



Spécification de besoin

Logiciel de pilotage du banc d'assemblage et de mesure

Projet ATLAS – NSW

Auteur

Michel MUR	DSM/Irfu/Sedi	Chef du projet ATLAS-NSW
------------	---------------	--------------------------

Suivi

Version 0.1	21/09/2016	Initial
Version 0.4	13/04/2017	Séquences et primitives

Sommaire

Sommaire	2
1 Introduction	5
2 Constitution et construction du module	6
2.1 Constitution du module	6
2.2 Construction du module	6
2.3 Qualification des panneaux	7
2.4 Application de la colle	7
3 Éléments du banc d'assemblage et de mesure	8
4 Conventions d'axes et repères	9
4.1 Axes et repères machine	9
4.2 Intervalles accessibles	9
4.3 Volume utile	9
4.4 Limites logicielles	10
4.5 Repère pièce	10
4.6 Transformation de coordonnées	10
5 Procédure d'encollage	11
5.1 Procédure d'encollage du panneau	11
5.2 Méthode	11
5.3 Temps de dépôt	11
5.4 Routine élémentaire de dépôt	11
5.5 Autres procédures automatiques	12
6 Procédures de mesure	13
6.1 Mesure couplée	13
6.2 Mesure découplée	13
7 Séquences	14
7.1 Format de séquence	14
7.2 Primitives de séquence	14
7.2.1 Actions de séquence	14
7.2.2 Directives de séquence	14

7.2.3	Table des primitives de séquence	15
7.3	Séquences typiques	16
8	Environnement logiciel	18
8.1	Environnement pour le contrôleur d'axes PMC	18
8.1.1	Environnement graphique pour le GUI	18
8.1.2	Environnement indirect pour le pistolet d'encollage	18
8.2	Environnement pour le capteur Stil	18
8.2.1	Environnement graphique pour le GUI	18
8.2.2	À explorer	18
9	Initialisation et « homing » du portique	19
9.1	Routine d'initialisation	19
9.2	Routine d'initialisation de l'axe 1 (Y, portique)	19
9.3	Routine d'initialisation de l'axe 3 (virtuel, contrôle du débit de colle)	19
9.4	Routine d'initialisation de l'axe 2 (X, navette)	20
9.5	Routine d'initialisation de l'axe 4 (virtuel, inutilisé)	20
9.6	Routine d'initialisation de l'axe 7 (Z, vertical)	20
9.7	Routine de « homing » pour l'axe 1 (Y, portique)	20
9.8	Routine de « homing » pour l'axe 2 (X, navette)	23
	Routine de « homing » pour l'axe 7 (Z, vertical)	23
9.9	Mémos sur les macros	25
10	Annexe 1 : Rappel (extrait) des spécifications demandées	26
10.1.1	Prestation associée : Intégration de la tête de métrologie	26
10.1.2	Prestation associée : Intégration de la tête de collage	26
10.1.3	Services fournis par le portique	27
11	Annexe 2 : Précision de la mesure d'altitude	28
12	Annexe 3 : Spécification de la tête de métrologie	29
13	Annexe 4 : Spécification de la tête de collage	30
14	Annexe 5 : Environnement et procédé	31
14.1	Salle propre ISO 7	31
14.2	Le procédé	31
14.2.1	Assemblage horizontal	32
14.2.2	Aspiration	32
14.2.3	Collage	32



14.2.4	Assemblage vertical	32
14.2.5	Contrôle qualité	33
14.2.6	Automatismes	33

1 Introduction

Le présent document fournit la spécification de besoin du logiciel de pilotage du « banc d'assemblage et de mesure », un équipement destiné à l'assemblage et à la métrologie de modules de détection réalisés au CEA par l'Institut de Recherche sur les lois Fondamentales de l'Univers (Irfu) pour l'expérience Atlas de physique des particules au CERN.

Deux bancs d'assemblage et de mesure identiques sont installés dans la salle propre du bat 546 sur le centre de Saclay. Chaque banc est constitué d'un marbre de 3000 mm*2350 mm sur lequel est monté un portique 3 axes de portée horizontale XY 2100 mm*2400 mm et de portée verticale Z 350000 µm. Une semelle gabarit aspirante en granite est posée sur le marbre et reçoit les pièces à assembler/mesurer sur sa face supérieure.

La tête mobile du portique porte plusieurs instruments :

1. Un pistolet automatique de dépose de colle bi-composants preeflow ecoDuo600 ;
2. Un capteur optique à laser confocal pour la mesure d'altitude Stil_Prime CL5MG20 ;
3. Une (ou plusieurs) caméra(s) de monitoring et/ou de positionnement, non encore définie(s).

Les modules de détection réalisés sont constitués d'un assemblage de 5 panneaux trapézoïdaux composites d'environ 3 m². Chaque panneau est lui-même un assemblage de deux peaux extérieures en circuit imprimé fibre de verre époxy entourant une âme d'environ 10 mm, elle-même constituée de profilés en aluminium et de nid d'abeille métallique. Les dépôts de colle sont réalisés en 2 passes séparées pour chacune des peaux alors posée à plat sur la semelle, pour la solidariser avec l'âme profilés/nid d'abeille. Les panneaux ainsi assemblés sont soumis à des sessions de métrologie en place à divers points d'avancement du process.

Le logiciel de pilotage doit répondre aux fonctions suivantes :

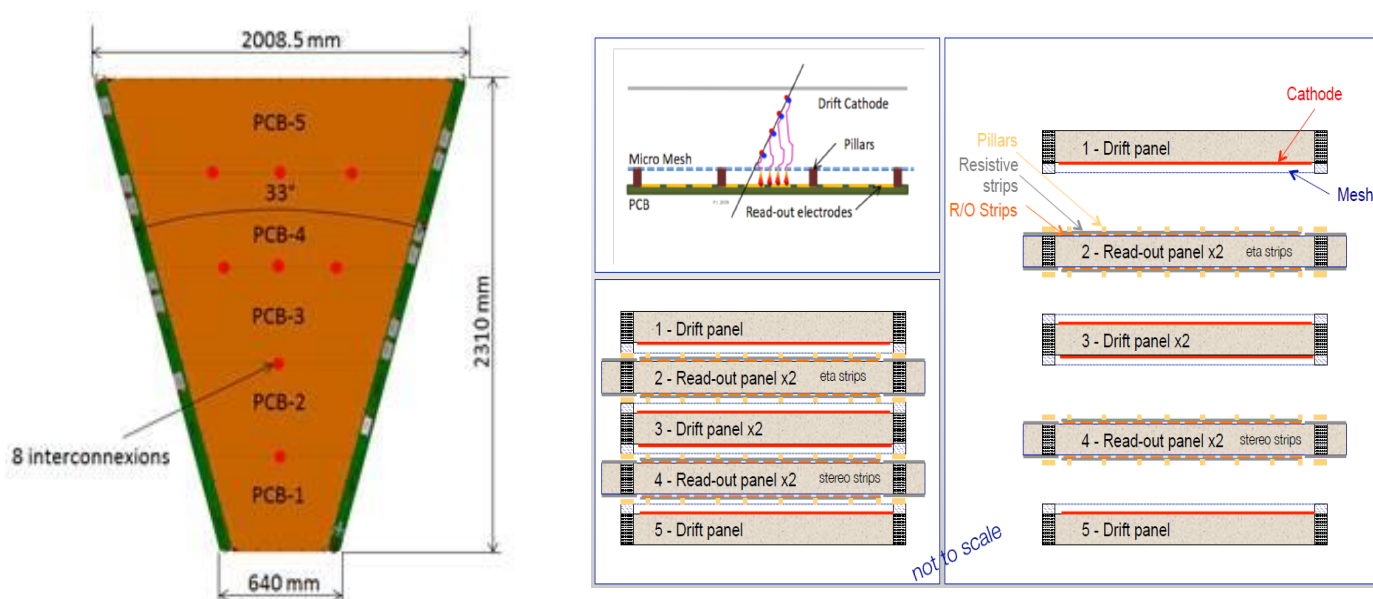
- Pour les opérations de collage, contrôler le mouvement de la tête au-dessus des pièces planes et horizontales à encoller, et asservir simultanément le débit de colle à la vitesse vectorielle de la tête dans le plan XY ;
- Pour les opérations de mesure d'altitude, contrôler le mouvement de la tête à Z fixé au-dessus des pièces à mesurer, et assurer la capture simultanée des valeurs de distance recueillies par le capteur optique.

