



Projet proposé par :

**Alexandre CORRE, Ambroise DERRE et Nicolas-Gaëtan ROUSSEL**

## Remerciements

Nous souhaitons remercier Mme Laurence NOUAÏLLE et M. Gérard POISSON, qui encadrent le projet « concours OLYMPIADES FANUC » au sein de l'IUT de Bourges, pour leurs précieux soutien et conseils tout au long de notre projet.

Nous remercions également Mme Nathalie BEZARD et M. Vincent CAMMAGE, respectivement organisatrice de ce concours et ingénieur BE à FANUC France, pour leurs disponibilités.

## Présentation de l'équipe

**Alexandre CORRE** - Apprenti 2<sup>nd</sup> année DUT GMP

***Chargé de la Conception CAO et de l'architecture de la WORKCELL***



Je m'appelle Alexandre CORRE, j'ai 18 ans, je suis en seconde année de DUT Génie Mécanique et Productique à Bourges. Avec l'aide de deux amis, nous sommes lancés dans la réalisation du projet FANUC.

L'objectif de ce projet est de me surpasser et apprendre de nouvelles matières. Pour cela, pendant plusieurs semaines, j'ai effectué des recherches sur différents produits proposés par FANUC pour choisir les bons produits adaptés à ce projet. J'ai pris plaisir à effectuer la partie conception de ce projet et particulièrement la partie « travail en équipe » avec toute la communication derrière. Ce projet m'aura donc appris de nombreuses choses mais aussi que la robotique est l'avenir.

**Ambroise DERRE** - Apprenti 2<sup>nd</sup> année DUT GMP

***Chargé de la Conception CAO du préhenseur et des outillages***

Je m'appelle Ambroise DERRE et j'ai 19 ans. Je me suis lancé dans la réalisation du projet donné par FANUC avec mes amis.

Au cours de ces semaines de travail sur le projet j'ai pu découvrir le monde de la robotique ainsi que tous les produits vendus par FANUC, mais aussi le travail en équipe. Cela m'a permis de découvrir une matière intéressante avec beaucoup de domaines.



**Nicolas-Gaëtan ROUSSEL** - Apprenti 2<sup>nd</sup> année DUT GMP

***Chargé de la programmation sur ROBOGUIDE***

Je m'appelle Nicolas-Gaëtan Roussel, j'ai 29 ans, et je reprends des études dans le Génie Mécanique et Productique.

Souhaitant évoluer par la suite dans le domaine de la Mécatronique, les Olympiades FANUC sont une très belle opportunité de pouvoir y développer des compétences, mêlant créativité et technicité, ainsi que de construire un projet d'équipe qui soude des beaux liens avec ses camarades.

## Sommaire

1. Étude d'avant-projet
  - 1.1. Les conditions de production imposées
  - 1.2. Définition du temps de cycle à respecter
  - 1.3. Le cahier des charges déduit
  
2. La solution proposée
  - 2.1. Le choix du robot
  - 2.2. Présentation du cycle
  - 2.3. Présentation du préhenseur
  - 2.4. Les contraintes de programmation à respecter
    - 2.4.1. Payload à déclarer
    - 2.4.2. DCS
    - 2.4.3. Registres I/O
    - 2.4.4. Insertion des points et trajectoires
    - 2.4.5. Les temporisations
  
3. Résultats de notre solution et axes d'amélioration
  - 3.1. Le temps de cycle actuel
  - 3.2. Le respect du CDC
  - 3.3. Quelles améliorations possibles ?
  
- Conclusion

## 1. Étude d'avant-projet

Le sujet d'étude pour le concours Les Olympiades FANUC 2022 porte sur le besoin d'une société française fictive « **EcoJouets** » qui lance sa première version de jouets en plastique recyclé.

Elle souhaite produire localement tout en limitant les coûts de main d'œuvre notamment, et donc elle a choisi d'investir dans un moyen de fabrication automatisé.

### 1.1. Les conditions de production imposées

L'objectif est de proposer un ilot de fabrication automatisé à base de robots FANUC qui réalisent la sortie de presse à injecter ainsi que la découpe des carottes d'injection d'éléments de circuits de voitures destinés aux enfants de 4 à 8 ans. Les moyens mis en œuvre devront impérativement :

- Respecter le cahier des charges et être dimensionnés pour répondre aux objectifs de production.
- Les moyens validés en amont (ventouses et coupe-carottes) devront impérativement être intégrés
- Les bonnes pratiques en matière d'intégration des systèmes robotisés devront être respectées, notamment en matière de sécurité.
- Être développés dans une philosophie écologique et économique.

### 1.2. Définition du temps de cycle à respecter

Une étude de marché a permis d'estimer que les ventes pourraient atteindre 1 500 boîtes de circuits de voitures par mois, sachant qu'une boîte est constituée de 20 éléments lignes droites et 20 virages.

L'entreprise prévoit de fonctionner en une équipe de 8 heures par jour, 5 jours par semaine. Les pauses du personnel sont de 45 minutes.

La ligne subit des arrêts de 30 minutes par jour et 2 heures de maintenance préventives sont effectuées chaque semaine. Le pourcentage de pièces rebutées est de l'ordre de 5,4 %.

## Étude du temps de cycle machine pour le projet FANUC 2022

	Jour	Semaine	Mois (4 semaines)
Qté boîtes	75	375	1 500
Nb pièces conformes à produire (40 pièces/boîte)	3 000	15 000	60 000
<b>Nb grappes à produire (1 grappe = 4 pièces)</b>	<b>750</b>	<b>3750</b>	<b>15 000</b>
Virages (20 par boîtes)	375	1875	7 500
Lignes droites (20 par boîtes)	375	1875	7 500
<b>Rebuts (en grappe pleine de rebuts)</b>	<b>40,5</b>	<b>202,5</b>	<b>810</b>
Qté grappes bonnes 1er coup (après rebuts)	709,5	3 547,5	14 190
<b>Qté à produire pour compenser rebuts (coef. 1,005)</b>	<b>794</b>	<b>3972</b>	<b>15 889</b>
Nouveau rebuts (en grappe pleine de rebuts)	43	215	858
Qté Pièce bonnes 1 <sup>er</sup> coup (après rebuts)	3 006	15 031	60 124
<b>Qté à produire fixée</b>	<b>794</b>	<b>3972</b>	<b>15 889</b>

Temps dispo/employé (en heures)	8	40	160
Temps pause /employé (en heures)	0,75	3,75	15
Temps maintenance (en heures)	0,4	2	8
Arrêts de ligne (en heures)	0,5	2,5	10
Temps total effectif	6,35	31,75	127
Nb pièces / heure	125,1		
Temps de cycle pour 1 pièce (en heures)	0,008		
En minutes	0,480		
En secondes	28,775		

Le temps de cycle calculé est donc de **28,7 secondes**, c'est à dire que l'organisation de notre cellule de travail et la programmation de notre robot devront satisfaire à cette première limite d'ordre technique.

### **1.3. Le cahier des charges déduit**

	Fonctions Principales	Fonctions techniques
<b>Cycle de production</b>		
	Respecter le temps de cycle	Inférieur à 28,720 secondes
	Respecter la cadence d'utilisation journalière	794 cycles par jour
	Tenir dans une zone de 16m2	organisation de la workcell
<b>Supporter la charge à lever</b>		
	Le préhenseur	Définir la masse, les inerties et le centre de gravité
	Le poids de la grappe	Calculer la masse
<b>Phases de travail</b>		
	extraire la grappe de la machine à extruder	Déterminer le process
	utilisation des coupes carottes	Déterminer le dispositif
	Récupération des carottes après la coupe	Déterminer le process
	utilisation des ventouses fournies	Développer un préhenseur
	Détecter les pièces défectueuses	Insérer une méthode de détection
	Trier les pièces	Déterminer le process
	les rebuts pour recyclage	Déterminer le process
	les virages droits	Déterminer le process
	les virages gauche	Déterminer le process
	les lignes droites	Déterminer le process
<b>sécurité</b>		
	barrières Immatérielles	programmer le robot
	Présence de barrières matérielles ou non	selon le type de robot

## 2. La solution proposée

### 2.1. Le choix du robot

Nous avons décidé de travailler avec le robot collaboratif **FANUC CRX-10iA**. C'est un robot ayant une portée de 1,25 m et une charge utile de 10 kg.

