



Etude des cas

ÉTUDE ET MODELISATION D'UNE CELLULE ROBOTISEE POUR
L'USINAGE DE COURONNES POUR UNE SOCIETE SOUS-TRAITANTE
DE L'AUTOMOBILE

MAKHBOUCHE Ahmed Tedjeddine | Conception et du Management des Systèmes de
Production | 15-12-2025

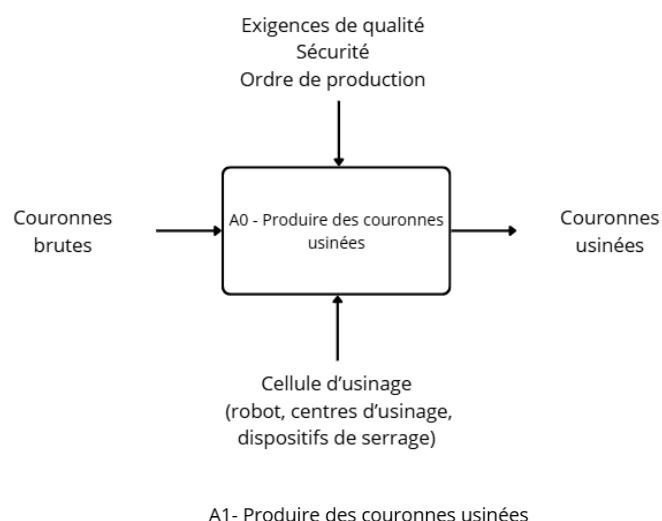
Contexte de l'étude :

Dans le cadre d'une réponse à un appel d'offre, nous nous plaçons en tant qu'entreprise d'intégration industrielle chargée de proposer une solution technique adaptée aux besoins du client. Celui-ci est une société sous-traitante du secteur automobile souhaitant réorganiser l'une de ses lignes de production de pièces mécaniques afin d'accroître sa flexibilité industrielle.

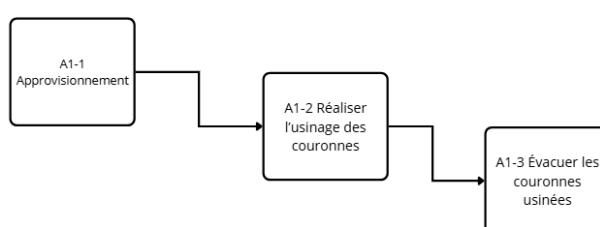
Pour atteindre cet objectif, le client envisage d'investir dans de nouveaux centres d'usinage et d'étudier différentes solutions de chargement et de déchargement de ces machines. Ces solutions peuvent être de nature humaine, automatisée ou robotisée. L'objectif de cette étude est d'analyser le fonctionnement attendu du système de production afin de définir et de justifier une solution cohérente, performante et conforme aux exigences industrielles du client.

Analyse fonctionnelle :

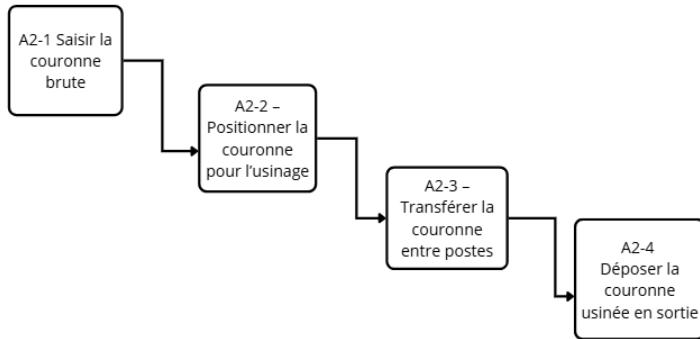
Dans cette étude, l'analyse fonctionnelle est menée à l'aide de la méthode SADT. Elle est présentée à travers les diagrammes Ao, A1 et A2, qui permettent de décrire successivement la fonction globale du système et sa décomposition fonctionnelle.



