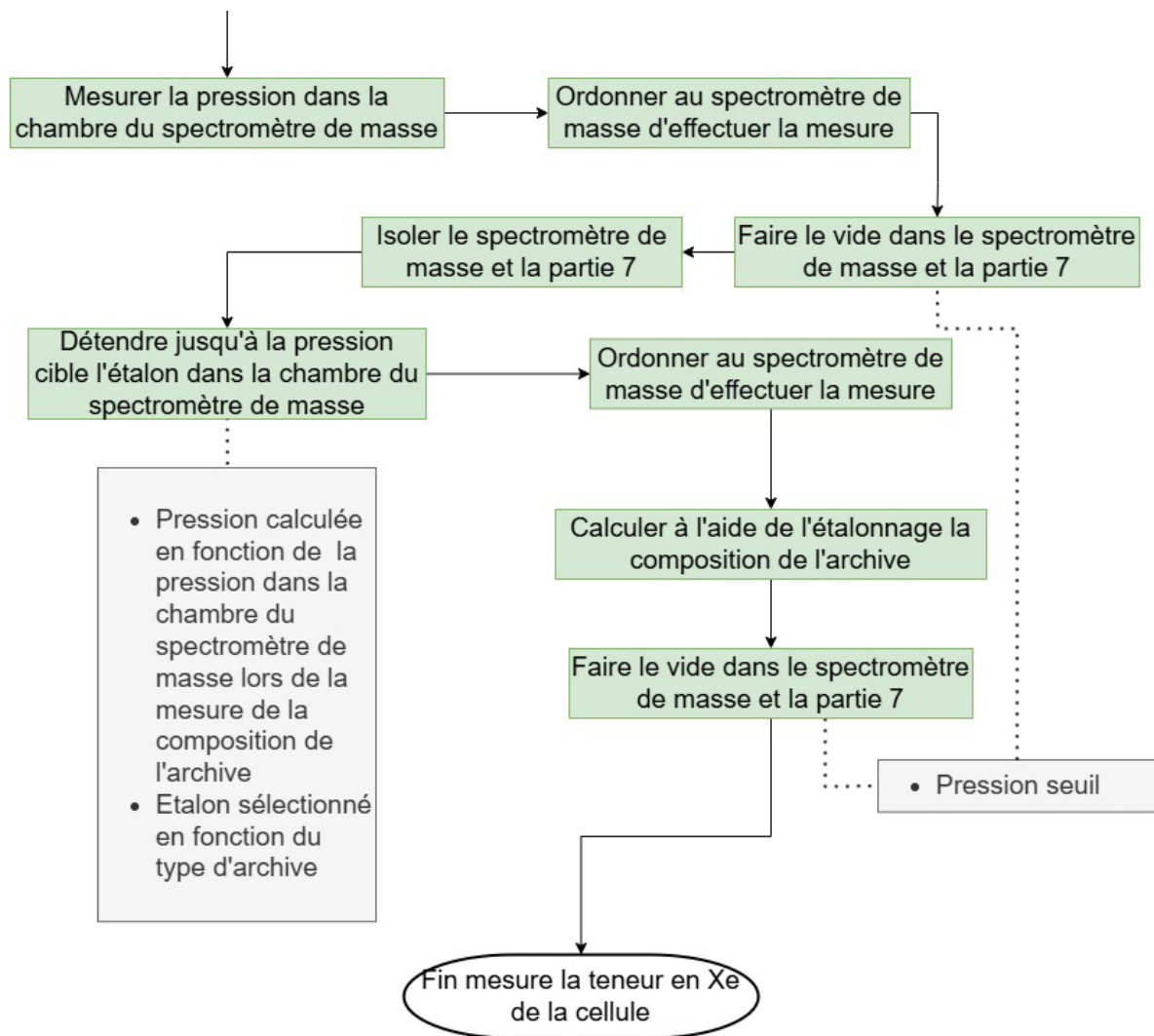
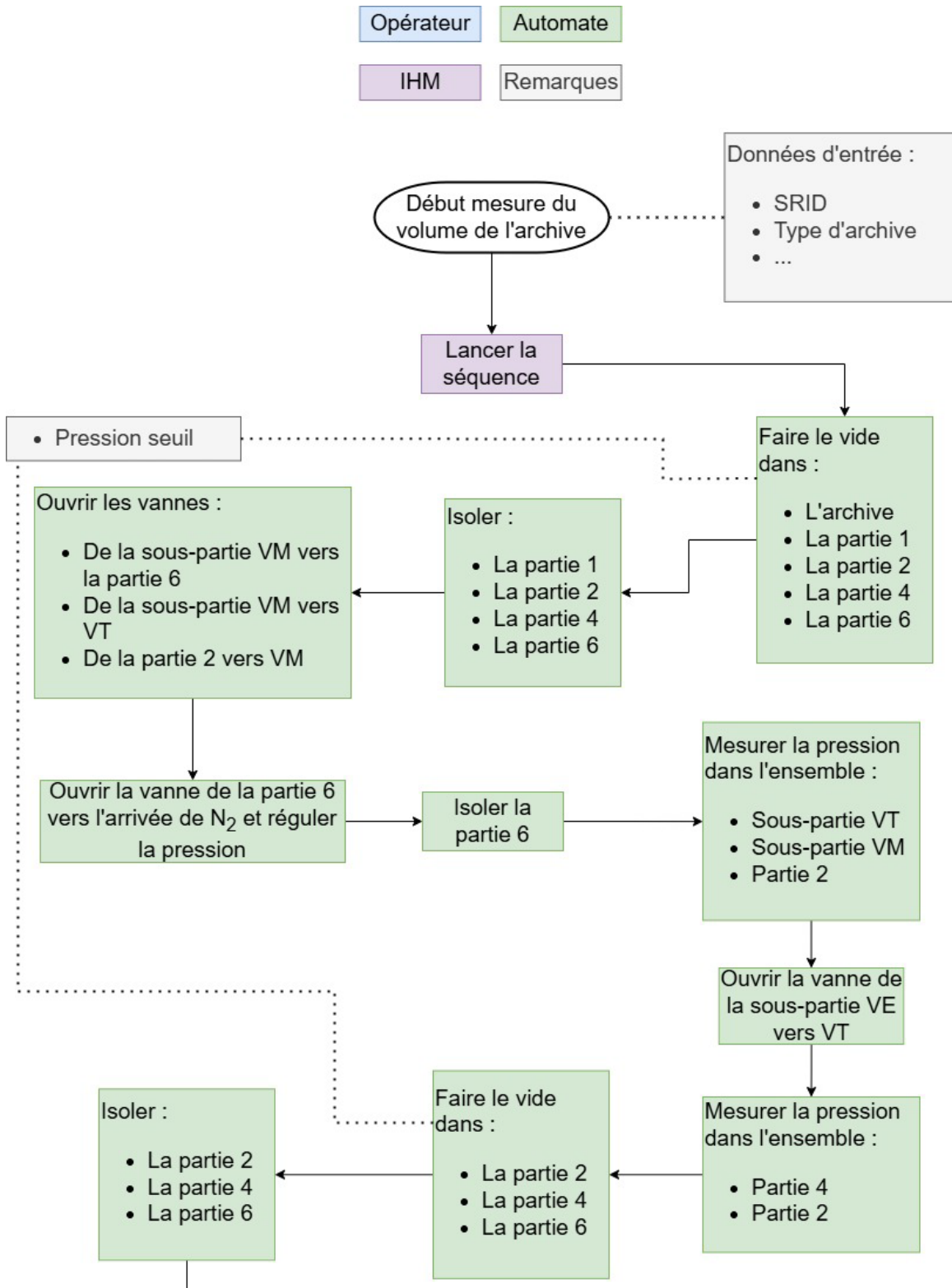


Figure 41 : Logigramme de la séquence de mesure de la teneur en xénon de la cellule.