Série Collaborative

Charge admissible au poignet : **35 kg**

Rayon max. : **1813 mm**

**Versions robot disponibles :**

CR-35iA	Modèle standard
CR-15iA	Poignet creux
CR-14iA/L	Bras long
CR-7iA	Modèle standard
CR-7iA/L	Bras long
CR-4iA	Modèle standard
CRX-10iA	Modèle standard
CRX-10iA/L	Bras long

CR-35iA

CRX-10iA/L

Image extraite du catalogue FANUC

Le cahier des charges et la disposition des carottes à couper de la grappe nous ont orientés assez rapidement vers un robot poly-articulés à 6 axes qui puisse supporter *a minima* une vitesse maximale de 1 000 mm/s afin de respecter le temps de cycle imposé.

La masse de la grappe qui a été calculée est relativement faible, soit **0,113 kg** avec :

- Une masse volumique de  $1\,200\text{ kg/m}^3$  (via notre logiciel de CAO et en comparant avec les valeurs données par le sujet de concours.

Source sujet FANUC : « Le matériau utilisé possède une masse volumique de  $1,35\text{ g/cm}^3$  et le volume de la grappe complète est de  $93,9\text{ cm}^3$  », ce qui donne une masse de grappe de 0,126 kg.

Le mode collaboratif permet à l'opérateur de s'approcher de la zone de travail du robot sans danger car la cellule peut être équipée de systèmes de détection de présence humaine (Laser à balayage en général) et que, par ailleurs, le robot **CRX10iA** est un cobot, ce qui fait qu'il peut stopper son déplacement à la moindre collision avec un humain.

Ainsi l'opérateur peut réaliser des opérations minutieuses tout en exploitant le robot comme assistant.

Cela limite aussi les investissements en barrières physiques car le robot travaille avec des espaces de travail sécurisés (DCS = Dual Check Security) et programmables.

Enfin, ce robot ouvre la voie à une application « cobotique » (l'humain et la machine qui collaborent) et offre une nouvelle forme de programmation, laquelle est graphique et plus interactive.

Robot			Contrôleur							Capacité de charge max. admissible au poignet (kg)	Rayon (mm)	Axes	Répétabilité (mm)	Masse unité mécanique (kg)
Série	Version	Type	Version		Type d'armoire									
			R-30iB Plus	Mini Plus	Compact	Open Air	Mate	A	B					
CR-35	iA		●	-	-	-	-	●	○	35	1813	6	± 0.03**	990
CR-15	iA		●	-	-	-	-	●	-	15	1441	6	± 0.02**	255
CR-14	iA	L	●			-	●	-	-	14	911 <sup>(*15)</sup>	6	± 0.01**	55
CR-7	iA	L	●	-	-	○	●	-	-	7	911	6	± 0.01**	55
CR-7	iA		●	-	-	○	●	-	-	7	717	6	± 0.01**	53
CR-4	iA		●	-	-	○	●	-	-	4	550	6	± 0.01**	48
CRX	iA	10	●	●	-	-	-	-	-	10	1249	6	± 0.04**	40
CRX	iA	10L	●	●	-	-	-	-	-	10	1418	6	± 0.04**	40

● standard    ○ sur demande    - non disponible

\*7) En cas de fixation au mur, l'espace de travail sera restreint en fonction de

\*15) 911 mm (capacité de charge <12 kg) - 820 mm (capacité de charge ≥ 12 kg)

Extrait du catalogue FANUC : caractéristiques de la « Payload » max et du rayon d'action.

Amplitude des mouvements (°)						Vitesse de mouvement (°/s)						Vitesse linéaire maximale (mm/s)
J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6	
370	165	258	400	220	900							750 <sup>(*7)</sup>
340	180	312	380	280	900							800/1500 <sup>(*14)</sup>
400/360	166	383	380	240	720							500 <sup>(*16)</sup>
400/360	166	383	380	240	720							1000 <sup>(*7)</sup>
400/360	166	374	380	240	720							1000 <sup>(*7)</sup>
400/360	150	354	380	200	720							1000 <sup>(*7)</sup>
380	360	570	380	360	450	120	120	180	180	180	180	1000 <sup>(*17)</sup>
360	360	540	380	360	450	120	120	180	180	180	180	1000 <sup>(*17)</sup>

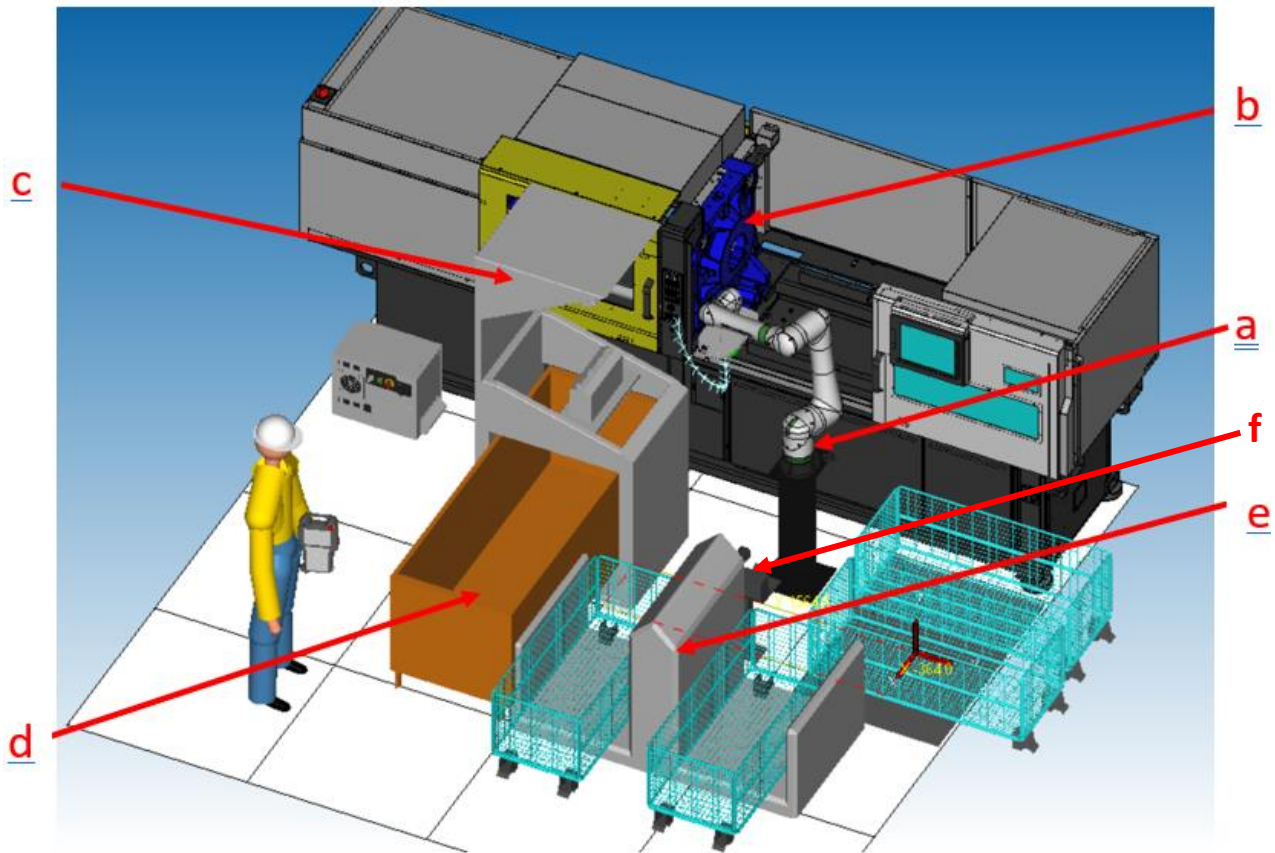
charge embarquée. \*14) Vitesse cartésienne max. 800 mm/s en mode collaboratif (1500 mm/s en mode hi