A0 - Produire des couronnes usinées



A2- A1-2 : Réaliser l'usinage des couronnes



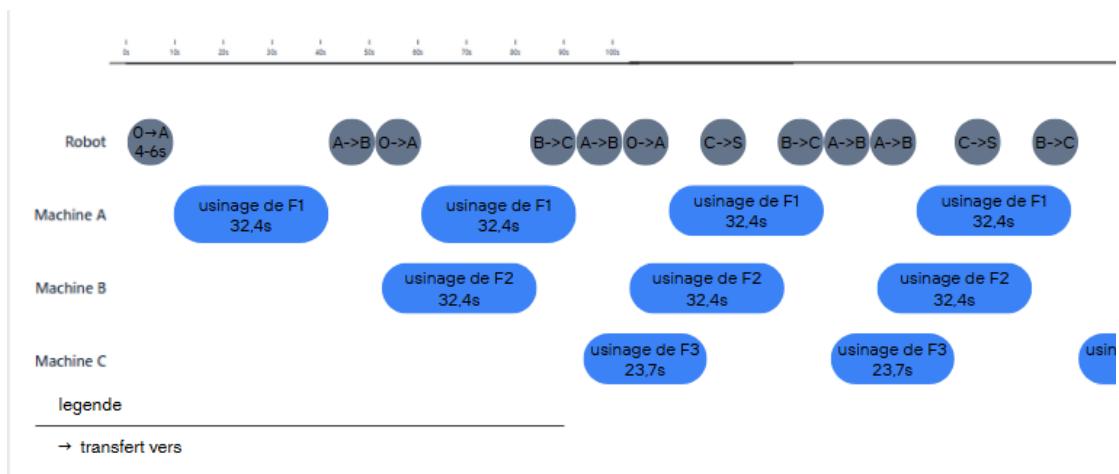
Justification de la solution entre humain, automatisation et robotique :

La solution retenue est une cellule robotisée de chargement et déchargement des machines A, B et C, associée à des convoyeurs d'entrée et de sortie, avec deux opérateurs chargés uniquement des tâches logistiques (alimentation en pièces brutes et évacuation des pièces usinées).

Cette solution répond à l'objectif du projet d'augmenter la flexibilité de la ligne de production tout en maintenant une cadence élevée. La robotisation permet un fonctionnement en parallèle des machines et limite les temps morts entre les opérations. La cadence globale est imposée par les machines A et B (32,4 s), cadence que la solution retenue permet de respecter sans que la manutention ne devienne un goulot.

Comparée à une solution entièrement humaine ou à une automatisation dédiée, la cellule robotisée offre un meilleur compromis entre flexibilité, productivité et sécurité. Les opérateurs interviennent hors zone dangereuse et en temps masqué, ce qui n'impacte pas la cadence de production.

Afin de valider la solution retenue et d'analyser la cadence de la partie production, un chronogramme de fonctionnement en régime établi est présenté ci-après.



Le chronogramme confirme que la cadence de production est limitée par les machines A et B (32,4 s) et que le robot permet un fonctionnement en parallèle sans pénaliser le cycle.

Justification de l'architecture du robot :

Série M-20

M-20iB/25

Charge admissible au poignet : **35 kg**

Rayon max. : **2009 mm**

Versions robot disponibles :

M-20iA/12L	Bras long, poignet creux
M-20iA/20T	Top mount, poignet creux
M-20iA	Modèle standard, poignet creux
M-20iB/25	Modèle standard [2 électrovannes intégrées]
M-20iD/25	Poignet creux
M-20iB/25C	Salle propre
M-20iA/20M, /35M	Grande inertie
M-20iB/35S	Bras court