Le logiciel doit fournir une interface pousse-bouton donnant accès à une série de procédures prédéfinies pour le collage et la mesure. La procédure à lancer dans une phase particulière du process sera clairement définie dans le manuel des opérations propre à chaque type de panneau. Pour des raisons de sécurité liée aux pièces en mouvement, le logiciel doit prévoir des modes de validation où le mouvement à venir peut être pré-visualisé et validé avant action réelle. Les données de mesure sont à terme rangées selon les spécifications de la base de données du site de Saclay. En cas d'interruption au cours d'une procédure de collage, la traçabilité des actions élémentaires doit permettre de reprendre la procédure au point d'interruption.

2 Constitution et construction du module

2.1 Constitution du module

Chaque module est constitué d'un empilement de 5 panneaux composites comprenant notamment des peaux en fibre de verre-epoxy (circuits imprimés), des barres de structure en aluminium et un cœur en nid d'abeille d'aluminium. L'objet final est un empilement plan d'épaisseur ~8 cm et de surface 3 m², dont la forme est trapézoïdale (isocèle, grande base : 2.01m ; hauteur : 2.31m ; petite base 0.64m). Ci-dessous à g. : Une des deux faces d'un des panneaux de lecture ; ci-dessous à d. : Vue en coupe montrant les 5 panneaux du module réalisé.



Les panneaux sont de 3 types : panneau de lecture double, panneau de dérive simple, panneau de dérive double. Les 2 panneaux de lecture portent sur chacune de leurs faces les pistes sensibles qui détecteront les particules, gravées sur les circuits imprimés PCB-1 à PCB-5.

La connaissance de la position des pistes sensibles doit être maîtrisée dans le plan à 40 µm et dans l'épaisseur à 80 µm. Il en résulte une série de contraintes dimensionnelles à appliquer aux panneaux et à leur assemblage.

2.2 Construction du module

La procédure de construction des panneaux requiert un équipement spécifique formé de plusieurs éléments : un « marbre », un « portique motorisé », et, pour certaines opérations, une « semelle aspirante ».

L'assemblage de chacun des panneaux composites est réalisé par collage, en utilisant par deux fois une table très précise fournissant une surface inférieure de référence (« marbre »). Avant collage, les pièces à assembler sont placées sur une plaque intermédiaire (« semelle aspirante ») de 8 cm d'épaisseur apposée sur le marbre. Elles sont positionnées précisément à l'aide de guides métalliques cylindriques verticaux (pions de précision) inclus dans la périphérie de la semelle, qui dépassent de la surface de la semelle de quelques mm à 20 mm. Les pièces sont ensuite maintenues en position par un système d'aspiration pendant toute la phase de durcissement de la colle. Les opérations sont réalisées en salle propre à température et hygrométrie stabilisées.

2.3 Qualification des panneaux

Dans le cadre du processus de contrôle qualité pour l'acceptation des modules, une phase de métrologie fine est nécessaire pour mesurer l'altitude (Z) de chaque panneau (plan) réalisé, lorsqu'il est en position horizontale sur la *semelle aspirante*. Cette mesure requiert un système de portique mobile 3 axes (« *portique motorisé* »), porteur d'une tête de métrologie optique qui vient balayer le panneau sur l'ensemble de sa surface de 3 m² pour en faire la cartographie d'altitude.

Compte-tenu du phasage du processus global, une durée maximum est allouée à l'opération complète de métrologie. La vitesse de déplacement spécifiée pour les chariots du portique motorisé est une conséquence de cette allocation.

Le processus de qualification de chaque panneau repose sur une mesure globale de sa planéité et e son épaisseur. La planéité est déterminée à partir d'une série de mesures d'altitude réalisées sur l'ensemble de la surface¹. Le panneau est accepté si son erreur de planéité reste contenue dans un budget de $\pm 55 \mu\text{m}$ (pic-pic).

2.4 Application de la colle

Le *portique motorisé* est aussi porteur d'une tête de mélange et de distribution de colle. Cette tête de collage permet le dépôt automatique d'un film de colle sur l'ensemble du panneau, en application uniforme ou selon des formes et débits particuliers dans certaines zones de la surface.

Compte tenu du temps de prise de la colle utilisée, une durée maximum est allouée à l'opération complète de dépôt.

La vitesse de déplacement spécifiée pour les chariots du portique motorisé dépend aussi de cette allocation. Des caractéristiques d'interpolation lui sont demandées pour permettre des chemins de dépôt continus mettant en jeu plusieurs axes (en tout cas X et Y pour les dépôts sur les surfaces planes horizontales).

¹ La mesure de planéité est effectuée selon différentes modalités : Dans certains protocoles, le panneau est aspiré en face inférieure. Dans d'autres, il est laissé libre sans contrainte sur la semelle. La mesure globale résulte de l'analyse des 2 faces.

3 Éléments du banc d'assemblage et de mesure

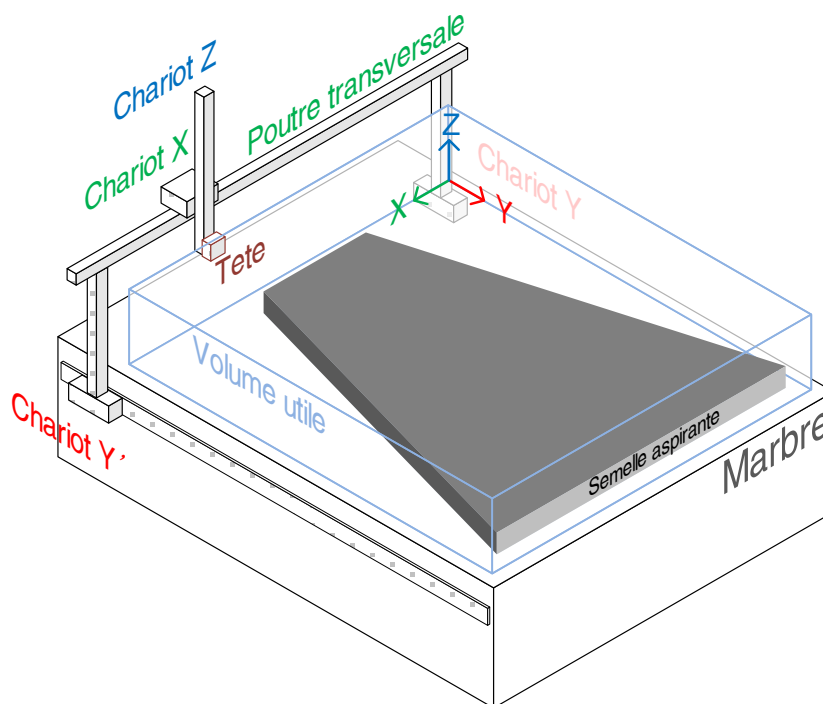
Chacun des 2 bancs d'assemblage et de mesure associe tout ou partie des éléments suivants :