7.5.6.8. S8 : Mesure du volume de l'archive



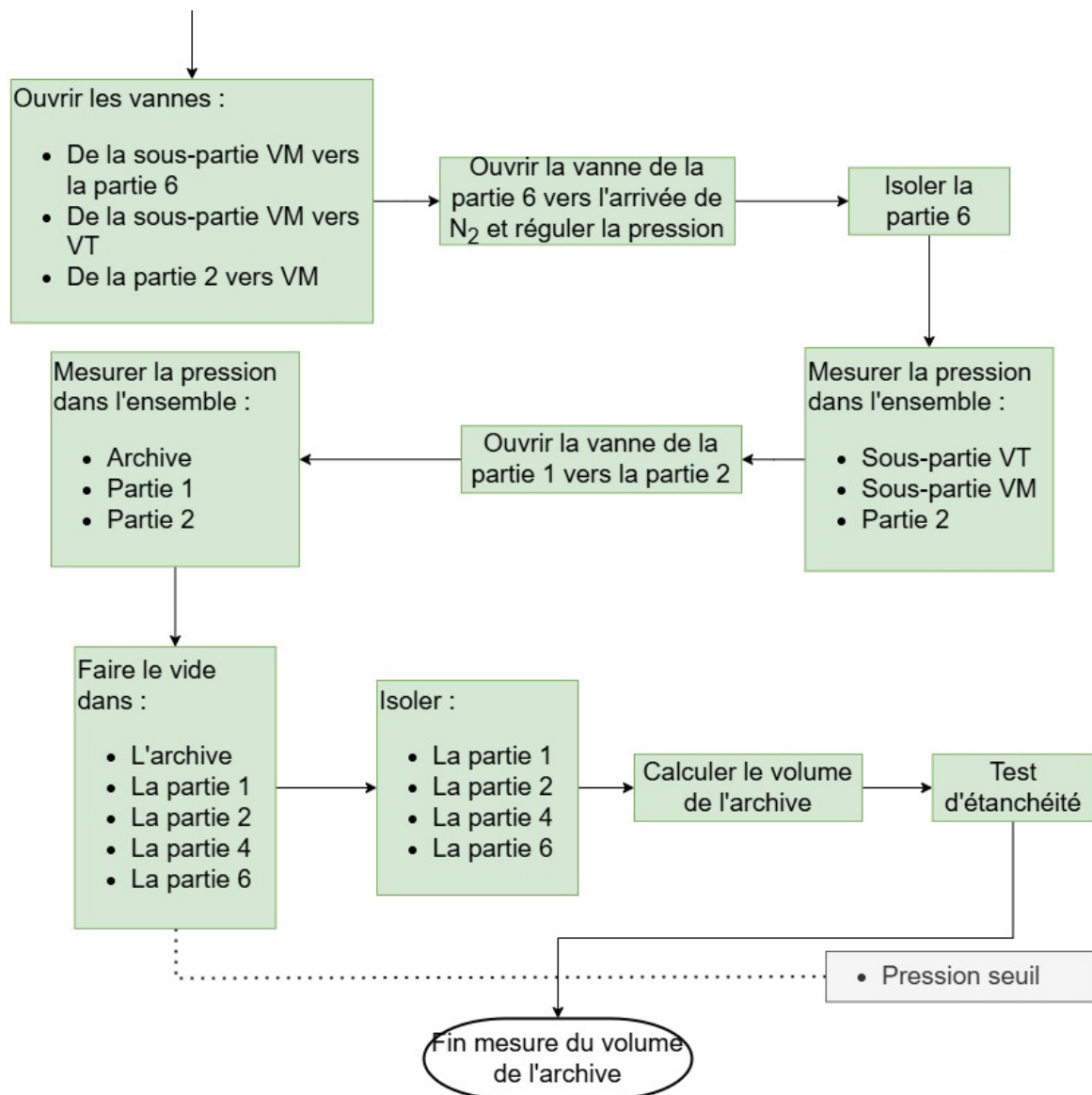
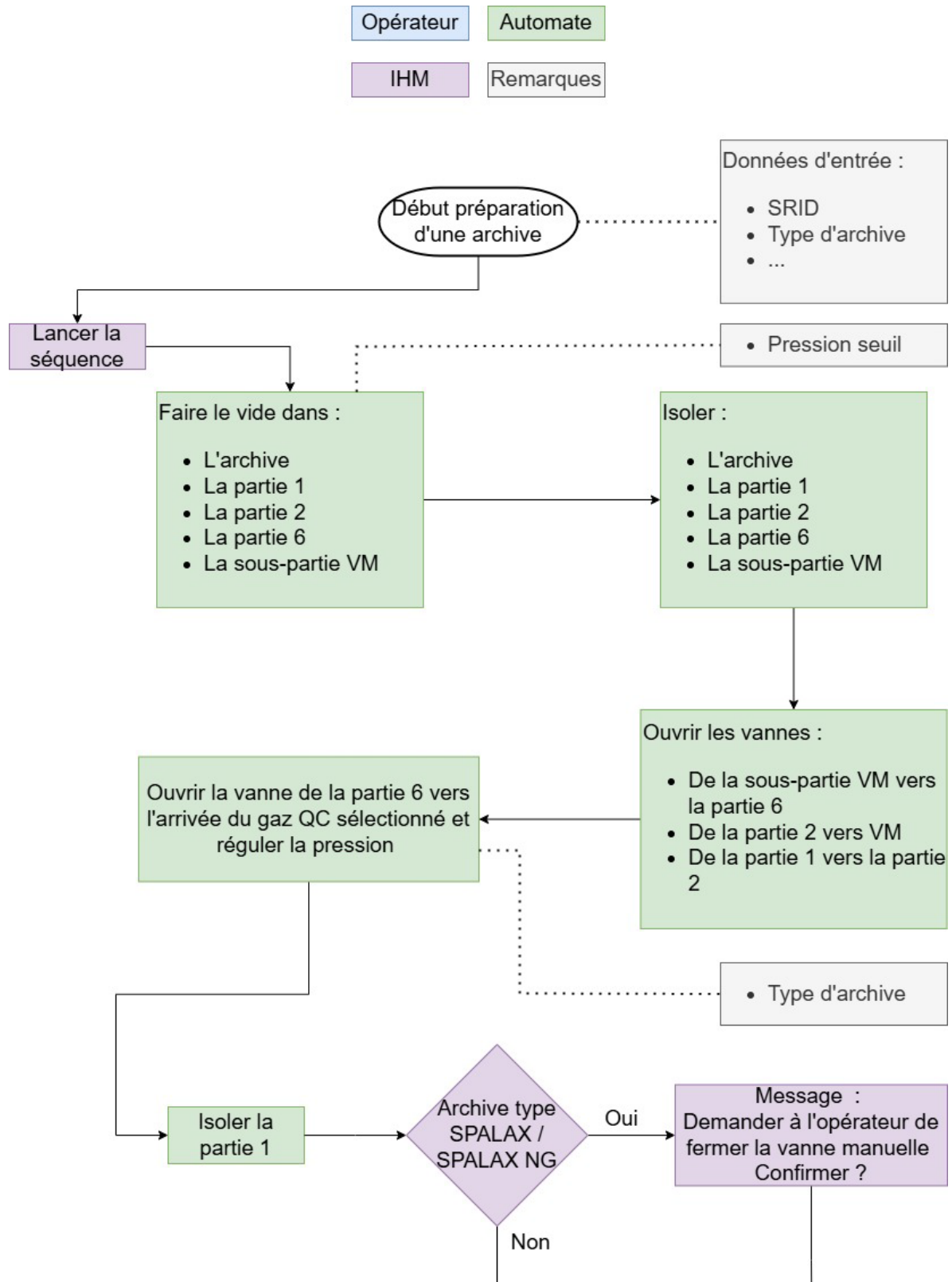


Figure 42 : Logigramme de la séquence de mesure du volume de l'archive.