Série	Robot	Version	Type	Contrôleur				Capacité de charge max. admissible au poignet (kg)	Rayon (mm)	Axes	Rigilité (Nm)	Masses unités mécaniques (kg)	Amplitude des mouvements (*)						Vitesse de mouvement (%)						J4 Moment/Inertie (Nm/kgm ²)	J5 Moment/Inertie (Nm/kgm ²)	J6 Moment/Inertie (Nm/kgm ²)	Consommation électrique (kW)	Protection		
				R-30B Plus	Compact	Open Air	Moteur						J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6							
M-20	iA	12L	•	-	-	○	○	○	12	2009	6	± 0.03*	250	370	260	440.6	400	360	900	200	175	190	420	430	630	22.0/0.65	9.8/0.17	1	IP54/IP55	IP47	
M-20	iA	20T	•	-	-	○	○	○	20	1662 ⁽¹⁾	6	± 0.04**	185	*11	300	586	400	360	900	*11	175	180	360	360	550	44/1.04	44/1.04	1	IP54	IP47	
M-20	iA	20M	•	-	-	○	○	○	20	1811	6	± 0.03**	250	370	260	458	400	360	900	195	175	180	360	360	550	44.0/1.04	44.0/1.04	1	IP54/IP55	IP47	
M-20	iB	25	•	-	-	○	○	○	25	1853	6	± 0.02***	210	340/360	240	303	400	290	540	205	205	240	415	415	880	51/2.2	51/2.2	1	IP67	IP47	
M-20	iD	25	-	•	-	○	○	○	25	1831	6	± 0.02**	250	340/370	240	458	400	380	540	1908	210	210	245	420	420	720	52.0/2.4	32.0/1.2	1	IP54/IP55	IP47
M-20	iB	25C	•	-	-	○	○	○	25	1853	6	± 0.02**	210	340/360	240	303	400	290	540	205	205	260	415	415	880	51/1.2	31/1.2	1	IP67	IP47	
M-20	iA	35M	•	-	-	○	○	○	35	1813	6	± 0.03**	252	370	260	441.0	400	280	900	180	180	200	250	250	400	1104	60/0.15	1	IP54/IP55	IP47	
M-20	iB	35S	•	-	-	○	○	○	35	1445	6	± 0.02**	205	340/360	240	301.5	400	260	540	205	205	260	415	415	880	51/1.2	31/1.2	1	IP67	IP47	

*standard ○ sur demande - non disponible || avec option matériau ou logiciel *(1) en fonction des caractéristiques du rail ** Basé sur ISO9283 ***avec graisse alimentaire

11

Le robot FANUC M-20iA/20M a été retenu pour assurer les opérations de manutention entre les centres d'usinage et les convoyeurs de la cellule.

La pièce à manipuler est une couronne d'une masse de **10 kg**. En intégrant la masse du préhenseur, des interfaces mécaniques et une marge de sécurité industrielle, la charge

PAGE 3

utile nécessaire est estimée à **environ 18-20 kg**. Le M-20iA/20M, avec une charge admissible de **20 kg**, répond précisément à ce besoin sans surdimensionnement.

Sa portée de 1813 mm permet de couvrir l'ensemble des postes (machines A, B, C et convoyeur de sortie) sans recours à un rail ou à une architecture complexe, tout en conservant une implantation compacte. Ce choix améliore la précision, la dynamique et réduit les inerties par rapport à un robot de grande portée.

Le robot M-20iA/20M est par ailleurs largement utilisé pour des applications de **machine tending**, garantissant une excellente fiabilité, des temps de cycle compatibles avec les cadences d'usinage (32,4 s pour A et B, 23,7 s pour C) et une intégration simplifiée avec les centres d'usinage FANUC.

Enfin, ce choix permet de **maîtriser les coûts**, de limiter l'encombrement de la cellule et de conserver une **marge d'évolution raisonnable** en cas de modification future de l'implantation ou du procédé.

Justification de l'architecture du contrôle-commande :

L'architecture de contrôle-commande retenue pour la cellule est hiérarchisée et distribuée, afin de séparer les fonctions de supervision et d'exécution et de garantir un fonctionnement fiable et lisible du système.

Un niveau superviseur coordonne le cycle global de la cellule. Il gère les autorisations de production, la synchronisation entre le robot et les machines, ainsi que les conditions de démarrage, d'arrêt et de sécurité. Les actions détaillées ne sont pas pilotées à ce niveau.