- 1- **Marbre** : Table de référence rectangulaire horizontale. Résistante, plane et uniforme, elle présente des caractéristiques de planéité, de stabilité et d'inertie dimensionnelle particulièrement exigeantes.
- 2- **Portique motorisé** : Système mobile 3 axes monté sur le *marbre*, de haute précision dimensionnelle, portant et déplaçant les têtes de métrologie et de collage, et constitué des composants suivants :
 - Axes et chariots mobiles pour les 3 directions X, Y et Z,
 - Système d'entraînement et de motorisation pour les 3 axes,
 - Automatismes permettant l'asservissement et la synchronisation des opérations de métrologie et collage,
 - Platine porte-têtes permettant le support simultané des têtes de mesure et de collage,
 - Bibliothèque de fonctions logicielles contrôlant le déplacement des têtes et le pilotage des automatismes de mesure et de collage.
- 3- **Semelle aspirante** : Plaque de référence réalisée à la demande selon la forme des pièces à réaliser, apposée sur le *marbre*, et présentant à son tour en face supérieure la surface plane horizontale de référence pour les pièces à assembler. La *semelle aspirante* comporte des pions métalliques très précis contrôlant le positionnement des pièces dans le plan horizontal (selon X et Y). Une fois les pièces installées en position, la *semelle aspirante* assure leur placage par aspiration pendant la phase d'assemblage par collage.
- 4- **Tête active** : Suivant la phase du process, la tête active est soit la tête de métrologie, soit la tête d'encollage. Les opérations de collage ne nécessitent pas de métrologie (TBC).

4 Conventions d'axes et repères

4.1 Axes et repères machine

La figure ci-dessous reprend de façon symbolique les principaux éléments du banc, donne la convention d'axes utilisée et illustre le volume utile de portée de la tête de travail.



[Illustration de principe, pas à l'échelle]

L'origine des axes machine O_m ($X=0$, $Y=0$, $Z=0$) est placée comme indiqué sur la figure, légèrement à l'intérieur du volume accessible au déplacement en X et Y.

4.2 Intervalles accessibles

Les intervalles de déplacement du portique sont :

Axe	Intervalle	Commentaire
X	[-70 mm .. +2150 mm]	
Y	[-70 mm .. +2400 mm]	
Z	[0 .. 350000 μ m]	

4.3 Volume utile

Le volume utile est légèrement différent pour les têtes de mesure et de collage, la tête de mesure étant placée latéralement dans la direction X.

4.4 Limites logicielles

Des limites « logicielles » observées par le contrôleur d'axes peuvent être installées sur les 3 axes pour se prémunir contre une mauvaise programmation de l'utilisateur.

Pour l'axe X (vitesse max 600 mm/s, accélération/décélération max 3000 mm/s²), l'intervalle doit être réduit de 60 mm dans la zone basse et la zone haute pour laisser l'espace suffisant à une décélération vers l'arrêt avant atteinte des butées physiques.

Pour l'axe Y (vitesse max 200 mm/s, accélération/décélération max 500 mm/s²), l'intervalle doit être réduit de 40 mm dans la zone basse et la zone haute pour laisser l'espace suffisant à une décélération vers l'arrêt avant atteinte des butées physiques.

Pour l'axe Z, la limite logicielle peut être installée pour éviter que la tête ne vienne percuter la semelle aspirante et les pions de précision. Une limite basse de 85000 µm garantit contre ce type de collision sur la semelle Thelma. Pour la semelle Louise plus épaisse, la limite basse de sécurité est de 140000 µm.

Les limites logicielles sont installées lors de l'exécution du script d'initialisation au démarrage du contrôleur d'axes. Elles peuvent être changées ensuite plus tard par le programme utilisateur. Si une section de programme particulière nécessite l'accès aux zones protégées, les limites peuvent être désactivées en connaissance de cause avant cette section puis réactivées ensuite.

4.5 Repère pièce

La semelle aspirante est placée sur le marbre à une position centrée et symétrique en X et à un déplacement « idéal » en Y qui permet aux 2 têtes d'atteindre l'ensemble de la pièce à mesurer/encoller. La semelle est orientée au mieux le long de l'axe Y pour être symétrique, mais il peut être nécessaire de prendre en compte la rotation résiduelle par rapport à l'axe du marbre dans les transformations de coordonnées.

La pièce est à son tour indexée sur la semelle aspirante par des pions de précision.

Le repère pièce est donc obtenu par translation d'origine et rotation à partir du repère machine.

4.6 Transformation de coordonnées

L'origine pièce est choisie arbitrairement au centre du pion de précision Nord du PCB #5 au point Op (X0p, Y0p) (en coordonnées machine).

Si l'angle de la semelle est négligeable, les coordonnées machine à utiliser pour atteindre le point (x, y) (en coordonnées pièce) sont alors $(X=x+X0p, Y=y+Y0p)$. Sinon, ajouter rotation.

Pour le repère pièce, l'axe x est défini par le segment rejoignant Op au pion de précision Sud du PCB#5. L'axe y est placé pour former un repère orthonormé direct.

5 Procédure d'encollage

5.1 Procédure d'encollage du panneau

Encollage uniforme de la surface d'un panneau (~3m²), pour l'une ou l'autre peau suivant la phase du process.

5.2 Méthode

Appliquer des rubans de colle uniquement selon X (vitesse la plus élevée).

Pour obtenir un âge de colle réparti uniformément, parcourir la surface plusieurs fois en montant et descendant selon Y, en appliquant à chaque fois le nouveau ruban entre les rubans déjà déposés, dans un mode entrelacé.

5.3 Temps de dépôt

Après dépôt la colle reste manipulable pendant 2 h, mais n'est suffisamment souple que pendant 1 h. À l'issue du dépôt, les opérateurs doivent disposer d'un temps suffisant pour disposer les pièces sur le lit de colle, mettre en place l'aspiration sous bâche à vide, disposer le stiffback en position, etc.

L'objectif est donc d'encoller la surface complète en environ 30 mn, avec une épaisseur équivalente uniforme de 300µm. La quantité de colle pour une surface de panneau est donc de l'ordre de 900 ml.

Le pistolet est capable de déposer 32ml/mn au max. L'axe Y se déplace à 600 mm/s au max. On dispose de 2 réservoirs de 600 ml pour chacun des composants A & B de la colle (Araldite 2011). Le système peut donc potentiellement délivrer 1200 ml de colle en 37.5 mn, ce qui est compatible avec l'objectif.

En 30 mn, le ruban déposé à débit max est de 600*60*30 mm, soit 960 m. En ramenant le trapèze à un rectangle équivalent de $x*y = 2.3m * 1.3m$, le système aura alors déposé $960/1.3 = 738$ segments, séparés de $2300/738 = 3.1$ mm.

5.4 Routine élémentaire de dépôt

La routine élémentaire de dépôt selon un segment X (à Y fixe), du point de départ (Xd,Y) au point d'arrivée (Xa,Y), est la suivante :

[Préalable : Configurer l'axe 3 (alloué au contrôle de débit proportionnel) comme esclave de l'axe X, avec le bon rapport d'asservissement.]

- 0- Se placer au point de départ (Xd,Y) du segment à encoller
 - 1- [Si nécessaire, lancer la descente du pistolet vers la hauteur de travail pour le collage et attendre qu'il y soit parvenu]
 - 2- Quasi-simultanément :
 - Mettre en service le collage. Commande tout ou rien sur la sortie numérique « Collage » du contrôleur d'axes.
- Et
- Lancer un mouvement de l'axe X à destination de Xa
- 3- Attendre que le mouvement soit arrivé à destination Xa, en utilisant une fonction non bloquante de MCapi. Note : Pendant ce mouvement, on peut suivre la progression du déplacement.
 - 4- Mettre hors service le collage. Commande tout ou rien sur la sortie numérique « Collage » du contrôleur d'axes.