7.5.6.9. S9 : Préparation d'une archive



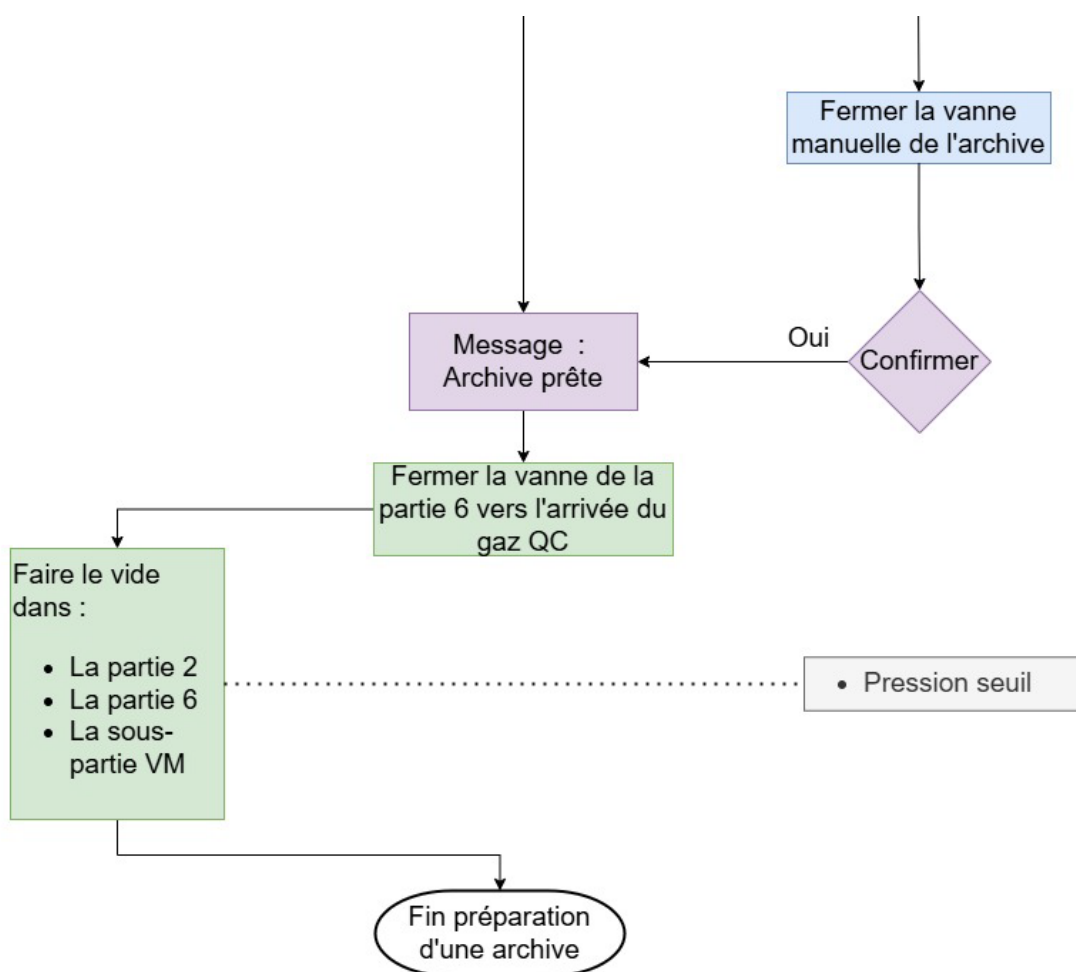
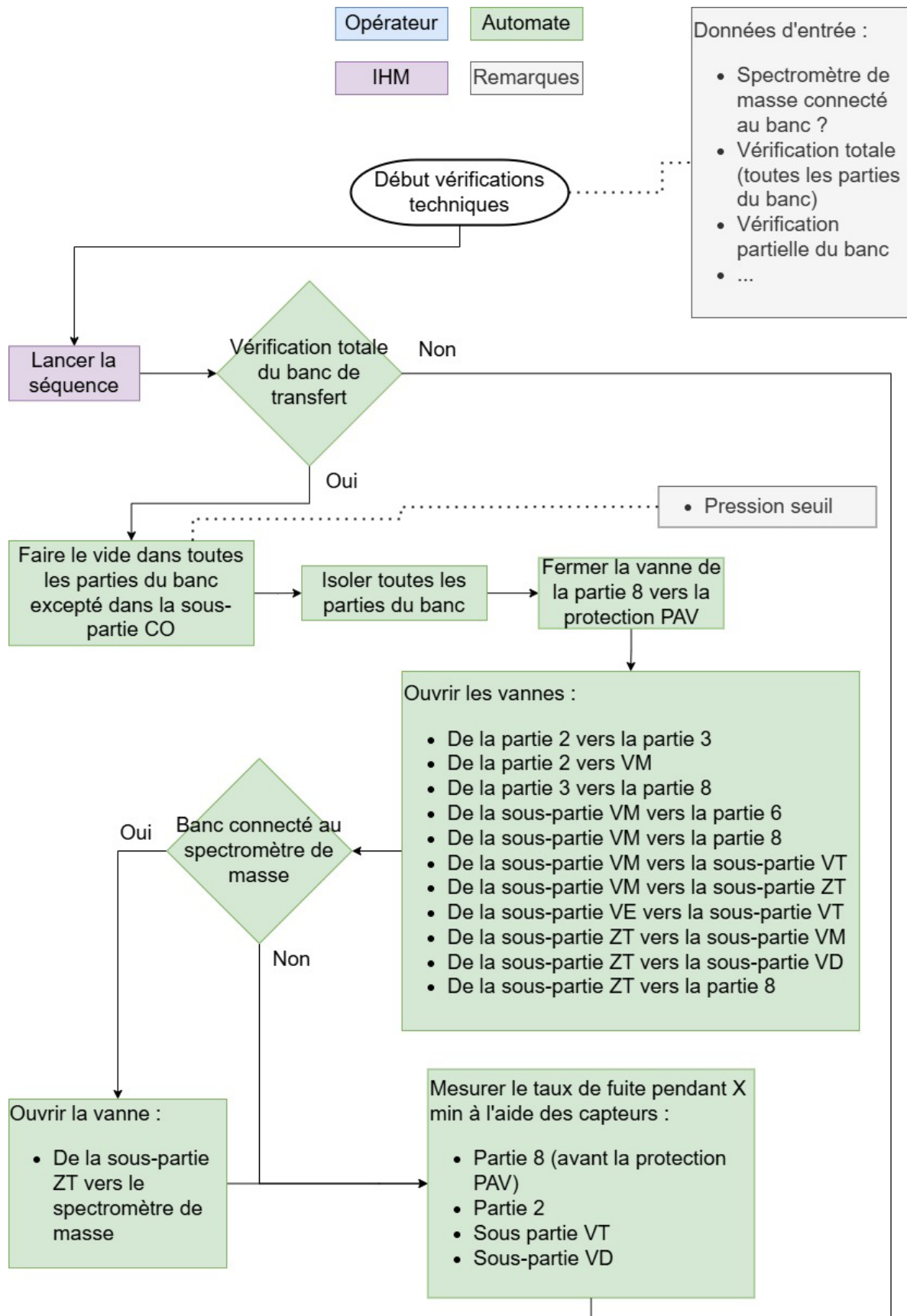
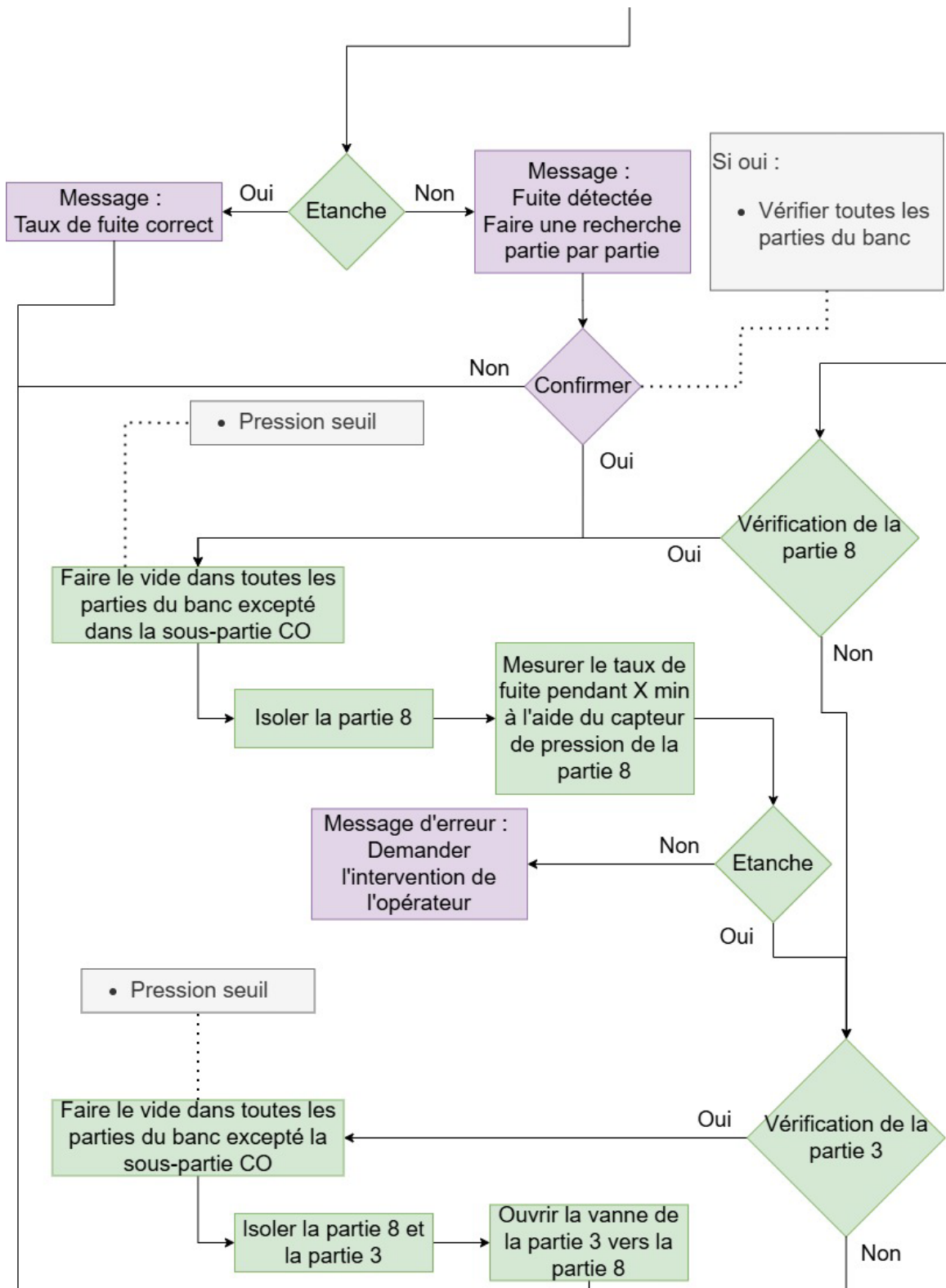
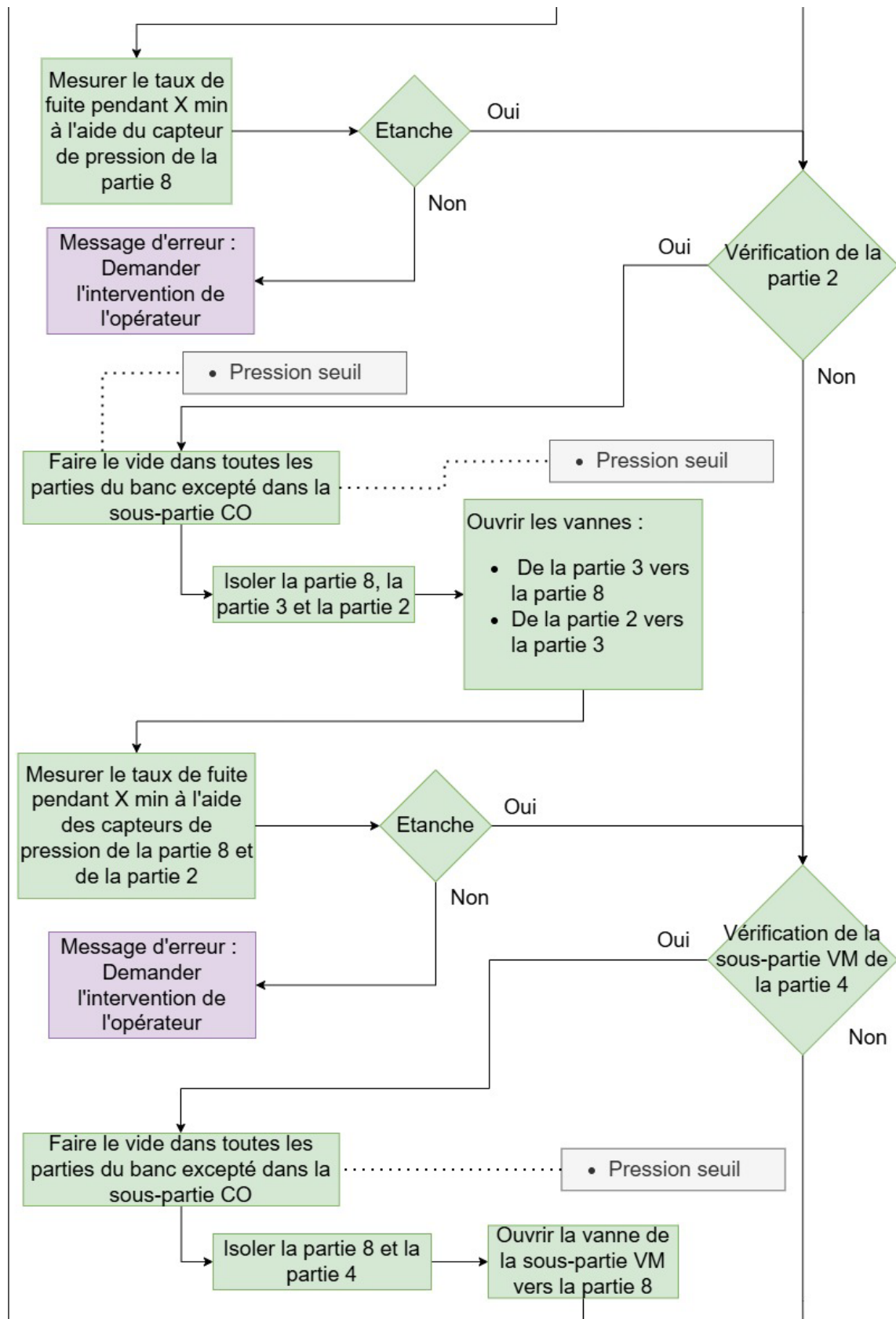