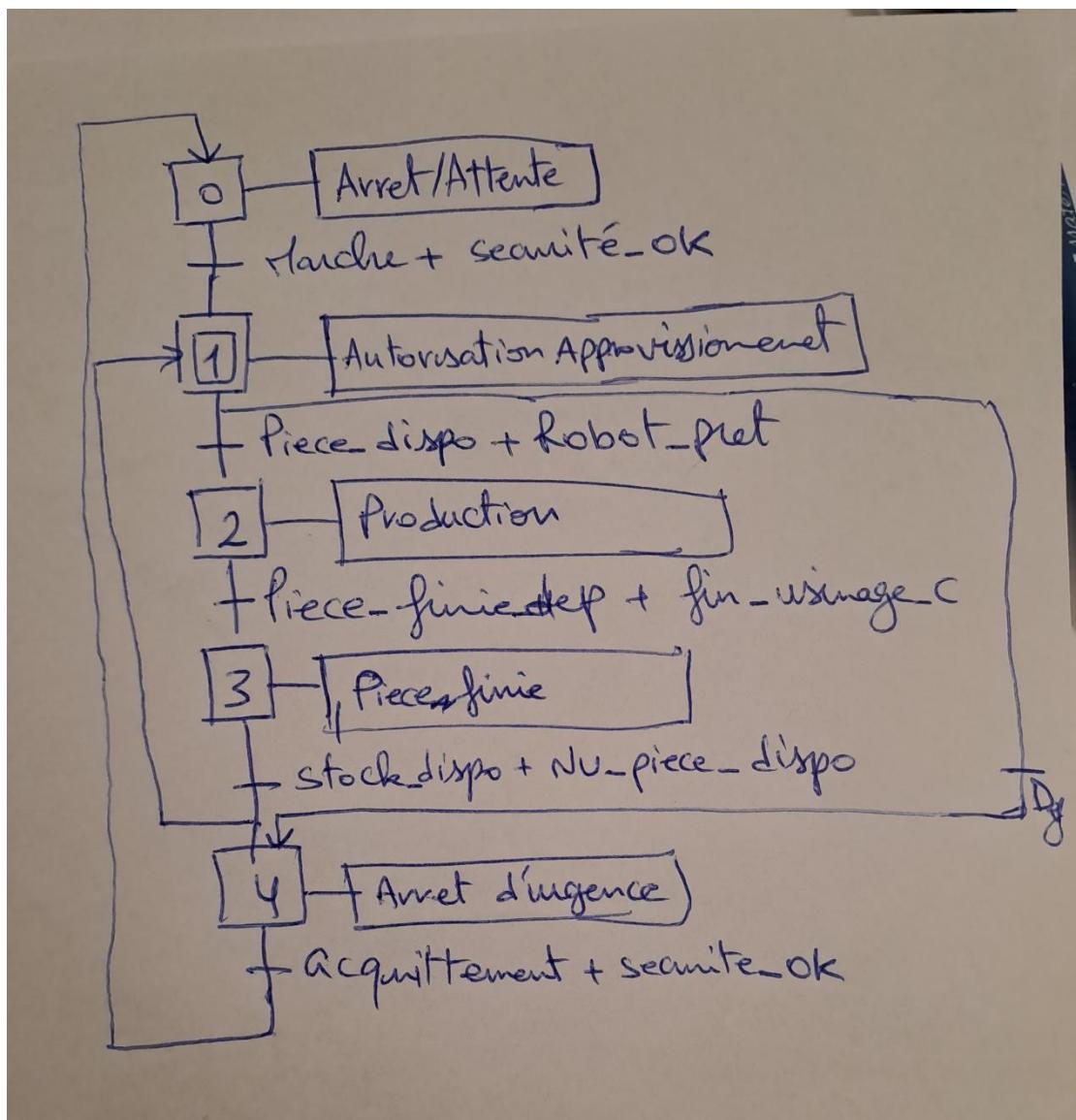
Le robot et les machines A, B et C disposent chacun d'une commande locale autonome, responsable de l'exécution de leurs cycles respectifs. Les échanges avec le superviseur sont limités à des signaux simples (autorisation de cycle, fin d'usinage), ce qui renforce la robustesse de l'ensemble.

Une implantation sous forme de filtre de commande :

Ce GRAFCET représente la logique de supervision du système.