\*16) Lors de mouvements courts, la vitesse peut ne pas atteindre la valeur maximale indiquée. \*17)

Extrait du catalogue FANUC : caractéristiques de la vitesse maximale

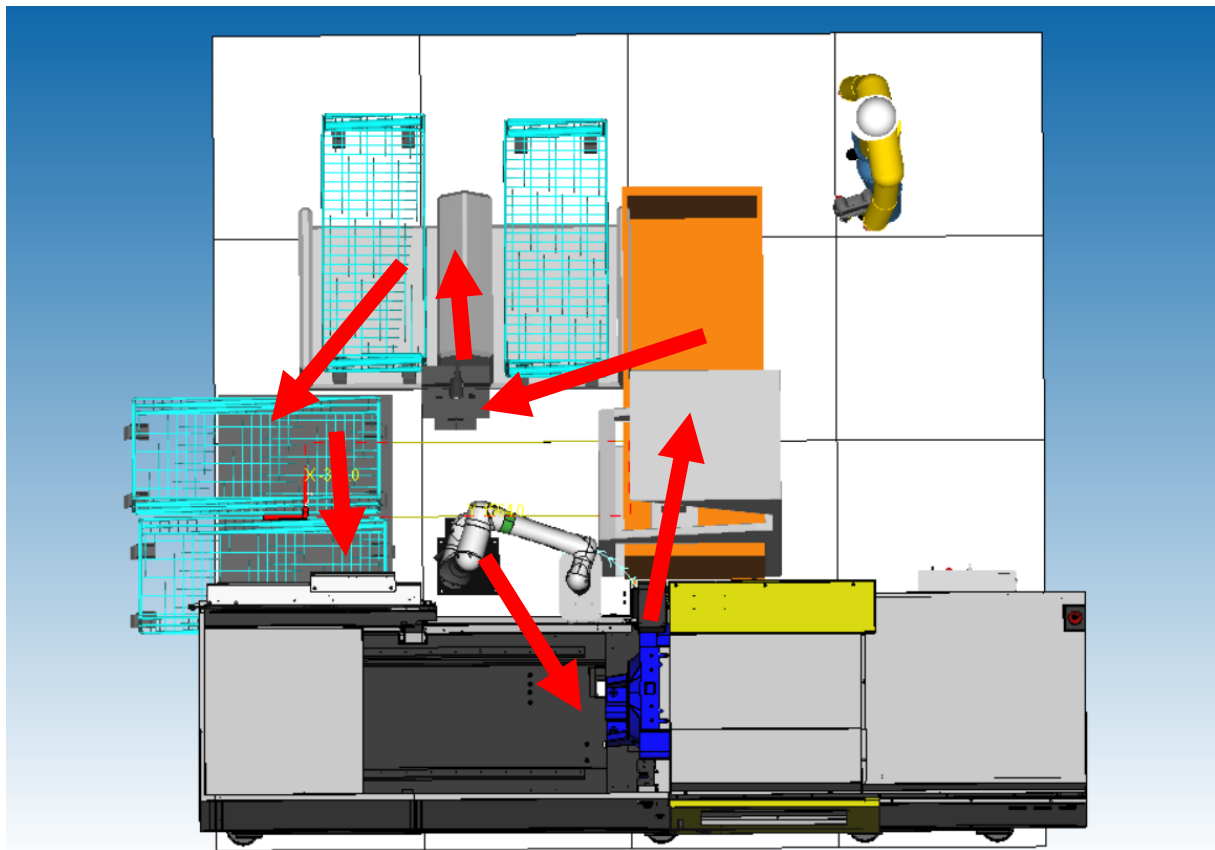


## 2.2. Présentation de la WORKCELL et du cycle de production



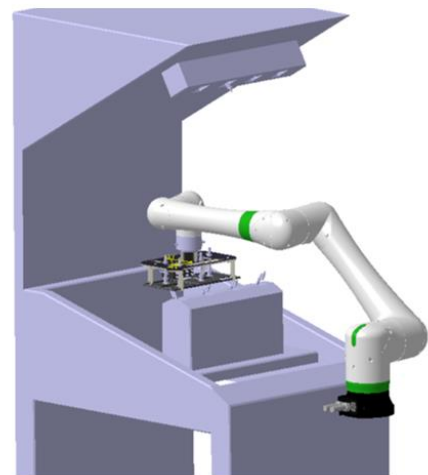
Notre cellule de production – ou WORKCELL - (intégrée à une surface de 16 m<sup>2</sup>) est composée des éléments suivants :

- a. La machine d'injection plastique **FANUC ROBOSHOT α-S100iA**
- b. Le robot 6 axes FANUC **CRX-10iA**
- c. Le poste de découpe créé sur mesure intégrant des coupes-carotte alimentés par un système pneumatique (non représenté)
- d. Un bac de récupération des carottes après découpe
- e. Un poste permettant d'assurer la séparation lors de la phase de « drop » (dépôts des pièces de manière commandée) des virages droits et gauche
- f. Un système de reconnaissance des pièces défectueuses (**Caméra iRVision**)
- g. Quatre chariots respectifs pour chacun des composants traités, soit de gauche à droite :
  - Virages droits
  - Virages gauches
  - Pièces droites
  - Pièces avec défauts pour rebuts

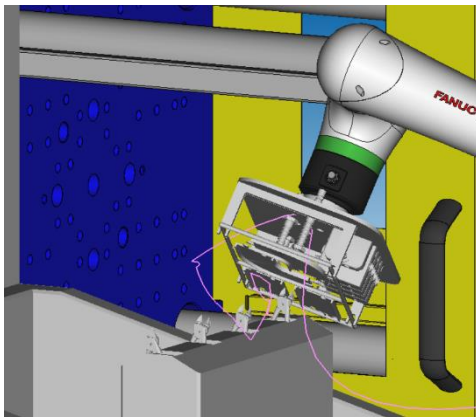
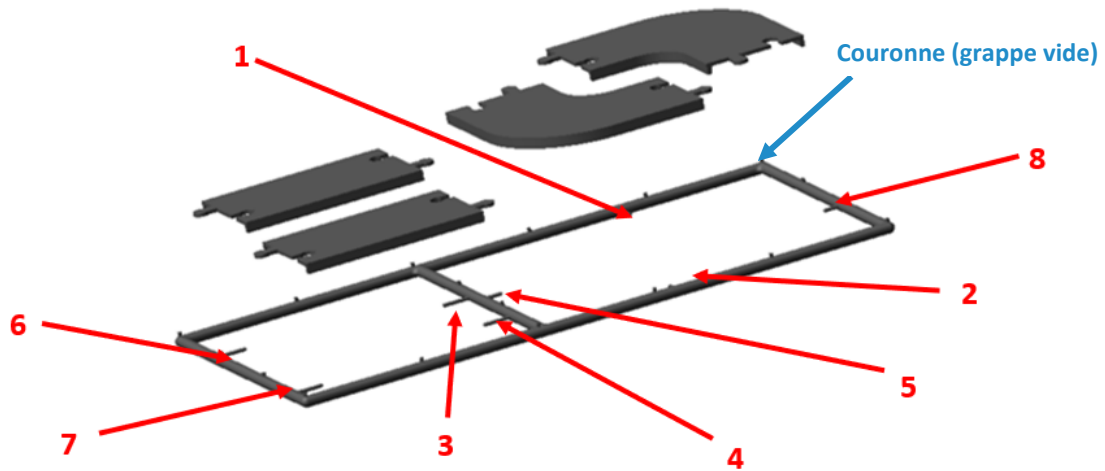