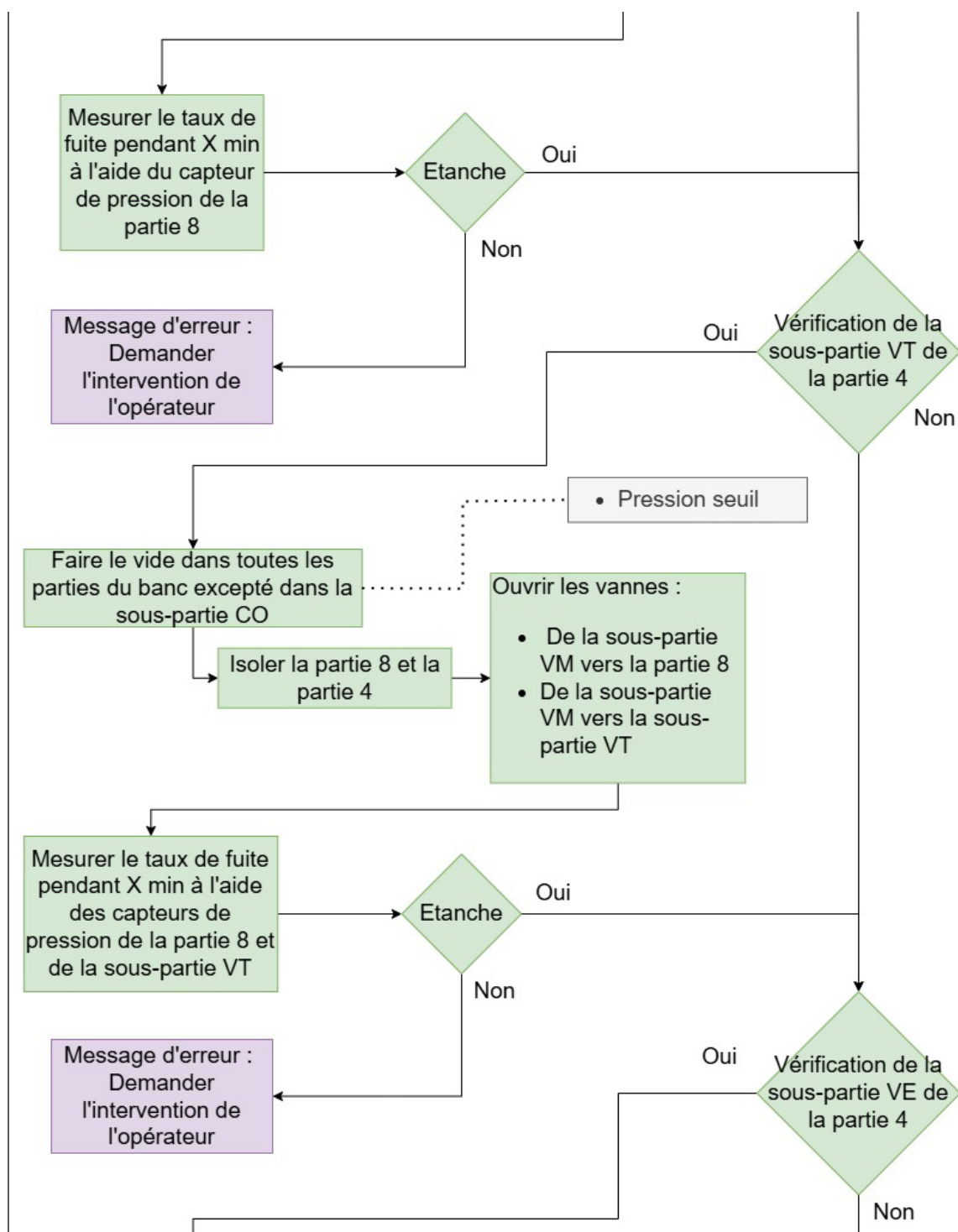
Figure 43 : Logigramme de la séquence de préparation d'une archive.