-
- 5- [Si nécessaire, lancer la levée du pistolet en Z vers une hauteur de repli pour l'échappement des pions et obstacles]
 - 6- Pour une durée à préciser, activer la rétro-aspiration pour éviter un dépôt intempestif après le mouvement lié au segment. Impulsion en tout ou rien sur la sortie numérique « suckback » du contrôleur d'axes.
 - 7- [Si nécessaire, attendre la levée complète du pistolet]
 - 8- Aller au point de départ du segment suivant (étape 0- du segment suivant) en mode XY interpolé, à la vitesse vectorielle max correspondant à l'angle de ce mouvement.

5.5 Autres procédures automatiques

Pour le moment pas d'autre procédures automatiques (TBC).

6 Procédures de mesure

2 stratégies possibles : mesure couplée et mesure découplée.

6.1 Mesure couplée

Le contrôleur d'axes fournit des signaux de « trigger » à des positions déterminées,

Et

Le contrôleur Stil attend ces triggers pour prendre les mesures.

6.2 Mesure découplée

Le contrôleur d'axes exécute le parcours, en fournissant à tout moment sa position X Y sur des signaux électriques d'encodeur en quadrature.

Note : On ne dispose pas de signal électrique d'encodeur pour l'axe Z.

Ces signaux électriques d'encodeur X&Y sont transmis au contrôleur Stil (par un câble reliant le boîtier contrôleur d'axes en face arrière et le contrôleur Stil-PRIMA en face avant).

Le contrôleur Stil réalise une prise de mesures continue, et enregistre pour chaque mesure la position XY fournie par l'encodeur.

7 Séquences

Une séquence est une liste ordonnée d'actions élémentaires de la tête pour réaliser un parcours de métrologie seule, d'encollage seul ou même un parcours combiné.

Une séquence peut être compilée dans l'ordre de ses actions pour ajouter les positions de départ de chaque action, le temps estimé de chaque action et le temps accumulé estimé.

Pendant l'exécution, le temps de chaque action et le temps réel accumulé peut être ajouté.

7.1 Format de séquence

7.2 Primitives de séquence

2 types de primitives : actions et directives.

7.2.1 Actions de séquence

Les actions exécutent une opération réelle unique (mouvement seul, mouvement avec collage, mouvement avec mesure, pause, etc.).

L'opération déclenchée par une action dépend :

- De la position courante où le système a été amené par les actions précédentes. Un traitement spécial est nécessaire pour la première action, pour y faire coïncider le point de départ initial prévu par la séquence et le point de départ réel.
- Du code propre de l'action, défini par son opCode, ses opérandes A à E et son opMode.
- Des paramètres courants de la séquence, fixées par ailleurs par les directives.

7.2.2 Directives de séquence

Les directives positionnent un paramètre de séquence qui sera utilisé dans la ou les actions à suivre. Elles ne donnent pas lieu à une opération exécutable immédiatement, mais effectuent des réglages qui seront utilisés par la suite.

7.2.3 Table des primitives de séquence

enum opCodes { doNothing=0, vertiLine, horizLine, arcXYclkw, arcXYaclk, seqPaused, suckBkGlu, stilFreqy, stillLight, spdFactor, xpctedPos };

enum opModes { doNothing=0, altitudeZ, glueEqual, glueAsked, captImage, captMovie };

Champ	OpCode	Operand A	Operand B	Operand C	Operand D	Operand E	Modes (exclusive)	Commentaire
Type	unsigned int enum	double	double	double	double	double	unsigned int enum	
Default	doNothing = 0	nan	nan	nan	nan	nan	doNothing = 0	
Actions	vertiLine	targetZ [um] (requis)					doNothing, altitudeZ	Usage typique: penDwn/penUp avant/après un mouvement XY. Modes : On peut mesurer en mode continu pendant le mouvement Z.
	horizLine	targetX [mm] targetY [mm]					doNothing	Mouvement linéaire XY dans le plan horizontal, avec éventuellement collage ou mesure (en mode continu). Au moins un de operandA et operandB doit être spécifié. Si un seul est spécifié, l'autre est considéré inchangé par rapport à l'action précédente. Si les 2 sont spécifiés, interpolation linéaire XY.
							altitudeZ	
						glueFlow [0.1..1.0]	glueEqual, glueAsked,	
						MotorsOff [0.0,1.0]	captImage	
							captMovie	
	arcXYclkw	targetX [mm] targetY [mm]	centerX [mm] centerY [mm]			glueFlow [0.1..1.0]	doNothing, altitudeZ, glueEqual, glueAsked, captMovie	arc clkwise dans le plan horizontal, avec éventuellement collage ou mesure (en mode continu). Au moins un de operandA et operandB doit être spécifié. Si un seul est spécifié, l'autre est considéré inchangé par rapport à l'action précédente.
	arcXYaclk	targetX [mm] targetY [mm]	centerX [mm] centerY [mm]			glueFlow [0.1..1.0]	doNothing, altitudeZ, glueEqual, glueAsked, captMovie	Idem, arc anticlockwise.
	seqPaused	duration [ms] ulnt	nMeas ulnt			MotorsOff [0..1]	doNothing, altitudeZ, captImage	Arrêt pour souffler (stabilisation ?), pour mesure (mode stopAndGo) ou pour capture de l'image sous-jacente. duration_ms donne le temps de la pause, et peut donner indirectement le nombre de mesures à prendre si nMeas n'est pas spécifié. nMeas indique le nombre de mesures à collecter à cet endroit. Au moins un de operandA et operandB doit être spécifié.

								Si les deux sont spécifiés, on donne priorité à nMeas.
	suckBkGlu	duration [ms] ulnt (requis)						Arrêt pour suckback. Doit suivre immédiatement une action de collage.
	stilFreqy	frequency (requis) ulnt [200.0..2000.0]						La fréquence de prise de mesure Stil entre 200 et 2000 Hz
	stilLight	brightness (requis) ulnt [0.1..1.0]						La valeur d'éclairement (brightness) de Stil
Directives	spdFactor	speedFraction [0.05 .. 1.0]					none	Positionne le réducteur de vitesse pour la suite de la séquence, jusqu'à contrordre. Le réducteur de vitesse s'applique à X & Y et se rapporte aux consignes de vitesse de croisière (vitesse max du profil choisi) installées pour X et Y. La vitesse selon Z est toujours la vitesse max de l'axe Z (1cm/s) Typiquement installé au début de la séquence, mais peut être altéré/repris en cours de séquence.
	xpctedPos	initialX [mm]	initialY [mm]	initialZ [µm]			none	Place la position initiale XYZ à utiliser pour l'action qui suit. Installé au tout début de la séquence avant la première action. Si cette directive n'est pas inscrite, le point de départ XYZ supposé est gantryHome (X=0.0, Y=0.0, Z=350000.0). À l'exécution, le superviseur d'exécution doit vérifier que le portique est bien au point de départ défini par xpctedPos, ou à gantryHome si xpctedPos n'est pas présent.

7.3 Séquences typiques

Parcours XY avec collage et évitements

Parcours XY avec mesure continue et évitements

Parcours Z avec mesure continue

8 Environnement logiciel

8.1 Environnement pour le contrôleur d'axes PMC

Le contrôleur PMC ETH1040 peut être programmé dans son langage bas niveau natif, le Motion Control Commanding Language. Via son interface de programmation MCapi, qui donne des encapsulations de ces primitives bas niveau MCCL dans des fonctions de langage haut niveau, il peut être programmé en Labview, en Pascal, en C/C++ ou en Python. OS supportés : Windows et Linux. Bibliothèques C chargées statiquement ou dynamiquement.