### Déroulement du cycle de production

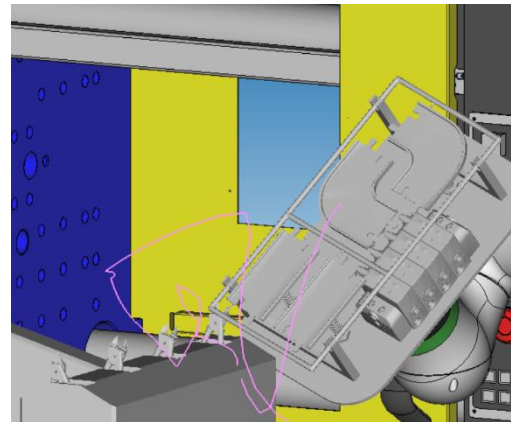
1. Le robot **attend 20 secondes lors du premier cycle** pour que la grappe soit extrudée et que la porte de la machine d'injection plastique FANUC ROBOSHOT  $\alpha$ -S100iA s'ouvre. Le système d'ouverture de la porte est supposé intégré à la machine et donc non représenté.
2. Le robot, qui est en position initiale, avance vers la machine et se positionne parallèlement à la sortie du moule (surface bleue figure ci-dessus). Avec le préhenseur, le robot se plaque à la grappe tout juste sortie puis active le système de préhension (voir ci-après).
3. Le robot sort de la machine ROBOSHOT puis déplace son outil vers le poste de découpe.
4. A partir de là, le robot va initialiser une séquence de découpe spécifique afin de permettre, **avant la découpe des 7<sup>e</sup> et 8<sup>e</sup> canaux d'injection** des carottes secondaires, de retourner le préhenseur (ci-dessous). Ce système a été mis en place en lien avec notre préhenseur afin d'éviter la chute de la couronne à la 7<sup>e</sup> coupe.



➔ Ci-après la séquence :



Découpes 1 à 6



Découpes 7 à 8

5. Après la découpe des carottes, le robot descend pour rejoindre le système de reconnaissance des pièces défectueuses. Ce contrôle sera effectué par vision avec les dispositifs matériels et logiciels **iRVision** que propose FANUC, et qui sont directement interfaçables dans le programme robot via les outils de Roboguide.

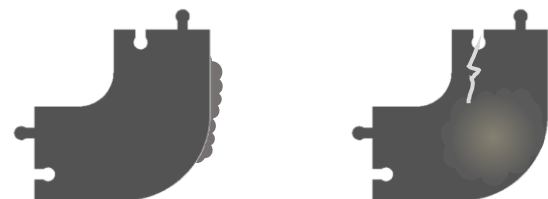
Les principaux défauts que nous proposons d'identifier sur les pièces finies sont des suivants (voir figure ci-contre) :

- Défauts de forme caractérisant un manque de matière : injection incomplète (trous, cavités), bulles, dentures...
- Défauts, a contrario, liés à des excès de matière (bavures),
- Défauts de surface : rayures, taches...



*Injection incomplète, cavités*

*Bulles*



*Bavures*

*Failles, Taches*

Le système de contrôle-qualité par vision sera positionné dans l'environnement sur une potence fixe : la caméra, ainsi que son éclairage.

La caméra est reliée au contrôleur du robot.

Les outils de programmation **R-30iB Plus** de FANUC permettront d'identifier, par méthode d'apprentissage, les différents types de défauts présents sur ces pièces.

Nous illustrons ci-contre ce que pourrait détecter le système iRVision sur un exemple type de défaut matière. L'extracteur de contours indique les zones conformes (**OK**) et celles qui ne le sont pas (**NG**).

Le système de vision émettra notamment un signal tout ou rien caractérisant le fait qu'un élément (ligne ou virage) soit conforme.

Ce signal sera exploité dans le programme robot pour gérer, en conséquence, le cycle dédié à la pièce :

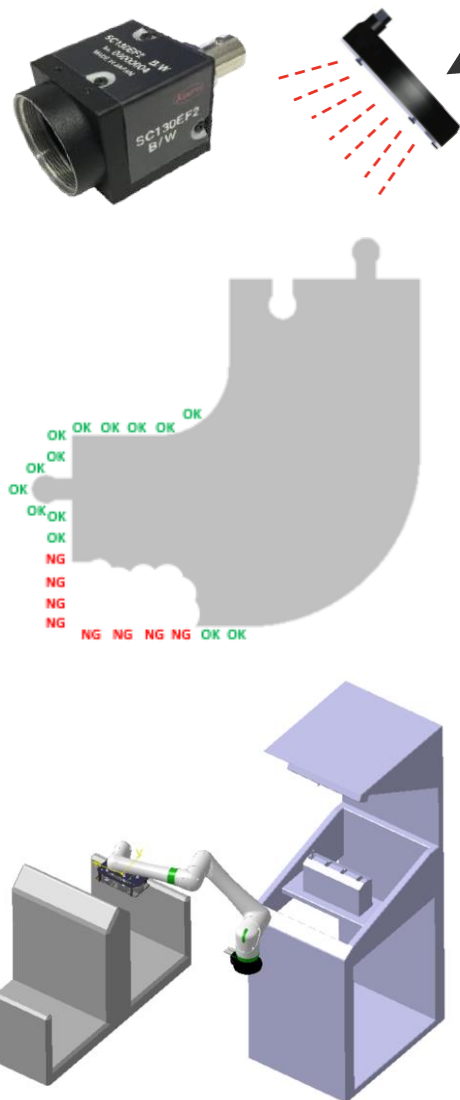
- Le dépôt, dans les bacs réservés, des produits conformes / des rebuts ;
- L'incrémentations des compteurs de pièces bonnes / pièces mauvaises et des types de défauts renvoyés. Ceci afin d'avoir un suivi de la qualité en vue d'apporter des éléments correctifs sur le processus.

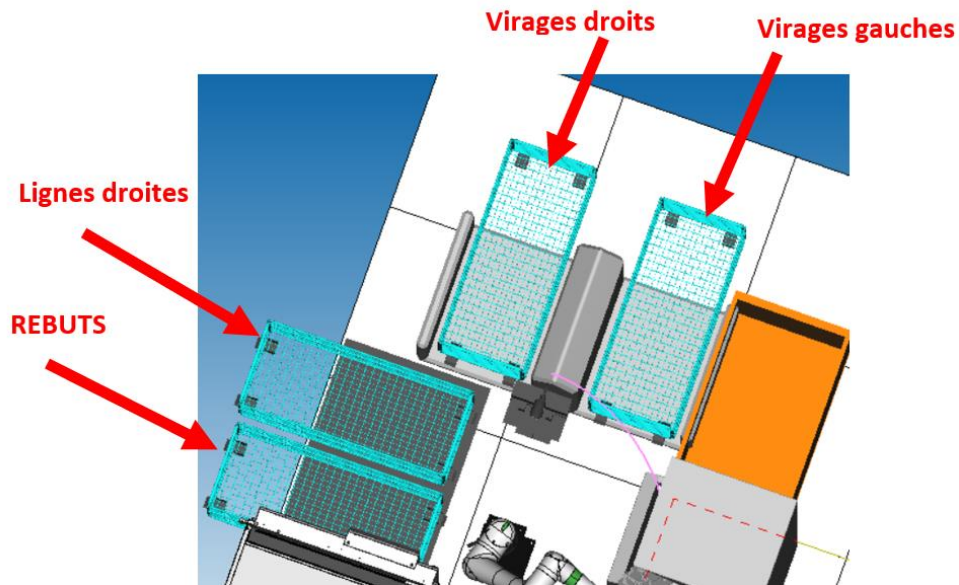
6. Lors de la phase de tri, le contrôleur du robot est informé du résultat du contrôle qualité effectué au poste de vision (autrement dit quelle pièce est bonne et quelle pièce est défectueuse).