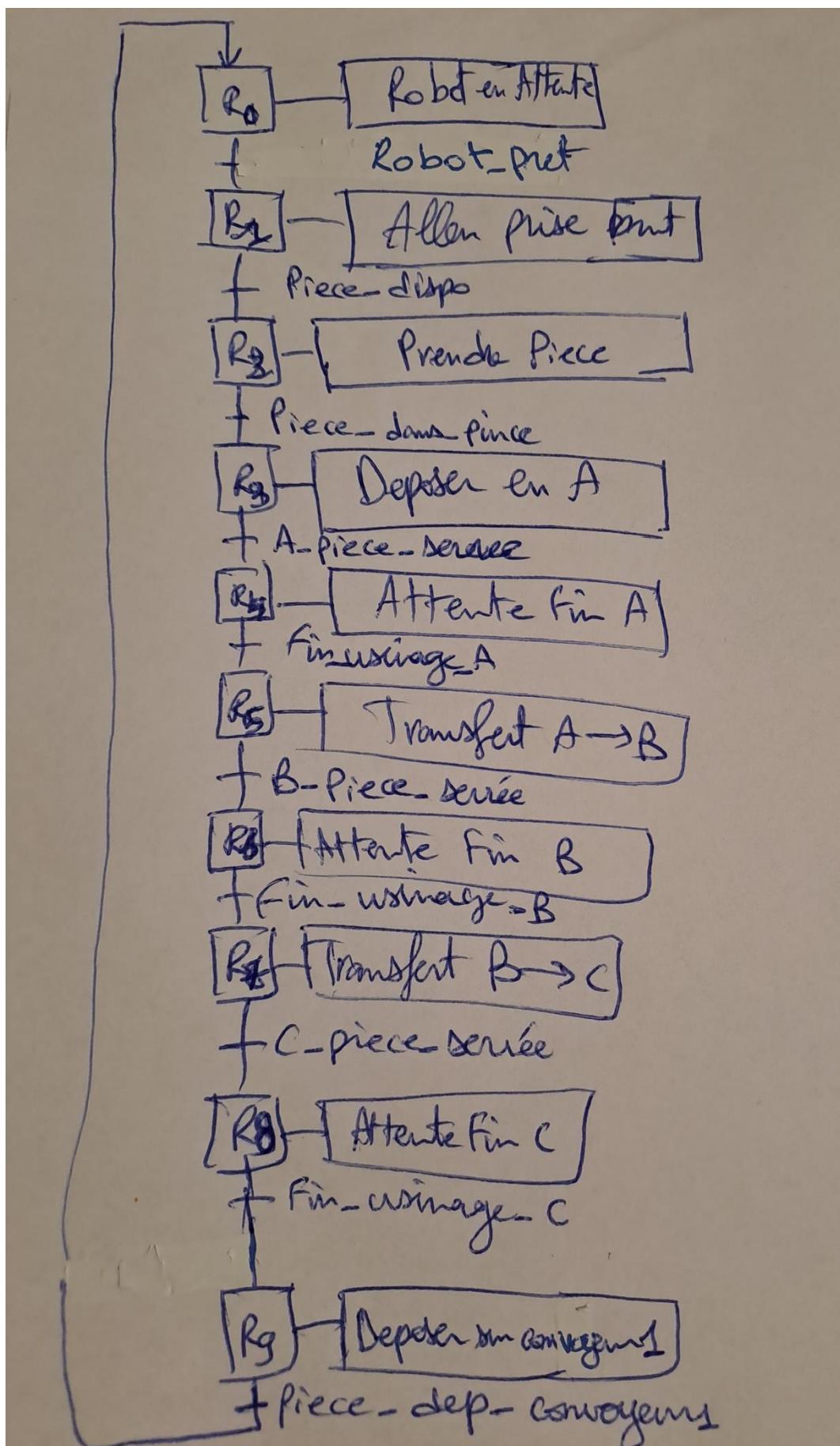
Il agit comme un filtre de commande en autorisant ou bloquant les séquences de production en fonction de l'état de la sécurité, de la disponibilité des pièces et de l'état du robot.

Les GRAFCETs détaillés (robot, machines, zone de stockage) ne sont activés que lorsque ce filtre autorise le fonctionnement normal.