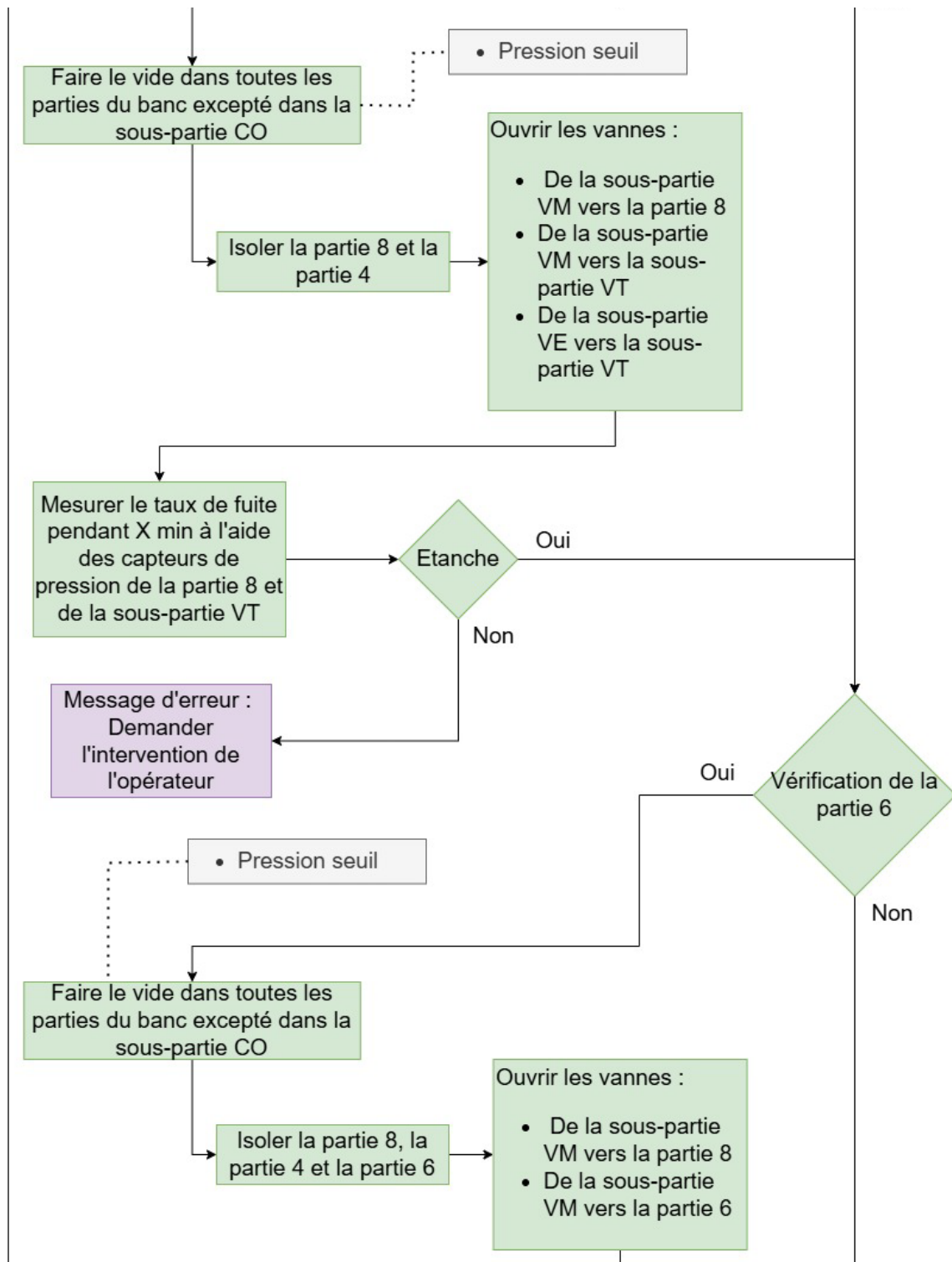
7.5.6.10. S10 : Vérifications techniques