8.1.1 Environnement graphique pour le GUI

En C/C++, boucle de gestion de fenêtrage type WinAPI. Exemples divers pour déplacement réglage paramètres et visualisation interactive des positions et états des axes. Exemple Joystick comprenant le dessin graphique en 2D de la position XY de la tête.

En python, exemple de menu avec Tcl/tk, autre exemple avec menu Qt (PyQt) et graphique matplotlib.

8.1.2 Environnement indirect pour le pistolet d'encollage

Le pistolet d'encollage est piloté indirectement en intervenant par programme sur le contrôleur d'axes PMC.

- Le débit proportionnel est réalisé en pilotant un axe virtuel du contrôleur d'axes PMC, l'axe #3. La commande électrique de cet axe virtuel fournit une tension proportionnelle au module du vecteur vitesse dans le plan XY, qui est fourni au pistolet pour le réglage dynamique de débit.
- Les commandes physiques de « collage », « aspiration » et « purge » sont réalisées par des E/S tout ou rien du boîtier contrôleur d'axes PMC.

En conséquence, l'environnement logiciel est le même que celui du contrôleur PMC ETH1400.

8.2 Environnement pour le capteur Stil

Le capteur Stil-Prima fournit une bibliothèque de fonctions support (CHR) pour les accès bas niveau et une bibliothèque de niveau intermédiaire cAcqEasy pour la mise en œuvre de programmes d'acquisition typiques. Ces bibliothèques C sont accessibles en C/C++. Os supporté : Windows. Bibliothèques C chargée statiquement ou dynamiquement.

8.2.1 Environnement graphique pour le GUI

Exemples surtout en mode console. Un exemple simple sous Microsoft Foundation Classes. Une application développée en interne sous MFC (MM), qui reste encore imparfaite.

8.2.2 À explorer

Peut-on essayer de mettre en place un lien Phytion vers la(les) bibliothèque(s) Stil (en s'inspirant par exemple de ce qui a été fait par PMC pour le contrôleur d'axes) ?

On aurait alors un environnement python pour les 2 systèmes avec Qt et graphique (et toutes bibliothèques python...).

9 Initialisation et « homing » du portique

À l'allumage, le contrôleur d'axes exécute une routine d'initialisation. Cette routine d'initialisation est stockée dans son firmware. Elle est constituée d'une série de macros en langage MCCL. Elle peut être modifiée et rechargée par l'utilisateur (« firmware update »).

On peut stocker aussi dans ce firmware des macros qui seront ensuite disponibles pour l'utilisateur. Notamment les routines de « Homing » des axes, décrites ci-dessous.

9.1 Routine d'initialisation

Réglage des paramètres vitesse, accélération, PID, etc. pour chacun des axes.

;SN MF45751

;RM

;

MD0,MC100,MC200,MC300,MC400,MC700

MD0	Macro Define #0	
MC100, 200, ...	Macro Call #100, #200, ...	Exécute les macros correspondantes, définies en dessous

;

9.2 Routine d'initialisation de l'axe 1 (Y, portique)

;Axe Y : RS330, réducteur 1/40, courroie développée 250mm, règle à 25 μ , unités en mm, Vmax 208 mm/sec.

;

MD100,1SG0,Si0,SD0,US40,MN,VG-
0.048,MS,MF,SG0,PS,SG0.004,Si0,SD0,SE5,SV100,SA500.0,DS500.0,LM130,LN3,WA0.5

A commenter :

9.3 Routine d'initialisation de l'axe 3 (virtuel, contrôle du débit de colle)

;Axe 3 : mode unipolaire

MD300,3OM1,SG0,Si0,SD0,SE0,US40,MN,VG-0.048,MS,SV100,SA1000.0,DS1000.0,WA0.5

A commenter :

--	--	--

;

9.4 Routine d'initialisation de l'axe 2 (X, navette)

Axe X : RS330, réducteur 1/16, courroie développée 250mm, règle à 25 μ , unités en mm, Vmax 694 mm/sec.

A commenter :

;

MD200,2SG0,Si0,SD0,US40,MN,VG-
0.0144,MS,MF,PH1,PS,SG0.004,Si0,SD0.004,SE5,SV300,SA3000.0,DS3000.0,LM130,LN3,WA0.5

9.5 Routine d'initialisation de l'axe 4 (virtuel, inutilisé)

;Axe 4 : mode unipolaire

MD400,4OM1,SG0,Si0,SD0,SE0,US40,MN,VG-0.0144,MS,SV300,SA3000.0,DS3000.0,WA0.5

A commenter :

;

9.6 Routine d'initialisation de l'axe 7 (Z, vertical)

Axe 7 : vis au pas de 1 mm, unités en microns.

MD700,7US12.8,MN,PP,HS,SV10000,SA100000.0,DS100000.0,MV10,LM130,LN3,FN,WA0.5

A commenter :

9.7 Routine de « homing » pour l'axe 1 (Y, portique)

Todo : Mettre à jour avec les routines de homing de Jérôme, et traitement de l'encodeur fin Y.

MD1,GT,1LU"PGMVEL",CN48,RD@0,AR1,SV25,VM,MN,DI1,GO,WS0.1,WA0.1,DI0,MN,GO,FI0,ST,WS0.1,PM,
MN,MA0,WS0.1,WA0.1,SV@1,PS,LL-30,HL2300,LN15,CF48

Explication :

MD1	Macro Define #1	Cette macro pourra ensuite être appelée par la fonction 1HO. Attention, c'est le n° de macro et pas le n° d'axe qui est alors spécifié !
GT	Generate Task	Exécute ce qui suit en tâche de fond
1LU"PGMVEL"	Place l'adresse de la variable « Vitesse programmée » dans l'accumulateur	
CN48	Channel oN #48	Allume le gyrophare ; mal placé
RD@0,AR1	(Read Double) En pointant à partir de l'accumulateur, lit la vitesse programmée pour l'axe 1 et la place dans l'accumulateur, puis copie l'accumulateur dans le registre 1	Le registre 1 contient alors la vitesse programmée initialement
SV25	Set Velocity 25	Place la vitesse [de l'axe 1, dernier cité] à une vitesse basse qui autorise à aller en butée : 25 [mm/s, mm unité de l'axe 1], soit environ 1/10 ^{ème} du max de cet axe (200mm/s)
VM	Velocity Mode	Place l'axe [1] en mode vitesse
MN	Motor oN	Allume le moteur [il est peut-être déjà On]
DI1	Direction 1	Met la direction de l'axe [1] en arrière (vers les positions décroissantes) ...
GO	Go !	... et recule à la vitesse définie précédemment
WS0.1	Wait for Stop 0.1	Attend que l'axe [1] s'arrête (il est alors à la butée basse), puis attend encore 0.1s
WA0.1	Wait 0.1s	Inutile ?
DI0	Direction 0	Met la direction de l'axe [1] en avant (vers les positions croissantes) ...
MN	Motor oN	Inutile ? Non, si l'arrivée en butée basse l'a mis Off automatiquement
GO	Go !	... et avance à la vitesse définie précédemment