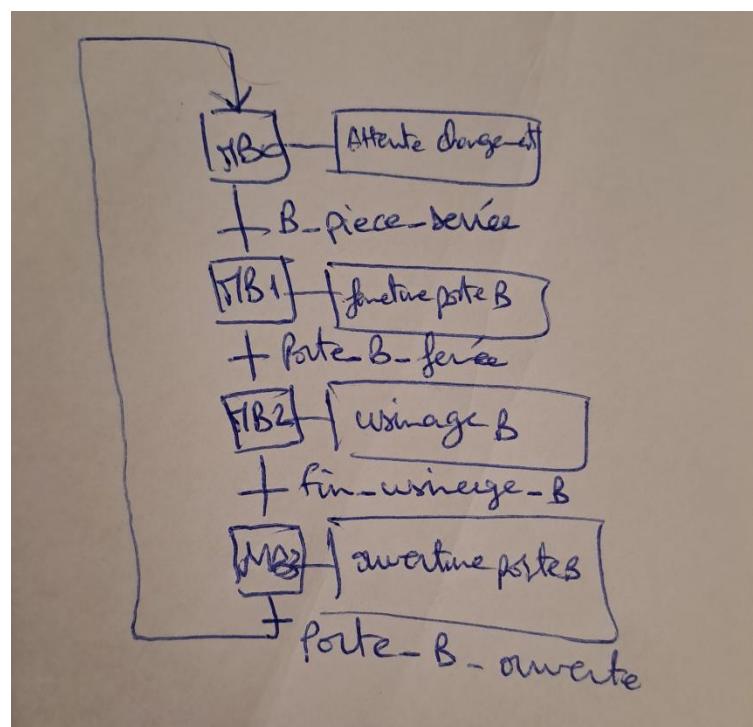
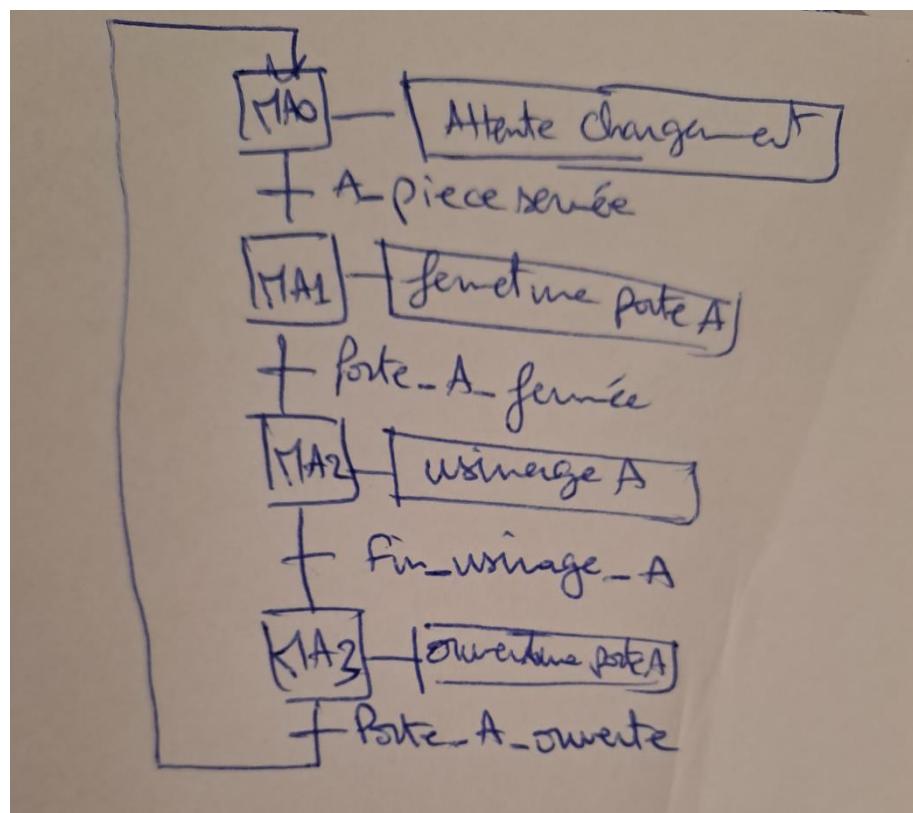


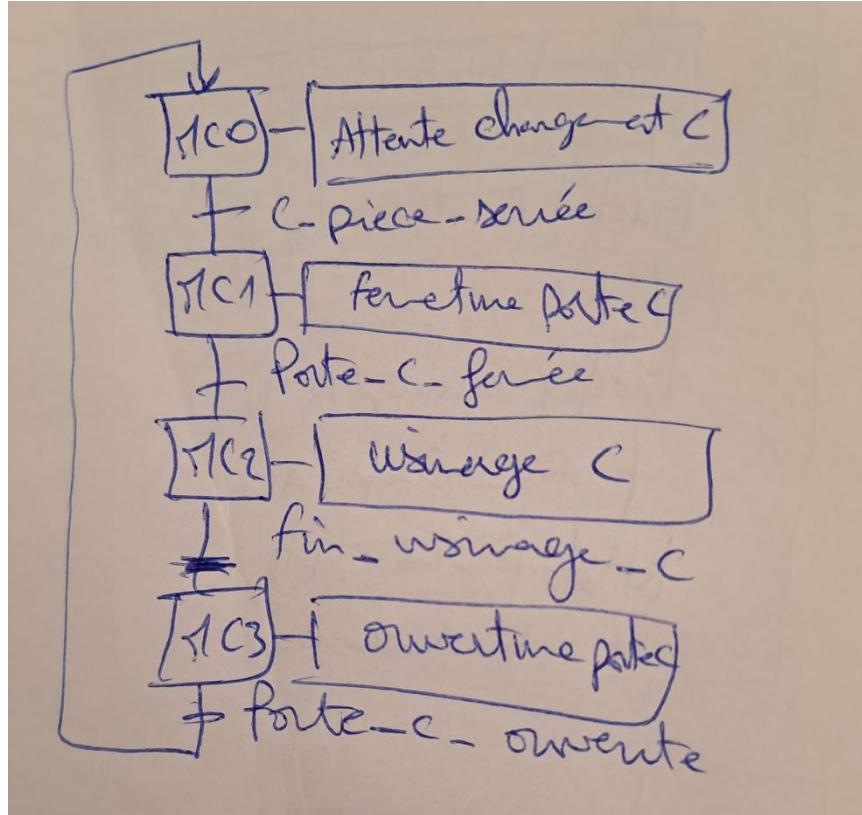
Une implantation de la cellule robotisée :