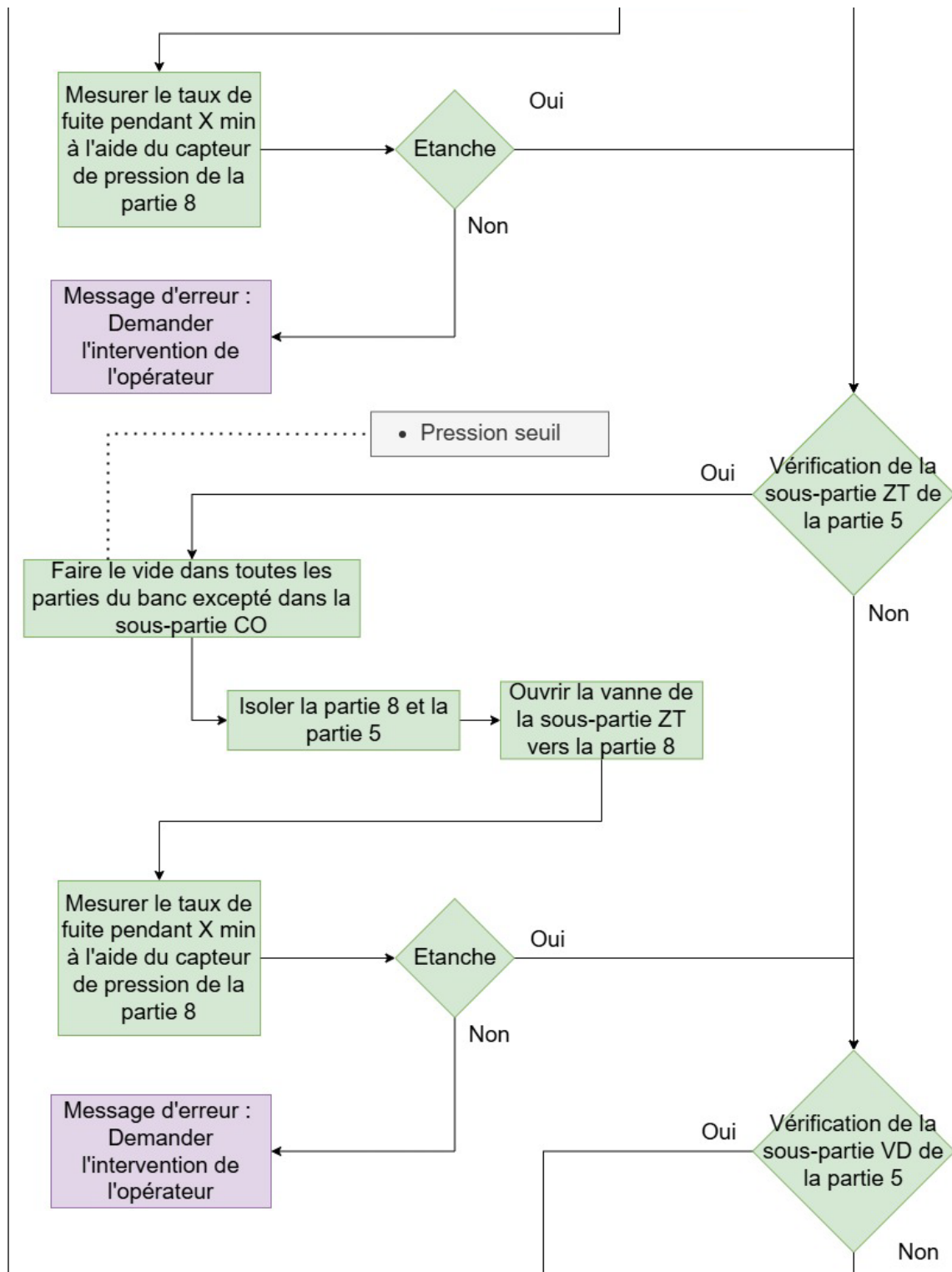


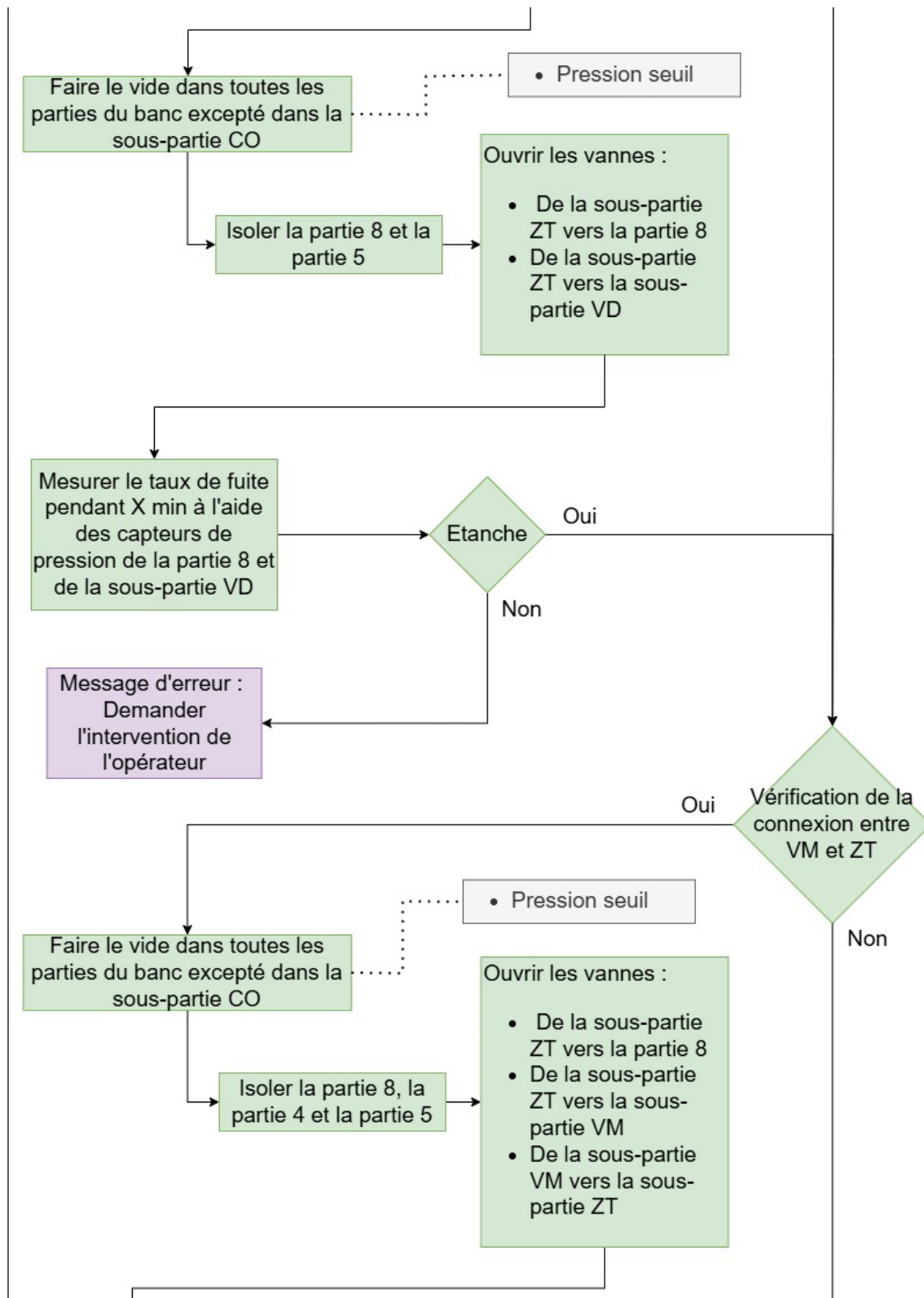


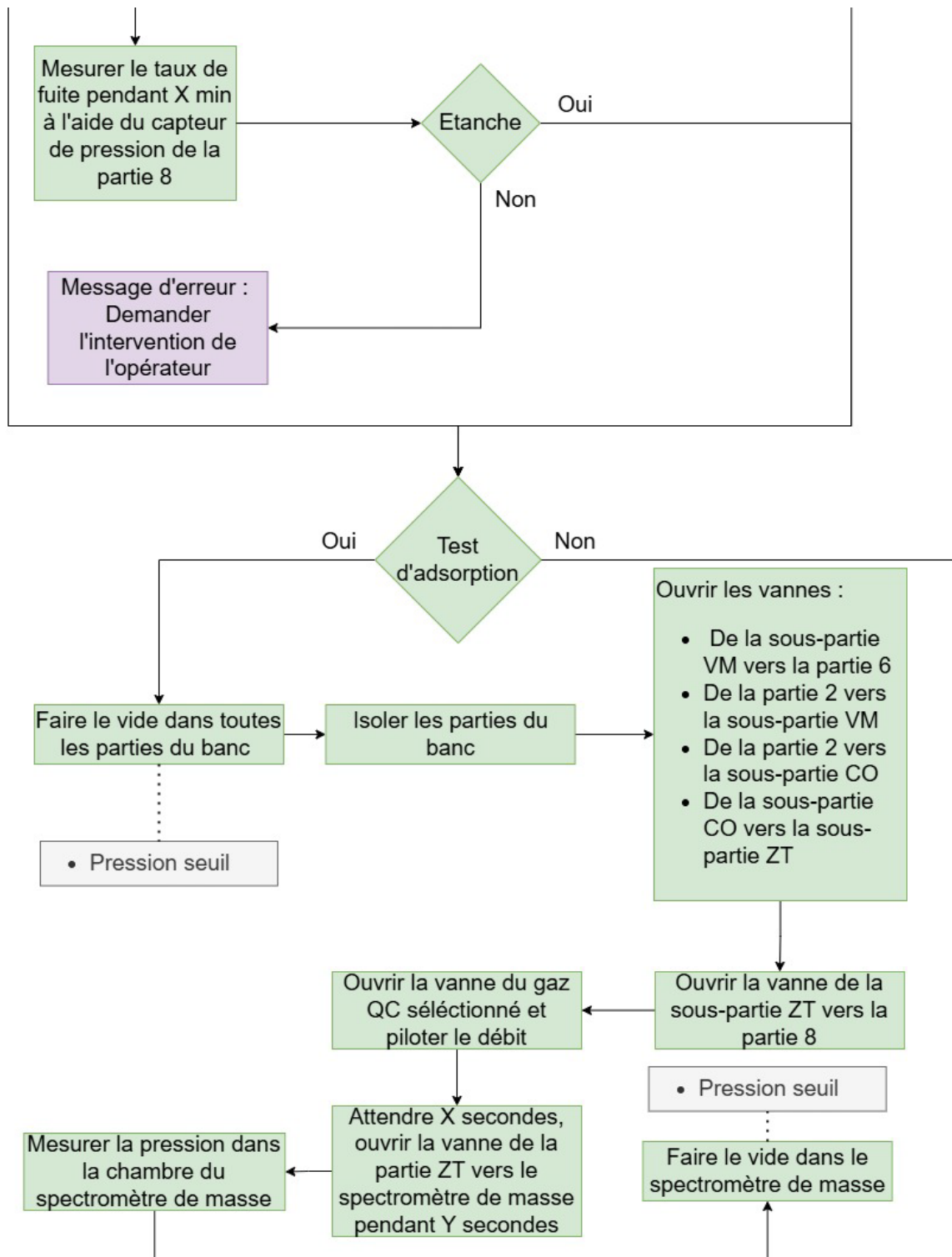












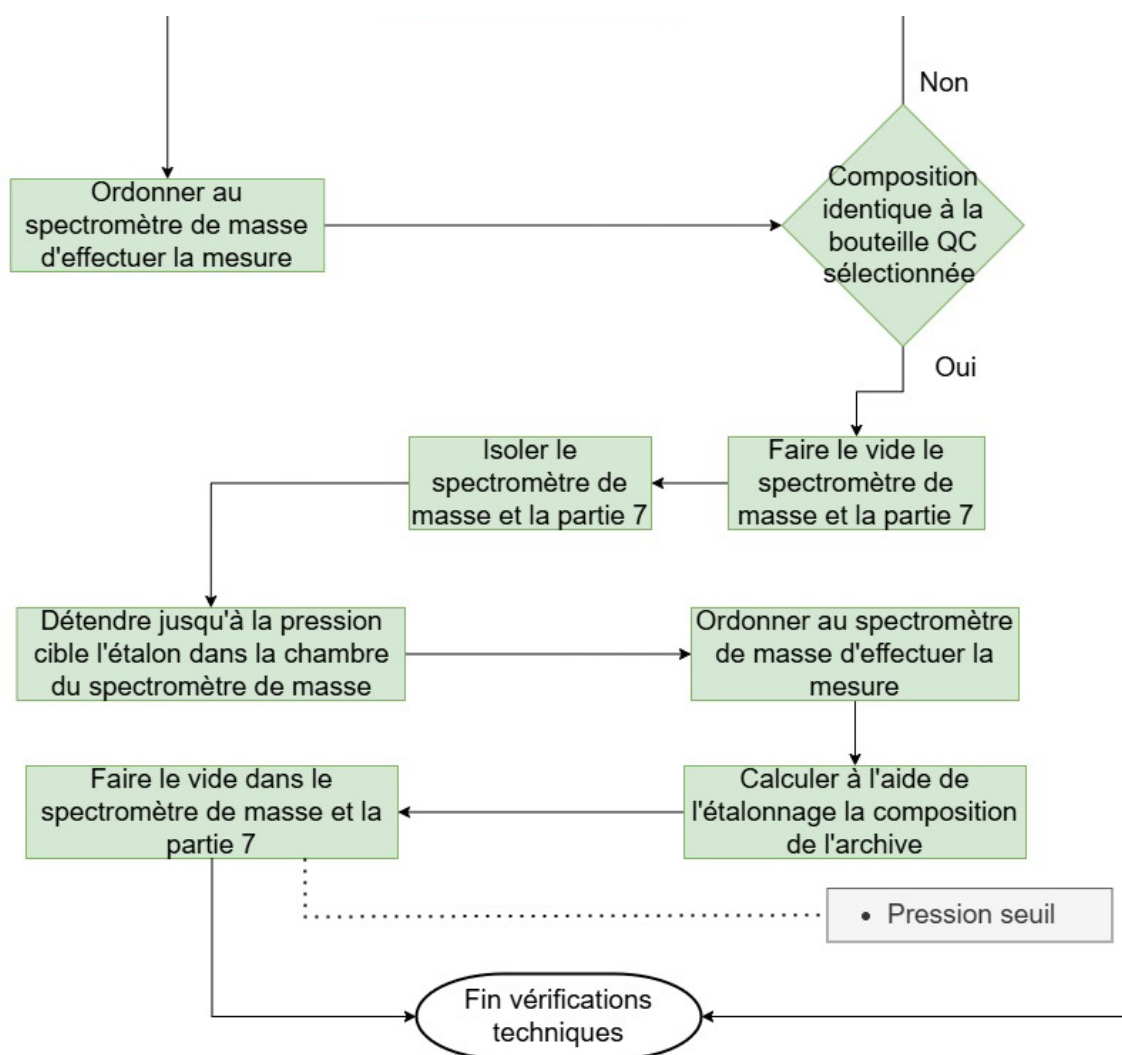


Figure 44 : Logigramme de la séquence de vérification du taux de fuite.

7.5.7 Entrée/Sortie

Pour la programmation du banc automatique, un certain nombre de paramètres d'entrée et de sortie sont nécessaires. Ceux-ci peuvent être utilisés soit pour identifier un échantillon (par exemple le SRID), donner des informations (par exemple les commentaires, les dates), pour savoir comment réaliser les séquences (par exemple en fonction de la nature de l'archive, la méthode de réalisation de certaines étapes sont conditionnées par cette information) ou encore être utilisés dans un calcul. Pour ces derniers, les valeurs sont soit renseignées dans les données de paramétrage, soit obtenues par mesure lors du processus. Toutes les données d'entrée et de sortie, leur origine et leur utilisation seront définies lors de la phase de conception du sous-système contrôle commande.

7.5.1 Gestion des dysfonctionnements

Le Titulaire met en place une méthode définie conjointement pendant la phase de conception pour gérer les écarts de comportement. Il y aura deux grands modes de gestion.

Le premier mode de gestion concerne plutôt un écart par rapport à une règle définie lors d'étapes des différentes séquences ; dans ce cas, un message d'alerte s'affiche et interrompt le processus. Un opérateur prend alors la main en mode expert pour confirmer la prise en compte du message et choisir la conduite à tenir par rapport à celui-ci (arrêter le processus, recommencer le processus, continuer manuellement, ...). Par exemple, en cas d'une fuite détectée dans une partie du banc, l'automate interrompt le processus, un message informe de la situation et demande une action de la part de l'opérateur et que ce dernier confirme soit de recommencer à une étape choisie (niveau expert) soit d'annuler la recette et de reprendre depuis le départ.

Le second mode de gestion est plutôt lié à des aspects de sécurité selon des règles définies dans la matrice de sécurité. Ces règles s'appliquent à tout instant de manière automatique en cas de dysfonctionnement. Dans ce cas, seul un message est affiché pour alerter l'opérateur mais le processus continue selon les actions correctives identifiées. Par exemple, si la pression dans la cellule de spectrométrie gamma excède un seuil, alors cette dernière est mise à l'atmosphère pour éviter de l'endommager.

7.5.2 Calculs

Dans cette partie, il est question de recenser les principaux calculs qui devront être réalisés. La liste ci-dessous vise simplement à donner une idée du travail à réaliser. La liste des calculs, ainsi que les informations complémentaires associées, seront définies pendant la phase de conception.

Calcul de la pression initiale dans l'archive et son incertitude associée :