FI0	Find index and set index position to 0	Attend de passer devant le prochain index ... et indique que le zéro de l'axe est à affecter à cet index
ST	Stop	... demande l'arrêt
WS0.1	Wait for Stop 0.1	Attend que l'axe [1] s'arrête (il a alors dépassé légèrement l'index, de la distance de décélération jusqu'à l'arrêt ???), puis attend encore 0.1s
PM	Position Mode	Passe l'axe [1] en mode Position
MN	Motor oN	La séquence FI0-ST-MN a recalé l'axe avec le zéro à la position de l'index (voir doc FI)
MA0	Move Absolute to position 0	Va à 0 et y reste asservi
WS0.1	Wait for Stop 0.1	Attend que l'axe [1] s'arrête puis attend encore 0.1s
WA0.1	Wait 0.1s	Inutile ?
SV@1	Set Velocity to equal register #1 value	Restaure la vitesse à celle qui était programmée précédemment
PS	Profile S-Curve	Profil d'accélération sinusoïdal. Vitesse trapézoïdale avec coins arrondis. Moins d'à-coups, au prix d'une distance d'accél/décel légèrement plus grande.
LL-30	Low software Limit -30	La butée est à -70 mm, on laisse 40 mm de sécurité logicielle (prise en compte dans le firmware du contrôleur Axmo) pour décélérer suffisamment en cas d'erreur dans le mouvement programmé par l'utilisateur
HL2300	High software Limit 2300	La butée est à 2340 mm, on laisse aussi 40 mm de sécurité logicielle
LN15	Limit Enable 15	Met en service toutes les limites basse et haute, hw et sw

9.8 Routine de « homing » pour l'axe 2 (X, navette)

Todo : Mettre à jour avec les routines de homing de Jérôme, et traitement de l'encodeur fin X.

Identique, un peu plus vite (50 mm/s par rapport au max de 600 mm/s), du coup 60 mm de sécurité logicielle de chaque côté.

MD2,GT,2LU"PGMVEL",CN48,RD@0,AR1,SV50,VM,MN,DI1,GO,WS0.1,WA0.1,DI0,MN,GO,FI0,ST,WS0.1,PM,MN,MA0,WS0.1,WA0.1,SV@1,PS,LL-10,HL2020,LN15,CF48

Routine de « homing » pour l'axe 7 (Z, vertical)

L'axe 7 (Z) varie de 0 à 350000 μm , vers le haut. Quand il est à 350000, la face inférieure du Stil affleure avec la face inférieure de la poutre transversale, elle-même à 370 mm du marbre. Donc quand il est à 0, le Stil est à +20 mm du marbre. Il faut une butée logicielle pour éviter de « ramponner » dans la semelle et dans les pions de précision portés par la semelle.

Similaire, sauf :

1. Homing en position haute (350000 μm).
2. Différences liées à méthodes d'indexage propres au moteur pas à pas, à décoder (il y a une boucle à comprendre : LU"STATUS",RL@0,IS28,JR-3). DH : Define Home. NO : No Op.
3. Butée logicielle seulement en position basse, placée à 86000 μm , calculée pour ne jamais descendre (même si erreur programme) avec le point bas de la tête de collage au niveau des plots les plus haut de la semelle (par rapport à marbre, semelle +80mm, plot 80+20mm).

MD7,GT,7VM,FC,MN,DI0,GO,WS0.1,WA0.1,LU"PGMVEL",RD@0,AR1,SV100,VM,DI1,MN,GO,LU"STATUS",RL@0,IS28,JR-3,NO,DH350000,ST,WS0.1,SV@1,PM,MN,LL86000,LN11,MA350000

Explication :

MD7	Macro Define #7	Cette macro pourra ensuite être appelée par la fonction 7HO. Attention, c'est le n° de macro et pas le n° d'axe qui est alors spécifié !
GT	Generate Task	Exécute ce qui suit en tâche de fond
7VM	Velocity Mode	Place l'axe [7] en mode vitesse
FC	Full Current	???
MN	Motor oN	Allume le moteur [il est peut-être déjà On]
DI0	Direction 0	Met la direction de l'axe [7] vers le haut (vers les positions croissantes) ...
GO	Go !	... et avance (monte) à la vitesse définie précédemment. Vitesse non définie dans cette macro !
WS0.1	Wait for Stop 0.1	Attend que l'axe [7] s'arrête (il est alors à la butée haute), puis attend encore 0.1s

WA0.1	Wait 0.1s	Inutile ?
LU"PGMVEL"	Place l'adresse de la variable « Vitesse programmée » dans l'accumulateur	
RD@0,AR1	Lit l'accumulateur et le copie dans le registre 1	Le registre 1 contient alors la vitesse programmée initialement
SV100	Set Velocity 100	Place la vitesse [de l'axe 7, dernier cité] à une vitesse basse qui autorise à aller en butée : 100 [$\mu\text{m/s}$, μm unité de l'axe 7], soit la vitesse nominale de l'axe.
VM	Velocity Mode	Place l'axe [7] en mode vitesse. Inutile ???
DI1	Direction 1	Met la direction de l'axe [7] vers le bas (vers les positions décroissantes) ...
MN	Motor oN	Inutile ? Non, si l'arrivée en butée haute l'a mis Off automatiquement
GO	Go !	... et descend à la vitesse définie précédemment
LU"STATUS"	Place l'adresse de la variable « STATUS » dans l'accumulateur	
RL@0	(Read Long) Place le STATUS dans l'accumulateur	
IS28	If bit 28 Set do next command else skip 2 (following) commands	Teste le bit 28 du Status: « Limit Positive input Active »
JR-3	Jump Relative -3	
NO	No Op	
DH350000	Define Home 350000	Affecte la coordonnée 350000 à la position actuelle
ST	Stop	
WS0.1	Wait for Stop 0.1	Attend que l'axe [7] s'arrête (il a alors dépassé légèrement l'index, de la distance de décélération jusqu'à l'arrêt ???), puis attend encore 0.1s
PM	Position Mode	Passe l'axe [1] en mode Position
MN	Motor oN	

SV@1	Set Velocity to equal register #1 value	Restaure la vitesse à celle qui était programmée précédemment
LL-30	Low software Limit -30	La butée est à -70 mm, on laisse 40 mm de sécurité logicielle (prise en compte dans le firmware du contrôleur Axmo) pour décélérer suffisamment en cas d'erreur dans le mouvement programmé par l'utilisateur
HL2300	High software Limit 2300	La butée est à 2340 mm, on laisse aussi 40 mm de sécurité logicielle
LN15	Limit Enable 15	Met en service toutes les limites basse et haute, hw et sw

9.9 Mémos sur les macros

Procédure de sauvegarde des macros dans le firmware :

- 1 – Couper les moteurs 1ST,2ST,3ST,7ST,1MF,2MF,3,MF,7MF
- 2 – Effacement des macros RAM et flash RM0 (*)
- 3 – Charger les macros du fichier MCCL (.mfx1) via WinControl
- 4 – Transfert de la RAM en flash MD-1 (*)

*: cela prend du temps. Eventuelle perte de main. Vérifier ensuite avec TM-1

La **macro 0**, si elle existe, est exécutée au Power ON car le switch correspondant est activé sur la carte : DIP Switch 2 - position 5 "Macro 0 Power-on Execution" (voir Ethernet Motion Controller - Installation Manual [Revision 1.6 - May 2015] p54, table 44)

Une macro ne peut excéder 256 bytes.

10 Annexe 1 : Rappel (extrait) des spécifications demandées

Le *portique motorisé* sera accompagné d'une bibliothèque de fonctions permettant l'initialisation, l'obtention de statut et le contrôle de l'opération. La bibliothèque fournira les fonctions de programmation des mouvements d'axes X, Y, Z liés à l'application, parmi lesquels notamment :

- Sélection de la tête active,
- Obtention de la position actuelle du chariot porte-tête,
- Déplacement optimisé de la position actuelle à un point de destination, en fonction de paramètres souhaités de vitesse et accélération,
- Prise des points de butée,
- Blocage en position selon Z,
- Retour au point Origine($X=0$, $Y=0$, $Z=Z_{max}$),
- Commande couplée de déplacement avec prise de mesure,
- Commande couplée de déplacement avec dépôt de colle.