Le GRAFCET du robot décrit la séquence de manutention des pièces entre les différents postes de la cellule. Il est activé uniquement lorsque le filtre de commande autorise le fonctionnement nominal, et il s'appuie sur des capteurs de présence pièce et sur les retours d'état des machines.



GRAFCET MACHINES A,B ET C :



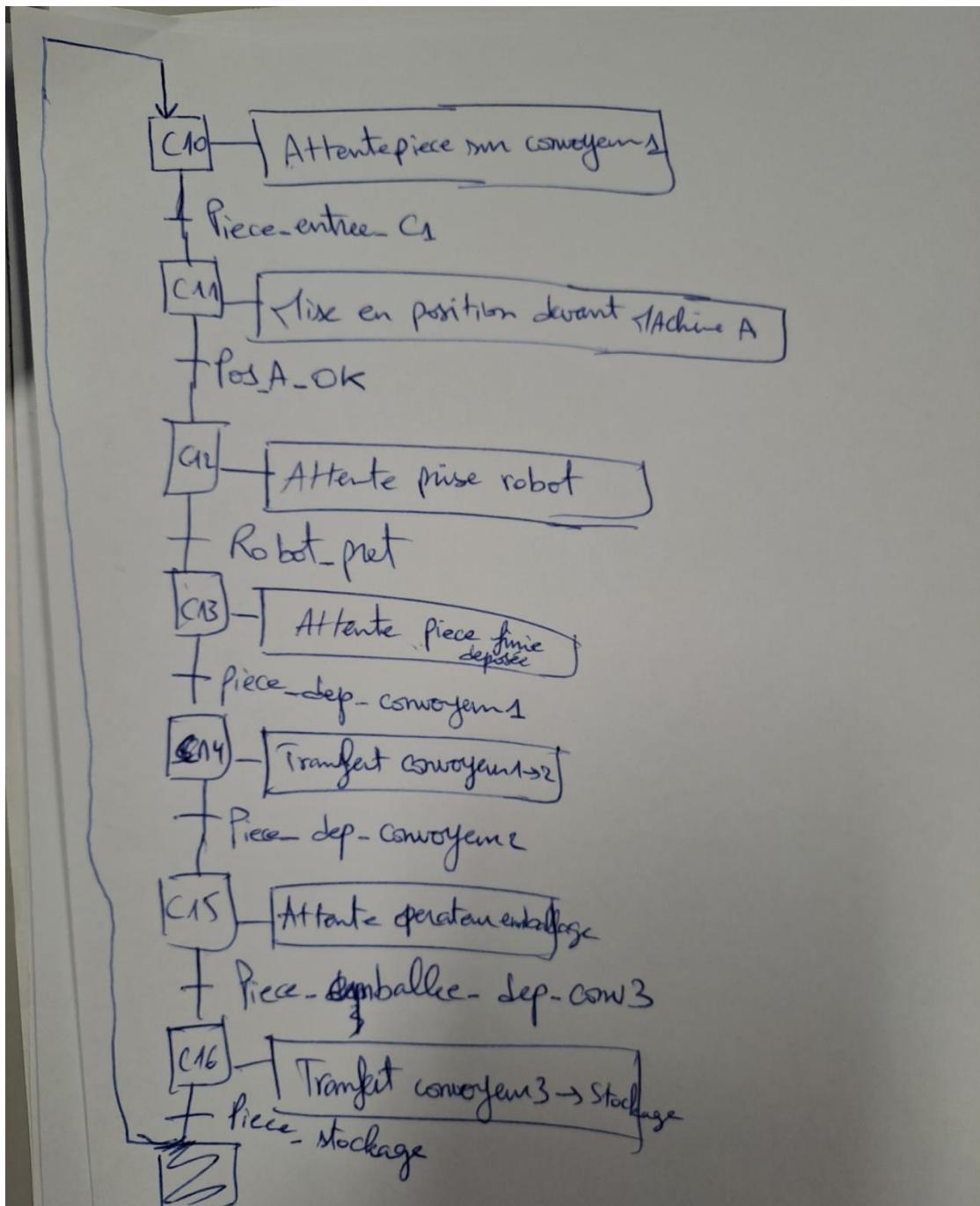


Les centres d'usinage A, B et C sont pilotés par des GRAFCET distincts décrivant leur fonctionnement automatique. Bien que séparés, ces GRAFCET sont synchronisés entre eux et avec le GRAFCET du robot par des signaux d'interface communs, tels que la confirmation de serrage de la pièce et les fins d'usinage.

Les machines A et B suivent une logique identique : après le chargement de la pièce par le robot, la porte de protection est fermée, l'usinage est lancé, puis la porte est ouverte en fin de cycle afin d'autoriser le transfert vers le poste suivant. La machine C applique la même logique pour la dernière opération d'usinage, avant que la pièce soit déposée par le robot sur le convoyeur 1, événement confirmé par le signal Pièce_dep_convoyeur1.

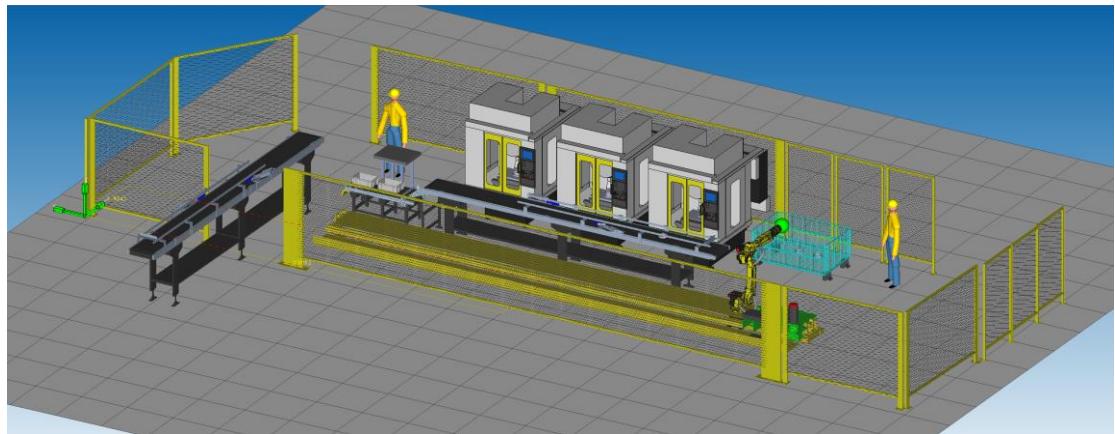
Cette organisation modulaire, basée sur des GRAFCET distincts mais synchronisés, permet une commande claire, robuste et évolutive de la cellule robotisée.

GRAFCET CONVOYEUR1 / ZONE DE STOCKAGE :



Ce GRAFCET décrit la gestion de la sortie des pièces usinées et de leur acheminement vers la zone de stockage. Après le dépôt de la pièce par le robot sur le convoyeur 1, la pièce est transférée automatiquement vers le convoyeur 2. Le système attend ensuite l'intervention de l'opérateur pour l'emballage. Une fois la pièce emballée et déposée sur le convoyeur 3, celle-ci est transférée vers la zone de stockage, clôturant le cycle.

Illustration de notre système sous roboguide :



Synthèse et recommandations

La solution proposée répond aux objectifs exprimés par le client en termes de flexibilité, de cadence et de sécurité. L'intégration d'une cellule robotisée, associée à une architecture de commande structurée et synchronisée, permet d'optimiser les opérations de chargement/déchargement tout en garantissant une production continue et maîtrisée. Cette solution constitue une base robuste et évolutive, capable d'accompagner de futures extensions de la ligne de production.