

Projet de Fin d'études

Optimisation des trajectoires d'une chaîne de production à l'aide d'un robot Kuka



Remerciements

Pour ce projet, nous tenons à remercier notre tuteur M. Merzouki qui nous a proposé ce projet. L'entreprise Lequien pour laquelle nous avons réalisé ce projet qui a bien voulu nous fournir les informations que nous avons demandé. Le dispositif Centaure qui a permis la réalisation de ce projet. Des remerciements aussi à l'université de Lille 1, à Polytech et au département IMA.

Pour finir, nous remercions toutes les personnes qui nous ont aidés dans ce projet, dont Vincent Coelen qui nous a aidé quand nous avons rencontré des problèmes techniques. Mais aussi toute notre promotion qui nous a soutenu moralement.

Sommaire

Remerciements.....	1
Sommaire	2
Sommaire des figures	3
Contexte	4
Descriptif du projet	4
Cahier des charges.....	5
Problématique Majeure du Projet.....	6
Avancement du Projet.....	7
Interface Graphique	9
Trajectoires.....	14
Communication.....	16
Améliorations	17
Conclusion	18

Sommaire des figures

Figure 1: Exemple d'usinage de pièce en deux opérations	4
Figure 2 : Disposition des équipements	5
Figure 3: Image montrant un cycle complet.....	5
Figure 4: Diagramme de Gantt.....	7
Figure 5: Environnement du robot Kuka final	8
Figure 6: Interface Graphique Page 1	10
Figure 7: Interface Graphique Page 2	11
Figure 8: Interface Graphique Page 3	11
Figure 9: Interface Graphique Page 3bis.....	12
Figure 10: Interface Graphique Page 4	12
Figure 11: Interface Graphique Page 5	13
Figure 12: Interface Graphique Page 5 avec la fenêtre de validation	13
Figure 13: Exemple d'une trajectoire.....	15
Figure 14: Extrait du code principal	16

Contexte

La société SARL LEQUIEN est spécialisée dans la fabrication et la commercialisation d'ensembles mécaniques et de mécano-soudure de précision, usinés en commande numérique en petites et moyennes séries.

Notre projet s'inscrit dans le cadre du dispositif Centaure et consiste à accompagner en bureau d'étude des PME/PMI de la région Nord-Pas-de-Calais-Picardie, dans notre cas il s'agit de concevoir les déplacements d'un robot KUKA KR210 R2700 extra, ainsi qu'une interface graphique afin de permettre la fabrication de pièces la nuit et d'augmenter le rendement actuel. Cela permet aussi une intégration plus simple à l'aide d'un travail sous un environnement virtuel.

Descriptif du projet

L'objectif de notre projet étant de configurer et programmer le robot Kuka, nous avons rencontré notre tuteur entreprise le jeudi 24 septembre afin de mettre au point le cahier des charges. Le centre de fraisage est équipé de deux palettes permettant le chargement en temps masqué de pièces à usiner. Chaque palette est équipée de deux faces d'usinage, permettant ainsi le chargement de plusieurs pièces ou opérations d'usinage. Chaque pièce est produite en petite ou moyenne quantité (rotation quotidienne entre les différents types) et subie une ou deux opérations d'usinage.



Figure 1: Exemple d'usinage de pièce en deux opérations

Afin de charger le centre de fraisage, un robot Kuka a été installé afin de permettre le chargement des pièces la nuit. Les pièces sont disposées dans les magasins 1 ou 2 sur des paniers empilés.