La pression initiale dans l'archive est calculée par l'automate à l'aide la formule indiquée dans Équation 2.

$$P_{0 \text{ archive}} = \frac{P_{\text{mesurée}} \times (V_{\text{archive}} + V_m)}{V_{\text{archive}}} \quad \text{Équation 2}$$

Avec $P_{\text{mesurée}}$ la pression mesurée après détente de l'archive dans le volume de mesure, $V_m = V_{\text{partie 1}} + V_{\text{partie 2}}$ le volume mort et V_{archive} le volume de l'archive (mesurée avec précision ultérieurement).

L'incertitude liée, $\Delta P_{0 \text{ archive}}$ sera calculée à l'aide de la formule indiquée dans de l'Équation 3.

$$\frac{\Delta P_{0 \text{ archive}}}{P_{0 \text{ archive}}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta P_{\text{mesurée}}}{P_{\text{mesurée}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V_m}{V_{\text{archive}} + V_m}\right)^2 + \left(\frac{V_m \times \Delta V_{\text{archive}}}{V_{\text{archive}} \times (V_{\text{archive}} + V_m)}\right)^2} \quad \text{Équation 3}$$

Calculs du volume de l'archive :

Selon le protocole choisi, il convient d'abord de calculer le volume mort de la partie 4 selon la relation indiquée dans l'Équation 4.

$$V_m = \frac{V_E}{\frac{P_0}{P_1} - 1} \quad \text{Équation 4}$$

Dans cette relation, le volume mort V_m est déterminé à partir du volume étalon V_E qui est connu, et des pressions P_0 et P_1 mesurées pendant la séquence concernée.

Le volume de l'archive, V_I , est ensuite déterminé à partir de la relation indiquée dans l'Équation 5.

$$V_I = V_E \times \frac{\left(\frac{P_2}{P_3} - 1\right)}{\left(\frac{P_0}{P_1} - 1\right)} \quad \text{Équation 5}$$

Dans cette relation, les pressions P_0 , P_1 , P_2 et P_3 sont déterminées pendant la séquence concernée.

Les incertitudes de ces relations sont indiquées respectivement dans les Équation 6 et Équation 7.

$$\frac{\Delta V_m}{V_m} = \left(1 - \frac{P_1}{P_0}\right)^{-1} \times \sqrt{\left(1 - \frac{P_1}{P_0}\right)^2 \times \left(\frac{\Delta V_E}{V_E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta P_0}{P_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta P_1}{P_1}\right)^2} \quad \text{Équation 6}$$

$$\frac{\Delta V_{\text{archive}}}{V_{\text{archive}}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta V_m}{V_m}\right)^2 + \left(1 - \frac{P_3}{P_2}\right)^{-2} \times \left(\left(\frac{\Delta P_2}{P_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta P_3}{P_3}\right)^2\right)} \quad \text{Équation 7}$$

Détermination des taux de fuite par différentiel :

Comme indiqué précédemment, il est régulièrement question de s'assurer de l'étanchéité de différentes parties du banc. Pour cela le taux de fuite est déterminé. Il est calculé selon la relation indiquée par l'Équation 8.

$$\text{Taux de fuite} = \frac{(P_2 - P_1)}{(t_2 - t_1)} \quad \text{Équation 8}$$

Dans cette équation, les pressions P sont mesurées au cours des différentes séquences à un instant t , pour un état initial d'indice 1 et un état final d'indice 2.