Les 4 ventouses du préhenseur sont alors **pilotées de façon indépendante** (lâcher de pièce). Cela est rendu possible grâce à la présence d'un système de commande à **4 venturis** (1 pour chaque ventouse). De plus, nous avons choisi des venturis qui permettent de « **souffler** ». La libération de la pièce se fera donc de façon rapide, alors que sans le soufflage il faudrait attendre que la pièce se décolle de la ventouse. En s'inspirant de travaux proches, impliquant des prises/déposes par ventouses, nous avons considéré un temps de relâché garanti de **0,25 s**. Sans le soufflage, il faudrait au moins le double pour un lâché sûr.

- ➔ La séquence de tri est la suivante :
- Virages gauches – virages droits – lignes droites rebuts

Puis le cycle redémarre à nouveau en fonctionnement normal.





### **2.3. Présentation du préhenseur**

Notre préhenseur a été conçu selon plusieurs critères liés au robot choisi et aux cahiers des charges. Après étude, nous avons donc retenu les caractéristiques suivantes pour guider la conception :

#### **Caractéristiques massique et dimensionnelles**

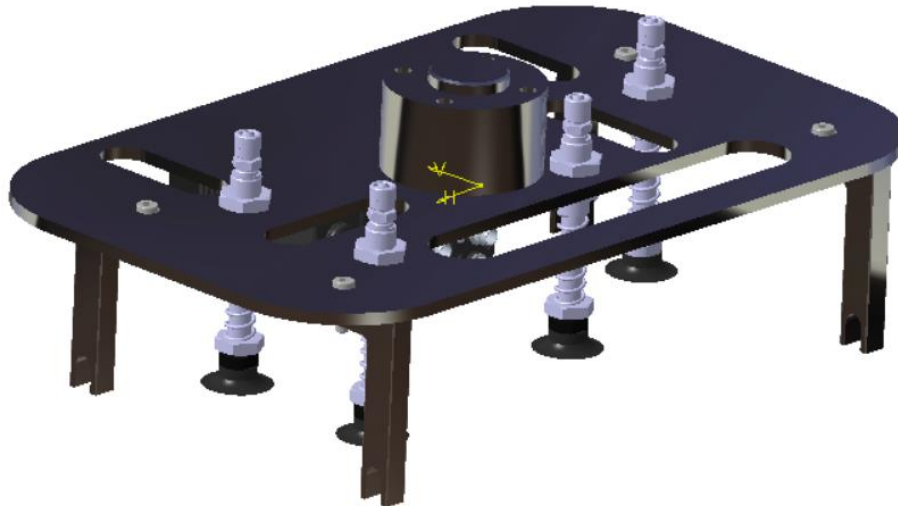
- Être le plus léger possible ( < 3 kg ).
- Avoir un centre de gravité le plus proche possible de l'axe  $Z_6$  de l'articulation 6.
- Faire que ce centre de gravité soit aussi le moins éloigné possible de la bride de fixation.
- Avoir pour encombrement maximum les dimensions de la grappe à découper de façon que les constantes d'inertie soient les plus faibles possibles.
- Autoriser des mouvements du poignet de grande amplitude (articulations J4, J5 et J6 du robot).

#### **Caractéristiques mécatroniques**

- Le préhenseur doit être tel que l'on puisse contrôler les ventouses séparément.
- Le câblage des parties électriques (0 et 24 VDC, les 4 pilotages d'aspirations, les 4 pilotages de soufflage et les 4 entrées Vacuostat), l'arrivée d'air et les 4 conduits pneumatiques vers les ventouses doivent être faciles à câbler, faciles d'accès pour la maintenance.

#### **Caractéristiques cobotiques**

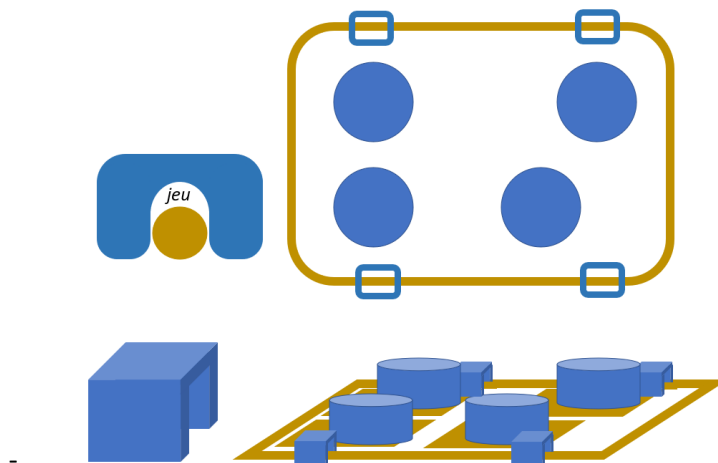
- Aucun angle vif, aucun élément tranchant ne doivent apparaître sur le dispositif



### Représentation du préhenseur

Les « U », usinés aux extrémités des 4 tiges-entretoises (ayant ci-dessus l'aspect de 4 pieds sous la plaque de base du préhenseur) permettent :

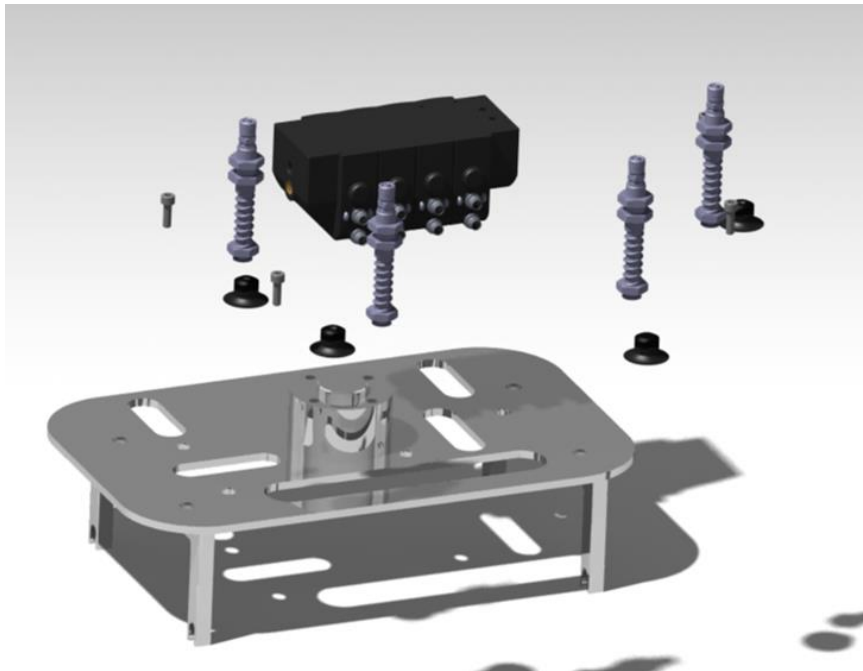
- De guider l'insertion de la grappe lors de la phase de préhension dans la machine d'extrusion (voir aussi le schéma ci-dessous).
- De maintenir la couronne après la découpe du 7<sup>e</sup> canal d'injection (comme expliqué plus haut).
- Après découpe du 8<sup>e</sup> canal d'injection, le préhenseur se retourne face au sol et la couronne tombe de son propre poids dans le bac de récupération.



Sur ce schéma, on peut observer :

- Les 4 ventouses en bleu. Elles sont disposées au-dessus des centres de gravité des 4 éléments.
- Les 4 « U », aussi en bleu, qui viennent se positionner sur 4 points de la couronne rectangulaire de la carotte (en brun). Un jeu important est à noter dans la direction verticale de cette figure. Il fait que le positionnement pièce-préhenseur est obtenu dans cette direction par la ventouse et non le U. Par contre, le jeu latéral est moindre : les 4 U servent à la mise en position latérale sur la presse à injecter avant que les aspirations des 4 ventouses ne soient activées.