La bibliothèque de fonctions sera fournie sous une forme permettant le chargement dynamique, pour Windows et Linux. Elle sera accessible à partir d'une interface *Application Programming Interface* documentée, et pourra être utilisée à partir d'un programme principal applicatif en C++ ou en Labview (fourniture du *Virtual Instrument* correspondant).

Un programme de démonstration permettant la mise en œuvre de l'ensemble des fonctions sera mis en place pour les phases de réception, et sera fourni sous forme de code source pour modification et adaptation ultérieure.

10.1.1 Prestation associée : Intégration de la tête de métrologie

Tête LMI Gocator 2320 (ou équivalent). [Modifié pour Stil PRIMA-CL5MG20].

La prestation « Intégration de la tête de métrologie » comprend les fonctions logicielles et automatismes suivants :

- Synchronisation du déclenchement de la mesure en fonction de la position de la tête ;
- Déclenchement de prises régulières de mesure lors d'un parcours spécifique, avec émission d'un signal logique de « *trigger* » pour chaque mesure.

10.1.2 Prestation associée : Intégration de la tête de collage

La tête de collage utilisée est une tête à distribution volumétrique ViscoTec Preeflow eco-duo600 (ou équivalent), munie de 2 réservoirs 300 ml pour les deux composants de la colle. Les réservoirs sont munis d'un couvercle étanche permettant la mise sous pression par air comprimé. Le débit de colle est contrôlé par la commande de vitesse de 2 moteurs électriques (un pour chacun des composants de la colle) délivrant un volume déterminé dans un système à vis sans fin.

La prestation « Intégration de la tête de collage » comprend les fonctions logicielles et automatismes suivants :

- Synchronisation du déclenchement et de l'arrêt de la distribution en fonction de la position et du mouvement de la tête ;
- Asservissement du débit de colle au module du vecteur vitesse de la tête (consigne analogique proportionnelle commandant la vitesse de rotation des moteurs de dosage volumétrique) ;
- Commande séparée pour arrêt contrôlé en fin de distribution (consigne analogique commandant la rotation en sens inverse des moteurs de dosage volumétrique) ;

- Capacité de distribution de la colle selon formes particulières (lignes obliques, arcs et cercles, ...), potentiellement sur une surface à 3 dimensions (nécessité d'un interpolateur en X, Y et Z).

10.1.3 Services fournis par le portique

On entend par « services » les connexions diverses devant être véhiculées par le portique vers les chariots mobiles et têtes actives : Alimentation et connexions électriques, connexions réseau, air comprimé. Les services seront distribués à partir du point OrigineServices, situé en position inférieure du *marbre* au droit du point Origine ($X=0$, $Y=0$), où les amenées nécessaires seront positionnées en attente par le CEA. Le portique devra présenter les chemins de câbles mobiles (selon les 3 axes) dimensionnés pour recevoir ces connexions de service.

Les services fournis par le portique comprennent :

- Amenée d'air comprimé aux deux réservoirs de la tête de collage depuis le point OrigineServices (filtre, réducteur de pression et amenée au point OrigineServices à charge du CEA) ;
- Amenée séparée d'air comprimé aux chariots Y/Y' et au chariot X (filtre, réducteur de pression et amenée au point OrigineServices à charge du CEA) ;
- Connexions numériques/analogiques et alimentations électriques pour les deux têtes : Nature et dimensionnement précisées dans les annexes correspondantes.
- Éventuellement, et sans dépasser la charge massique dévolue à l'ensemble placé en tête, support mécanique et connexion d'une caméra de monitoring miniature permettant la vision déportée de la zone sous-jacente aux têtes de métrologie et collage.

11 Annexe 2 : Précision de la mesure d'altitude

La planéité d'une pièce est déterminée à partir d'une série de mesures d'altitude réalisées sur l'ensemble de sa surface, alors qu'elle est positionnée sur la face supérieure de la *semelle aspirante*. Chacune de ces mesures d'altitude Z est entachée d'une erreur résultant de la composition de plusieurs sources d'incertitude, qui peuvent être considérées indépendantes :

1. Ecart de planéité de la face supérieure de la *semelle aspirante*, en tout point de sa surface active ;
2. Ecart de parallélisme de la poutre transversale du portique, en tout point de sa zone active de mouvement, par rapport à la face supérieure de la *semelle aspirante* ;
3. Erreur de positionnement en Z du chariot transversal Y, en tout point de son mouvement sur la poutre transversale ;
4. Ecart de positionnement en Z du chariot Z (porte-tête), par rapport à la consigne appliquée ;
5. Erreur de mesure intrinsèque de la tête de mesure.

Dans le cas d'espèce de la mesure de planéité d'un panneau de détecteur, la fenêtre d'acceptation de planéité demandée est de $\pm 55 \mu\text{m}$ (pic-pic). La précision individuelle de chaque mesure d'altitude doit donc être contenue en dessous de $10 \mu\text{m}$ pour conserver une bonne efficacité de discrimination sans pour autant concéder un rejet excessif de pièces conformes.

La source 4 peut être supprimée si le protocole de mesure analyse l'ensemble de la surface sans modifier la position en Z du chariot porte-tête. Un mode spécifique sera demandé à l'axe Z pour permettre par construction ce blocage en position.

Au vu de ces éléments, on visera donc à optimiser le budget d'erreur en spécifiant chacune des 4 autres sources d'erreur (1., 2., 3. et 5.) au même niveau de $5 \mu\text{m}$ (rms), pour une combinaison quadratique au niveau attendu de $10 \mu\text{m}$.

Les valeurs attachées aux sources 1., 2. et 3., ainsi que la capacité de suppression de la source 4., donnent les éléments de spécification pour les bancs qui font l'objet de ce marché.

La source 5 est réduite au niveau attendu en choisissant une tête de mesure suffisamment précise pour contribuer au pire de manière égale au budget d'erreur.

12 Annexe 3 : Spécification de la tête de métrologie

Documentation jointe :

Stil PRIMA, crayon CL5MG20.

13 Annexe 4 : Spécification de la tête de collage

Documentation jointe :

ViscoTec Preeflow eco-duo600-DataSheet. Doc Plug'n'mix.

14 Annexe 5 : Environnement et procédé

[A mettre à jour...]