Détermination d'une stabilisation d'adsorption par différentiel :

Pour s'assurer que le processus d'adsorption est terminé, il est possible de déterminer le différentiel de pression selon la relation indiquée par l'Équation 9.

$$\text{Différentiel adsorption} = \frac{(P_2 - P_1)}{(t_2 - t_1)} \quad \text{Équation 9}$$

Contrairement à l'équation précédente (Équation 8), il est ici question de déterminer le différentiel de manière dynamique en calculant continuellement cette valeur en ayant pris soin de fixer la différence entre les deux temps dans les paramètres. Pour valider le critère de stabilisation, il faut que le différentiel soit inférieur à une valeur spécifiée par l'opérateur ce qui traduit que la pression n'évolue plus significativement et donc que le processus d'adsorption est à l'équilibre.

Mesure du signal du spectromètre de masse et incertitude associée :

Le signal obtenu en spectrométrie de masse dépend de la sensibilité de l'instrument au moment de la mesure, de la matrice, de la teneur en Xe et de la pression en Xe au niveau de la source d'ionisation. De manière générale, l'objectif est de se placer lors de l'étalonnage au plus proche des conditions de mesure de l'échantillon inconnu. Malgré tout, à chaque mesure réalisée par le spectromètre de masse,

on détermine le signal normalisé par la pression. De plus on considère une moyenne de signal ainsi que son écart-type pour considérer des valeurs plus robustes.

$$S_N = \left(\frac{S}{P} \right) \text{ et écart-type} \quad \text{Équation 10}$$

Le signal normalisé S_N et son écart-type sont déterminés pour chaque masse d'intérêt, pour les échantillons inconnus comme pour les étalons.

Détermination des paramètres de régression des droites d'étalonnage du spectromètre de masse :

Une particularité de la spectrométrie de masse est qu'elle est capable de déterminer la teneur par isotope d'un élément mesuré. Ainsi, du fait de l'abondance naturelle, la quantité totale en Xe est la somme de chaque isotope du Xe. Même si les isotopes sont différents, la sensibilité de l'équipement vis-à-vis des isotopes d'un même élément est la même (attention : cela est vrai dans une même matrice). Pour permettre la quantification du Xe, une à deux droites d'étalonnages sont construites en représentant le signal normalisé des isotopes de l'étalon en fonction de la teneur en chaque isotope dans l'étalon. Une droite de régression de type linéaire ou de type polynomiale est alors déterminée à partir des données ainsi que tous les éléments de régression associés (ANOVA, matrice de covariance, ...). Ces éléments sont utiles pour la détermination de l'incertitude.

Note : il n'est pas exclu de s'intéresser la sensibilité de certains isotopes très faiblement abondant et de les retirer de la régression pour éviter d'ajouter un biais.

Détermination de la teneur en Xe à partir des paramètres de régression :

Une fois les paramètres de régression connus, on détermine la teneur de chaque isotope $x_{z_{Xe}}$ (exemple ici d'un étalonnage linéaire - Équation 11) puis on détermine la teneur totale en faisant la somme de chaque isotope (Équation 12).

$$x_{\text{éch}Xe} = \frac{(S_{\text{éch}Xe} - \text{origine})}{\text{pente}} \quad \text{Équation 11}$$

$$x_{\text{éch}Xe} = \sum x_{z_{Xe}} \quad \text{Équation 12}$$

Note : la méthode de détermination des incertitudes sera validée plus tard lors de la phase de conception.

Note : si la sensibilité à certains isotopes est trop faible, la teneur totale peut être déterminée par abondance isotopique sur un ou plusieurs isotopes d'intérêt.

Calcul du rendement de transfert et incertitude associée :

Pour s'assurer de respecter le critère OTICE, une fois tous les paramètres déterminés, il convient de déterminer le rendement selon la formule indiquée dans l'Équation 13.

$$\eta = \frac{n_{Xe}^{Cel}}{n_{Xe}^{Arch}} = \frac{x_{Xe}^{Cel} \times P^{Cel} \times V^{Cel} \times T^{Arch}}{x_{Xe}^{Arch} \times P^{Arch} \times V^{Arch} \times T^{Cel}} \quad \text{Équation 13}$$

Dans cette équation, x est la teneur en xénon (sans unité), P est la pression (Pa), V le volume (mL) et T la température (Kelvin). L'indice Cel fait référence à la cellule de mesure et l'indice Arch à l'archive.

L'incertitude de cette équation est indiquée selon la formule de l'Équation 14.

$$\frac{\Delta\eta}{\eta} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x_{Xe}^{Cel}}{x_{Xe}^{Cel}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta P^{Cel}}{P^{Cel}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta V^{Cel}}{V^{Cel}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta T^{Cel}}{T^{Cel}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta x_{Xe}^{Arch}}{x_{Xe}^{Arch}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta P^{Arch}}{P^{Arch}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta V^{Arch}}{V^{Arch}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta T^{Arch}}{T^{Arch}} \right)^2} \quad \text{Équation 14}$$

Calcul du volume de Xe (CNTP) :

Le volume de xénon dans les conditions normales de température et pression (CNTP) est une manière de présenter la quantité de xénon contenue dans l'archive et la cellule.

Le calcul du volume de xénon CNTP (V_{Xe}) est le suivant (Équation 15):

$$V_{Xe} = \frac{P \times V \times T_{CN}}{T \times P_{CN}} \times [Xe] \quad \text{Équation 15}$$

Avec P , V , T et $[Xe]$ respectivement la pression, le volume, la température et $[Xe]$ la teneur en xénon du volume considéré. T_{CN} et P_{CN} respectivement la température et la pression normalisées ($T_{CN} = 273.15^\circ K$ et $P_{CN} = 101325 Pa$).

Calcul du volume équivalent :

Le volume équivalent correspond au volume d'air à traiter nécessaire pour obtenir un volume de xénon CNTP.

Le calcul du volume équivalent est le suivant (Équation 16) :

$$V_{Xe}^{Eq} = \frac{V_{Xe}}{[Xe]_{Naturel}} = \frac{P \times V \times T_{CN}}{T \times P_{CN}} \times \frac{[Xe]}{[Xe]_{Naturel}} \quad \text{Équation 16}$$

Avec $[Xe]_{Naturel}$ la teneur naturelle en xénon dans l'air ambiant ($[Xe]_{Naturel} = 87 \pm 1 ppbm$).

Calcul de la capacité d'adsorption :

Le calcul de la capacité d'adsorption est utilisé pour caractériser la performance de l'adsorbant dans le temps. Le calcul de la capacité d'adsorption est indiqué par l'Équation 17.

$$Capacité = \frac{n_{Xe}^{exp}}{m_{ads}} = \frac{D \times P \times (t \times C_{Xe}^{QC} - A_{Xe}^{(t)})}{R \times T \times m_{ads}} \quad \text{Équation 17}$$

Avec, n_{Xe}^{exp} pour la quantité de Xe (mol), m_{ads} la masse d'adsorbant de la colonne (g), t pour le temps de charge (s), D pour le débit de charge ($Nm^3.s^{-1}$), C_{Xe}^{QC} pour la fraction molaire de Xe dans le gaz QC utilisé (sans unité), P pour la pression normale (101 325 Pa), R pour la constante des gaz parfaits ($8.314 J.K^{-1}.mol^{-1}$), T pour la température normale (273.15 K), $A_{Xe}^{(t)}$ pour l'aire mesurée en xénon au temps t (note : $1ppbm.s = 1 \times 10^{-9} s$).

8. LISTE DE DIFFUSION

Destinataires :

CEA/DAM/DMSI	B. LEBRET
CEA/DAM/DSNP	P. GIRARD, M. DE-SEQUEIRA
CEA/DIF/BACO	A. CRUAU
CEA/DIF/DASE	A. TOGNELLI, O. FLAMANT, V. DROUET
CEA/DIF/DASE/SRCE	F. LEPRIEUR, S. TOPIN
CEA/DIF/DASE/SRCE/LRBN	V. LOURENÇO, P. GROSS, A. DE-VISMES, G. COUCHAUX
CEA/DIF/DASE/SRCE/ <i>Chrono</i>	<i>Exemplaire de l'émetteur pour archive</i>