### Nomenclature des pièces du préhenseur

Composants	Qté	Matériau	Référence	Fabricant
Châssis	1	Alliage d'aluminium	-	-
Ventouses	4	Polyuréthane thermo-élastique	-	FANUC
Porte ventouse simples avec ressorts	4	-	-	VUOTOTECNICA
Commande à vide électrique venturi	4	-	LEM-60X10-SVAB4	COVAL

Grace à notre logiciel de CAO, nous avons pu identifier que :

- La masse du préhenseur avec la grappe est de **1,416 kg.**
- Ce préhenseur représente à lui seul **1,303 kg.**

On a donc respecté notre critère de masse, défini dans le cahier des charges déduit.

Mesure d'inertie ? X

Définition  
Sélection : grappe-complete

Résultats  
Mode de calcul : Exact  
Type : Volume

Caractéristiques		Centre de gravité (G)	
Volume	6,205e-004m3	Gx	33,015mm
Aire	0,318m2	Gy	150,921mm
Masse	1,416kg	Gz	64,512mm
Masse volumique	Pas uniforme		

Inertie / G | Inertie / O | Inertie / P | Inertie / Axis | Inertie / système d'axe

Matrice d'inertie / G

loxG	0,013kgxm2	loyG	0,005kgxm2	lozG	0,016kgxm2
lxyG	1,032e-004kgxm2	lxzG	1,985e-004kgxm2	lyzG	4,579e-005kgxm2

Moments principaux / G

M1	0,005kgxm2	M2	0,013kgxm2	M3	0,016kgxm2
----	------------	----	------------	----	------------

## 2.4. Les contraintes de programmation à respecter

### 2.4.1. PAYLOAD à déclarer

Pour assurer le fonctionnement optimal du robot, voir ne pas l'abimer lui et la cellule de travail, il est nécessaire de déclarer une charge embarquée (appelé PAYLOAD) avec le préhenseur à vide et en charge.

Elle correspond à une masse avec une position de centre de gravité et des inerties. Ces conditions de charge du préhenseur doivent entrer dans les spécifications du robot et sont vérifiées à partir du « Payload Checker ».



No.	PAYLOAD [kg]	Comment
1	1.42	[Préhenseur+grap>]
2	1.23	[préhenseur seul ]
3	10.00	[ ]
4	10.00	[ ]
5	10.00	[ ]
6	10.00	[ ]
7	10.00	[ ]
8	10.00	[ ]
9	10.00	[ ]
10	10.00	[ ]

Active PAYLOAD number = 1

### 2.4.2. DCS (DUAL Check Security)

Le concepteur d'une cellule robotisée doit avoir dans ses priorités la sécurité des employés (opérateurs, méthodiciens, techniciens de maintenance...) qui sont amenés à travailler avec le robot.

Bien que le choix du robot **FANUC CRX-10iA** garantisse une grande sécurité grâce à son mode collaboratif (arrêt immédiat si contact avec un opérateur), il est nécessaire d'établir des espaces virtuels.

Ce sont les DCS pour « Sécurité à double contrôle » dans lesquelles on indique au robot :



- Des espaces autorisés (en vert dans notre cellule)
- Des espaces interdits d'accès (en rouge)

Les espaces autorisés sont de 3 types :

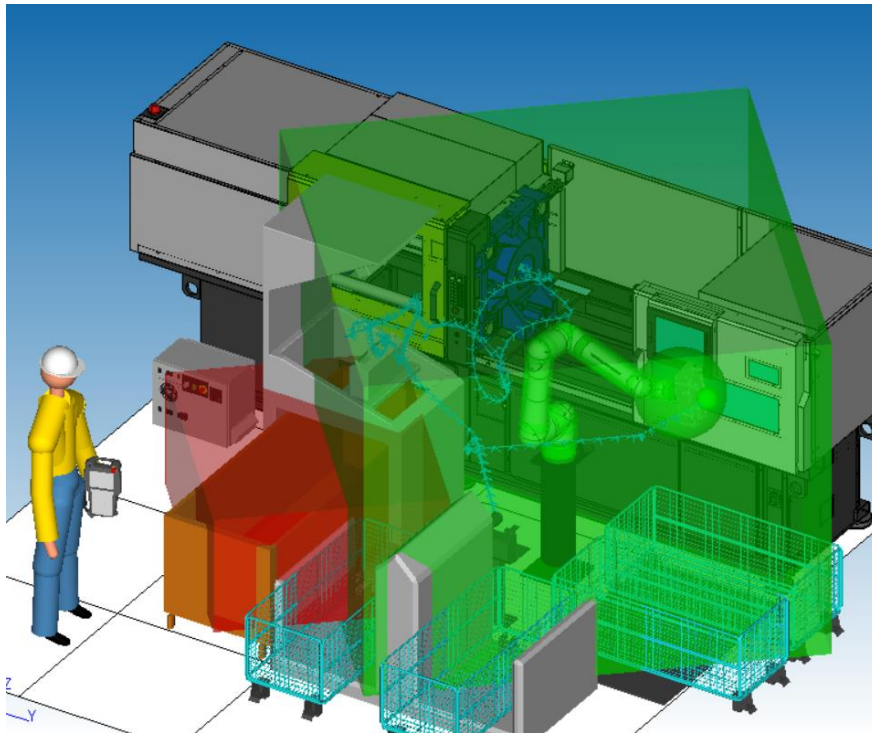
- Autour du robot
- Autour du préhenseur (ou généralement EOAT pour END of Arm Tooling)
- L'espace proprement dit où le robot peut évoluer et faire ses trajectoires.

Les espaces interdits répondent quant à eux à deux objectifs :

- Interdire des espaces pour protéger les opérateurs
- Protéger des obstacles présents dans les espaces autorisés (ex : contrôleur, caméra...) et donc protéger le matériel.

En cas de sortie de son espace autorisé ou pénétration d'un espace interdit, le robot s'arrête automatique.

➔ *Ci-dessous les DCS que nous avons imposé*



- En rouge, l'opérateur peut récupérer le bac à carottes de manière sécurisée et le poste de charge est protégé.
- En vert, le robot peut faire son cycle, le préhenseur évolue dans son espace propre (sphère verte) et le corps du robot aussi.

### 2.4.3. Les Registres I/O

ENTREES DIGITALES (DI)	
Mapping : DI [ 1 - 16] RACK1 SLOT1 START 1	
DI[1]	Injection terminée
DI[2]	Portes Presse ouvertes
DI[3]	Portes Presse fermées
DI[4]	Bac éléments droits présent
DI[5]	Bac virages présent
DI[6]	Bac rebuts présent
DI[7]	
DI[8]	
DI[9]	
DI[10]	
DI[11]	Etat du Vacuostat Ventouse1
DI[12]	Etat du Vacuostat Ventouse2
DI[13]	Etat du Vacuostat Ventouse3
DI[14]	Etat du Vacuostat Ventouse4
DI[15]	
DI[16]	

SORTIES DIGITALES (DO)	
Mapping : DO [ 1 - 16] RACK1 SLOT2 START 1	
DO[1]	Robot en attente devant la presse
DO[2]	Robot sorti de l'espace presse
DO[3]	Robot devant poste de vision
DO[4]	Pièce placée au coupe-carotte 1
DO[5]	Pièce placée au coupe-carotte 2
DO[6]	
DO[7]	Soufflage Ventouse 1
DO[8]	Soufflage Ventouse 2
DO[9]	Soufflage Ventouse 3
DO[10]	Soufflage Ventouse 4
DO[11]	Vide sur Ventouse1
DO[12]	Vide sur Ventouse2
DO[13]	Vide sur Ventouse3
DO[14]	Vide sur Ventouse4
DO[15]	
DO[16]	

Les deux tableaux ci-dessus illustrent l'affectation physique de quelques entrées-sorties utilisées dans l'application. Nous les avons insérées, via des valeurs registres, dans le Programme MAIN et sous-programmes concernées.