14.1 Salle propre ISO 7

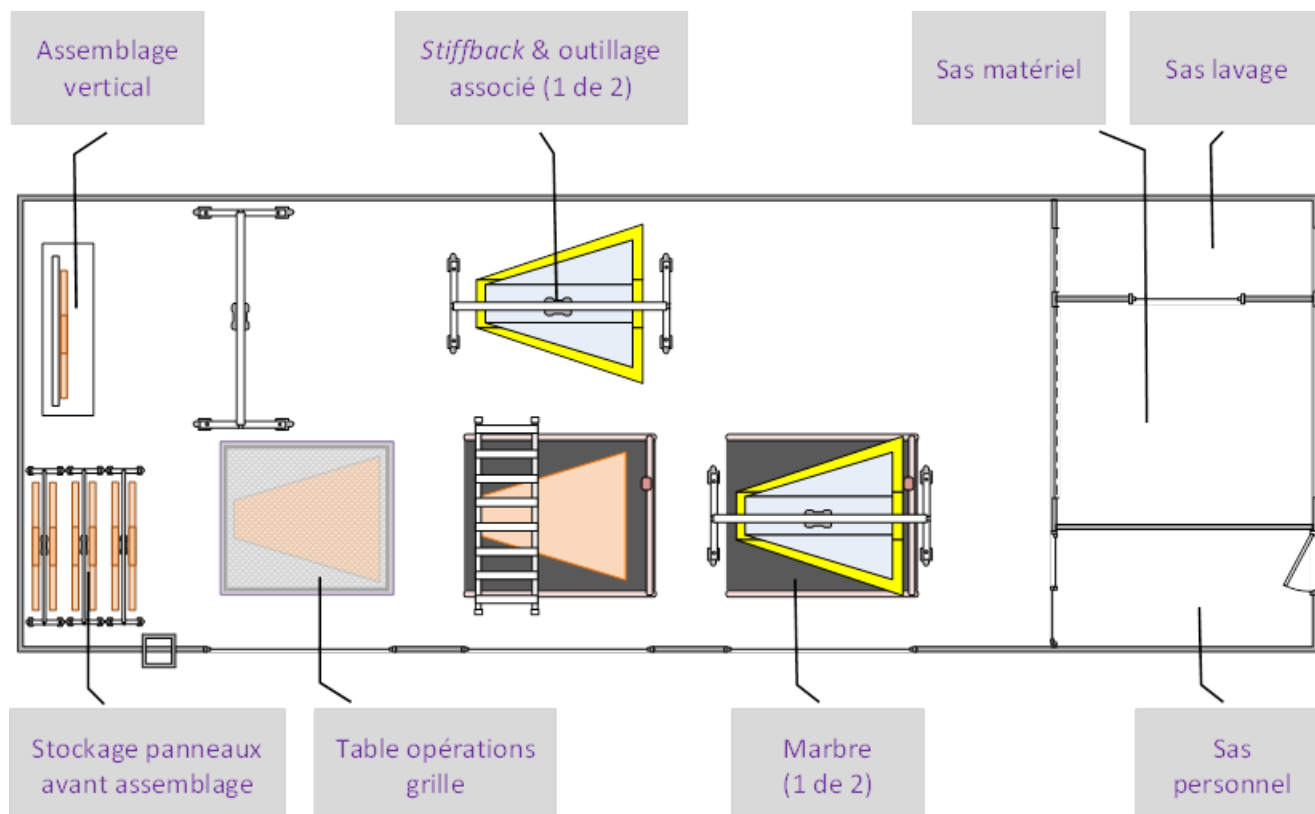
La salle de travail est une salle propre ISO 7 maintenue à $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$, à l'hygrométrie contenue entre 40 et 60%. La disposition des différents locaux constituant la salle de travail sont figurés ci-dessous.



Les bancs d'assemblage et de mesure sont placés dans la salle principale ISO 7.

14.2 Le procédé

Les éléments fixes et mobiles associés au procédé sont figurés ci-dessous.



14.2.1 Assemblage horizontal

Trois tables sont disposées pour recevoir les étapes d'assemblage horizontal qui produisent les différents types de panneaux :

- Deux *bancs d'assemblage et de mesure* reçoivent les fonctions d'assemblage et de qualification métrologique pour l'ensemble des panneaux composites à double peau en fibre de verre époxy (circuit imprimé) et âme en nid d'abeille métallique. Chacun de ces bancs (environ 12 t équipé) est constitué d'un *marbre*, d'une *semelle aspirante* et d'un *portique motorisé* 3 axes. Il est assisté par son système de contre-marbre *stiffback* associé, et dispose d'un double système d'aspiration.
- Une troisième table spécifique reçoit les opérations d'assemblage et de collage des cadres des micro-grilles entrant dans la constitution des panneaux de dérive.

Les deux *bancs d'assemblage et de mesure* sont desservis par deux outillages mobiles portant les contre-marbres correspondants. La manipulation des éléments à assembler (retournement et positionnement face à face sur marbre) s'appuie sur les outillages spécifiques *stiffback* et les portiques de déplacement et retournement associés.

La disposition des différents éléments est établie pour permettre la circulation des personnels et le mouvement des portiques et outillages mobiles autour et au-dessus des marbres.

14.2.2 Aspiration

Le système d'aspiration associé à chacun des 2 *bancs d'assemblage et de mesure* (et à son contre-marbre) est relié à une station de pompage commune placée à proximité immédiate à l'extérieur de la salle.

Deux platines de traversée de cloison de la salle propre (avec vannes côté intérieur) sont installées au droit de chacun de marbres pour connexion par flexible à la station de pompage (côté extérieur) et aux dispositifs d'aspiration (côté intérieur).

14.2.3 Collage

La colle bi-composant (environ 1 kg d'Araldite 2011 chaque jour déposé en deux fois) est préparée sur une table à l'extérieur de la salle propre. Selon la procédure choisie, le mélange peut être préparé à l'extérieur –pour un temps d'utilisation réduit de l'ordre de 1 heure– ou effectué au dernier moment au point de collage. Un passe-plat à air permet l'introduction de la colle ou de ses composants.

Compte tenu des caractéristiques de la colle utilisée, l'encollage et l'assemblage des éléments (d'une surface atteignant 3 m²) ne doit pas prendre plus d'1 heure. Les éléments encollés et assemblés sur marbre sont maintenus en position par un mécanisme d'aspiration et/ou de placage sous bâche à vide, maintenu pendant le temps de la solidification complète de la colle (≥ 24 heures).

La phase collage expose de grandes surfaces enduites de colle sur la face supérieure des marbres, qui sont donc alors très vulnérables à l'empoussièrement. Un contrôle de propreté spécifique est nécessaire pour éviter que des impuretés puissent s'intercaler dans les éléments en cours d'assemblage.

14.2.4 Assemblage vertical

L'assemblage vertical vise à assembler les 5 différents panneaux qui constituent un module en les alignant précisément l'un par rapport à l'autre. Une précaution toute particulière est requise pour l'appairage des panneaux de dérive (qui portent la micro-grille) et des panneaux de lecture, la grille devant s'approcher à 1/10 mm de la surface active du panneau de lecture sur l'ensemble de la surface de 3 m². Le cycle de création d'un module couvre une période d'environ 3 semaines, avec la production successive des 5 panneaux qui le constituent, chaque panneau résultant d'un collage double face demandant au moins 2 jours. La salle propre est dimensionnée pour soutenir la production simultanée de 2 modules. Il en résulte que la zone d'assemblage vertical doit permettre le stockage des panneaux en attente pendant plusieurs semaines et leur montage sur la station verticale pendant au moins une semaine, avec des conditions particulières de propreté.

14.2.5 Contrôle qualité

Divers contrôles de qualité sont effectués en salle propre. On peut citer en particulier :

- Métrologie dimensionnelle : Chaque *banc d'assemblage et de mesure* est équipé d'un portique 3 axes portant une tête de mesure optique, destinée à la mesure d'altitude et de planéité des panneaux en vue de leur acceptation.
- Mesure d'étanchéité : Les 4 volumes gazeux distincts présents dans le module quadruplet après assemblage vertical doivent être parfaitement étanches. Ils sont testés par circulation d'argon pour la détection de fuites éventuelles.

14.2.6 Automatismes

Divers automatismes sont présents au niveau de chacun des bancs pour :

- Piloter la position et le mouvement du portique 3 axes ;
- Contrôler et synchroniser la tête de métrologie ;
- Contrôler et synchroniser le dispositif automatique de dépôt de colle, qui comporte une tête placée elle aussi sur le bras du portique 3 axes.

Les baies d'automatique correspondantes sont placées en dehors de la salle propre à proximité immédiate. Seul le panneau de contrôle des systèmes est placé en salle propre (écran tactile et/ou ordinateur portable, afficheurs et moniteurs).

La liaison entre les baies extérieures et les mécanismes et contrôles intérieurs est assurée par une platine d'interface murale de traversée placée en façade de la salle propre (traversées RoxTec).