MAIN	DATA Registers
7/81	3/200
1: OVERRIDE=100%	R[ 1:compteur cycle ]=1
2: UTOOL_NUM=1	R[ 2:DI Inject_fini ]=1
3: PAYLOAD[2:préhenseur seul]	R[ 3:DI Porte open ]=1
4: UFRAME_NUM=1	R[ 4:DI porte close ]=0
5:	R[ 5:DI Bac ligne hee]=0
6:	R[ 6:DI Bac rightture]=0
7: FOR R[1:compteur cycle]=1 TO 3	R[ 7:DI bac leftturne]=0
8:	R[ 8:DI bac rebuts_he]=0
9: IF R[3:DI Porte open]=1,	R[ 9: ]=0
: CALL PHASE_EXTRUSION	R[ 10:DI status ventol]=0
10: CALL PHASE_COUPE_CAROTTE	R[ 11:DI state ventou2]=0
11: CALL PHASE_TRI	R[ 12:DI state ventou3]=0
12:	R[ 13:DI state ventou4]=0
13: ENDFOR	R[ 14: ]=0
14:	R[ 15: ]=0
15:	R[ 16:DO wait robot pt]=0
16:	R[ 17:DO sortie presse]=0
17:	R[ 18:DO robot IRVISIN]=0
18:	R[ 19:DO coupe ]=0
19:	R[ 20:DO coupe2 ]=0
20:	R[ 21: ]=0
Enter value	Enter value

Figurent dans ces tableaux les variables qui ont été évoquées dans les paragraphes du dessus : celles en DI et DO liées à la presse, celles liées au préhenseur, celles liées à la vision et aux dépôts. Le but est

d'indiquer la démarche globale que l'on a eue lors de la conception de la cellule, avec des conditions (sécurité, fonctionnement ...) à remplir pour le robot avant d'enchaîner l'étape suivante.

Dans ce contexte : un Slot en entrée et un Slot en sortie seraient suffisants (SLOT 1 et SLOT 2 ci-dessus). Dans un contexte plus global, où **il sera nécessaire d'intégrer des éléments de sécurité** en environnement du robot, 2 slots ne suffiront assurément pas.

Cela n'est pas pris en compte à ce jour dans notre projet.

Il conviendrait donc d'ajouter :

- Des signaux (entrées DI pour le robot) provenant par exemple d'un (ou plusieurs) capteur(s) d'environnement ( **Lidar** par exemple) disposés en proximité du robot.
- Des éléments de **dialogue humain-robot** (un départ-cycle, des boutons de commandes spécifiques aux modes « dégradés » de production, qui resteraient par ailleurs à définir, des voyants, avertisseurs sonores...).

### Exemple de notre gestion des I/O (non intégré au programme du TPE)

*Avant de faire Call machine il faut que la machine soit disponible*

11 : WAIT DI[1] = ON AND DI[2] = ON AND DI[3] = OFF;

12 : ! si Injection terminée et portes ouvertes et portes Pas fermées

*Dans « récupère grappe dans machine » il faut piloter les 4 ventouses quand le robot est sur la pièce*

Xx : DO[11] = ON ;

Xx : DO[12] = ON ;

Xx : DO[13] = ON ;

Xx : DO[14] = ON ;

Xx : WAIT 1 sec ;

*Après avoir fini « récupère grappe dans machine »*

33 : DO[2] = ON

34 : ! robot sorti de l'espace Presse, informer la presse qu'elle doit produire

*Il faudra lâcher les pièces au-dessus des bacs :*

*./ Arrêter le vide et ./ Souffler 0,2 s*

yy : DO[11] = OFF ;

yy : DO[7] = ON ;

yy: WAIT 0.200 sec ;

#### 2.4.4. Insertion des points et trajectoires

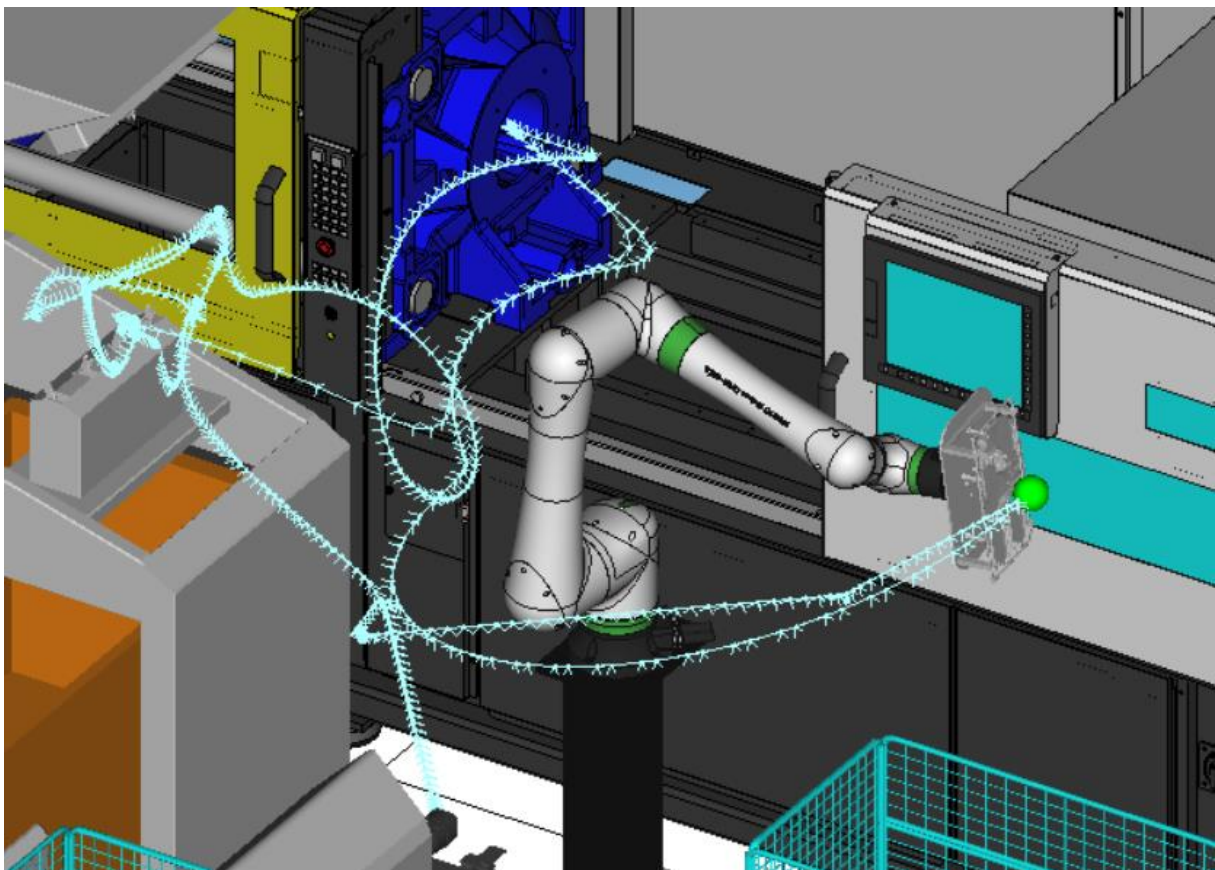
Partie la plus délicate durant le processus d'apprentissage de ROBOGUIDE, il a fallu comprendre les notions de USERFRAME, USERTOOL, repère WORLD ... et les liens entre ces derniers.

La plus parfaite des illustrations pour comprendre ce qui est, et ce qui n'est pas possible, est le bras humain. Ainsi nous pouvons rencontrer beaucoup de combinaisons dites « **singularités** » dans lesquelles des articulations s'alignent et font **perdre des degrés de mobilité** aux robots.

Une fois compris ce concept, la réalisation du programme s'est faite par :

- La déclaration des USERFRAMES nécessaires
- L'utilisation du mode **JOINT** pour débloquent le robot dans des situations délicates tout en enregistrant les positions intermédiaires de déblocage.
- Concernant les trajectoires, notre phase sur le poste de découpage fut intéressante et composée quasi-exclusivement de trajectoire JOINT (**en mouvements articulaires**) afin de pouvoir jouer avec les inclinaisons des articulations J6 - J5 - J4.
- Le but étant d'avoir si possible un maximum de trajectoires « quasi-rectilignes » (davantage en phase tri).

➔ *Ci-dessous les points de trajectoires de notre cycle de production*



#### **2.4.5. Les temporisations**

Ce sont des actions permettant la mise en pause du robot avant de passer à l'ordre suivant. Utilisé souvent en lien avec des DI/DO, nous les avons utilisées pour 4 cas spécifiques :

- Activation du système de préhension pour « agripper » la grappe depuis la matrice dans la machine d'extrusion.
- Lors des phases de coupes, chaque Wait correspond à l'action du coupe-carottes.
- Lors de la phase de contrôle visuel par la caméra iRvision.
- Pour la désactivation du vide (et donc des ventouses) via la commande à vide (DO coup de soufflette) lors de la phase des « drop » dans les différents bacs de tri.

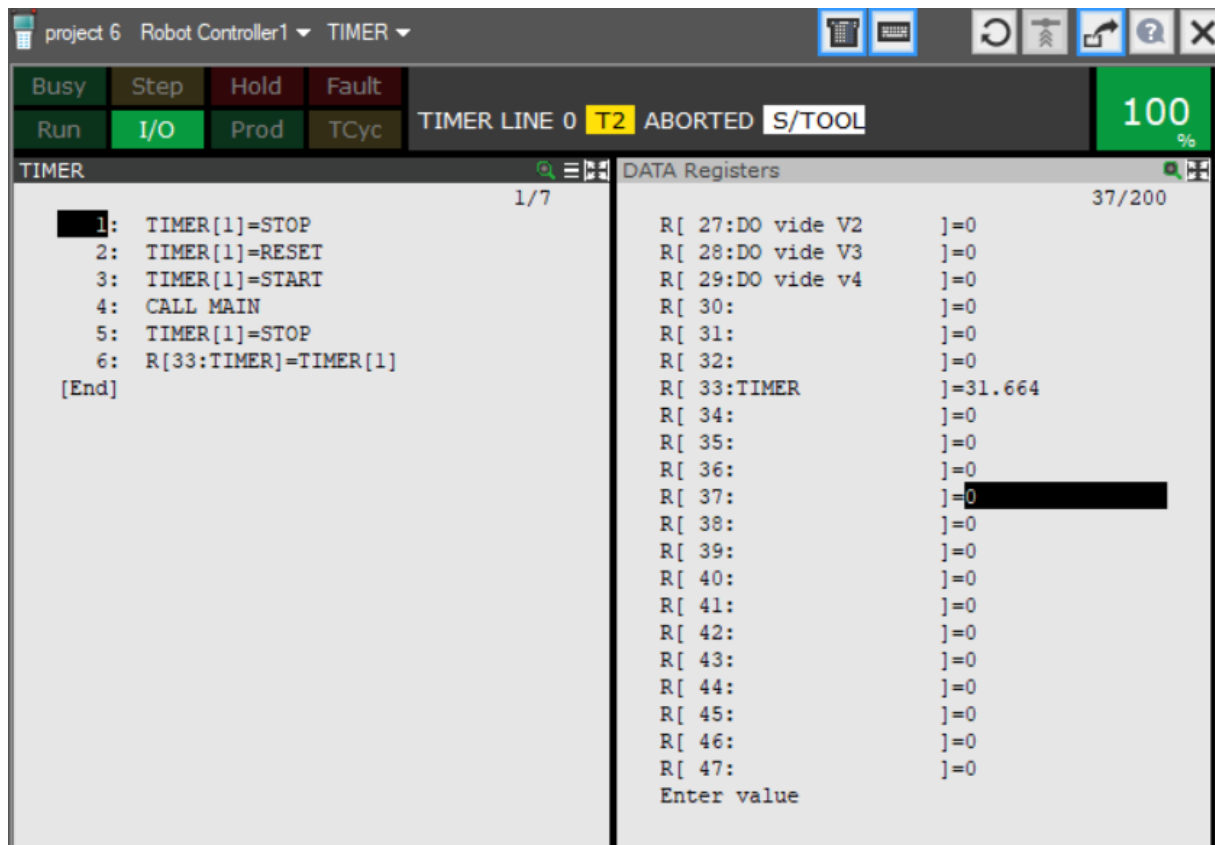
### **3. Résultats de notre solution et axes d'amélioration**

#### **3.1. Le temps de cycle actuel**

Nous avons créé un programme TIMER qui va calculer le temps de cycle du programme MAIN de manière exacte (la vidéo AVI provoque un léger décalage qui nous avait été indiqué dans les recommandations FANUC).

Ainsi notre temps de cycle actuel est de **31,7 secondes**.

C'est 3 secondes de plus que le temps de cycle attendu (**27,7 secondes**) mais en définitive, après un peu de temps à passer à optimiser du cycle (optimisation des trajectoires et des placements relatifs des éléments dans la cellule), nous pensons que pouvons l'atteindre sans trop de difficultés (c'est 10 % du temps de cycle à gagner).



### 3.2. Le respect du CDC

	Fonctions Principales	Fonctions techniques	Réponse donnée
<b>Cycle de production</b>			
	Respecter le temps de cycle	Inférieur à 28,72 secondes	31,7 secondes
	Respecter la cadence d'utilisation journalière	794 cycles par jour	Ok
	Tenir dans une zone de 16m <sup>2</sup>	Organisation de la workcell	Ok
<b>Supporter la charge à lever</b>			
	Le préhenseur	Définir la masse, les inerties et le centre de gravité	Inférieur à 3 kg
	Le poids de la grappe	Calculer la masse	Ok
<b>Phases de travail</b>			
	Extraire la grappe de la machine à extruder	Déterminer le process	Ok
	Utilisation des coupes-carotte	Déterminer le dispositif	Ok

	Récupération des carottes après la coupe	Déterminer le process	Ok
	Utilisation des ventouses fournies	Développer un préhenseur	Ok
	Détecter les pièces défectueuses	Insérer une méthode de détection	Ok
	Trier les pièces	Déterminer le process	Ok
	Les rebuts pour recyclage	Déterminer le process	Ok
	Les virages droits	Déterminer le process	Ok
	Les virages gauche	Déterminer le process	Ok
	Les lignes droites	Déterminer le process	Ok
<b>Sécurité</b>			
	Barrières Immatérielles	Programmer le robot	Oui
	Présence de barrières matérielles ou non	Selon le type de robot	Non nécessaire

### **3.3. Quelles améliorations possibles ?**

Notre solution répond à beaucoup de critères du cahier des charges mais nécessite quelques ajustements pour :

- Respecter le temps de cycle
- Rechercher l'amélioration continue (KAIZEN)

Les premières idées qui nous sont venues étaient :

- L'optimisation des trajectoires en favorisant un maximum celles rectilignes.
- Limiter les ajustements de trajectoires FINE au maximum sauf quand la précision le nécessite.
- L'organisation de la WORKCELL et des postes chronophages (phase de découpe notamment).
- S'assurer d'avoir des PAYLOAD le plus faibles possibles et des outils équilibrés (amélioration du préhenseur).

## **Conclusion générale**

Cela fût un réel plaisir pour nous trois de travailler sur ce projet enrichissant, techniquement et intellectuellement.

Nous avons découvert l'univers des EOAT et des différents types de solutions existantes sur le marché. Mais également la nécessité d'avoir un esprit global lors de la conception d'un nouveau projet d'industrialisation, condition nécessaire à la bonne réussite du projet.

Ainsi le projet de robotisation d'une cellule n'était pas seulement que de la programmation ou de la conception assistée par ordinateur, mais également des échanges entre nous, Mme Nouaille et M. Poisson.

**Le but** : créer une solution qui nous semble réalisable et applicable dans le monde industriel.