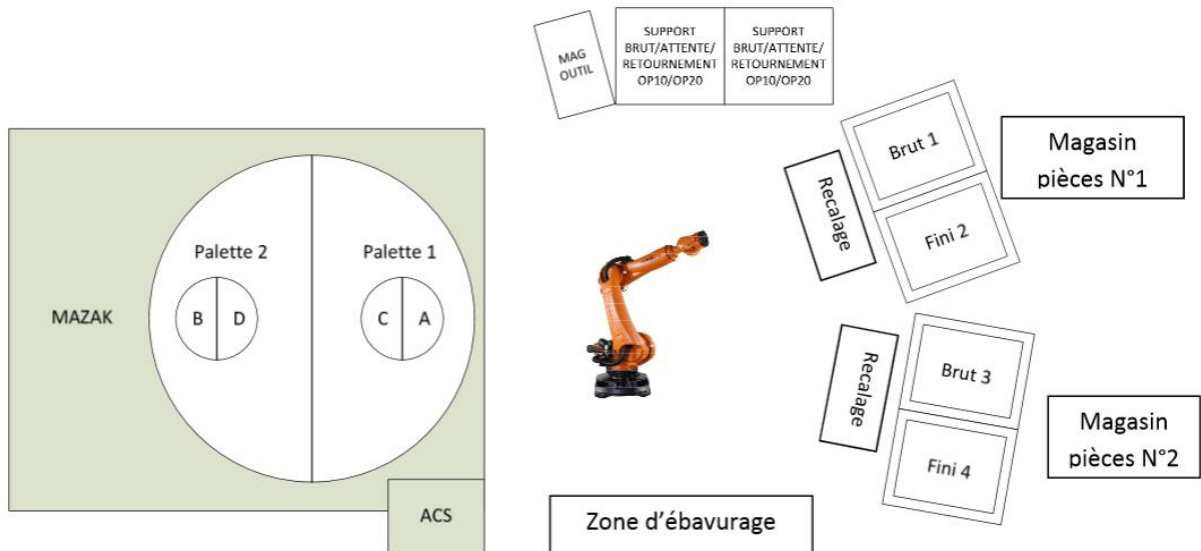


Figure 2 : Disposition des équipements

Cahier des charges

Le projet se décompose en plusieurs phases distinctes. La première partie consiste à modéliser l'environnement en 3D et simuler des trajectoires. Pour cela, nous allons utiliser le logiciel Kuka Sim Pro qui nous permet de réaliser les cycles des différentes pièces. L'un des cycles à réaliser est le suivant :

- Prise d'une pièce (1)
- Dépôt sur le support d'ajustement (2)
- Dépôt sur le montage de bridage pour la 1ere opération d'usinage (3)
- Usinage de la 1ere Opération
- Dépôt sur le support de retournement (4)
- Dépôt sur le montage de bridage pour la 2eme opération d'usinage (5)
- Usinage de la 2eme Opération
- Dépôt sur le panier fini (6)

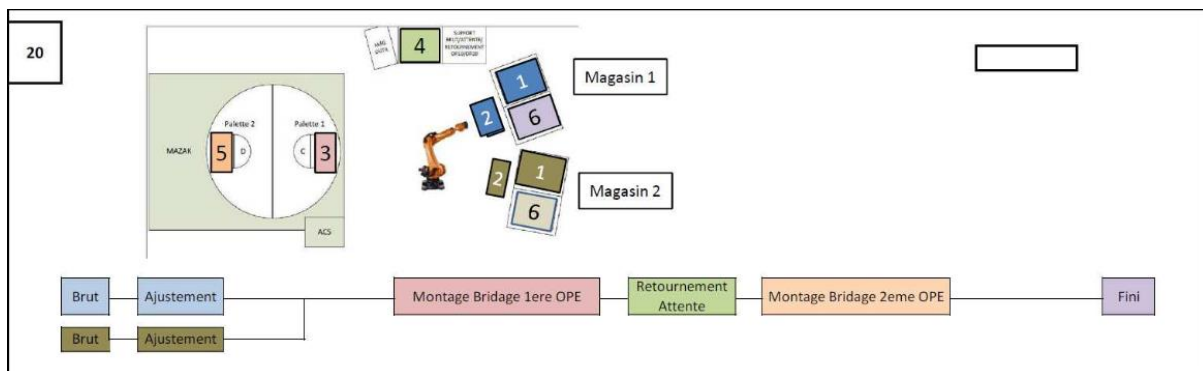


Figure 3: Image montrant un cycle complet

La deuxième partie consiste à réaliser une base de données qui va référencer les différentes pièces existantes ainsi que les trajectoires associées. Enfin, la dernière étape sera de réaliser une interface graphique permettant de choisir les pièces à usiner.

Dans le futur, l'entreprise souhaiterait ajouter un poste d'ébavurage¹ afin d'automatiser la finition de la pièce ainsi qu'un recalage par palpation avec un capteur RENISHAW afin de recalibrer les pièces (la tolérance est de 0.1 mm)

Problématique Majeure du Projet

Afin de mener à bien ce projet il y a de nombreuses choses que nous devons prendre en compte. La problématique majeure de ce projet vient du contexte dans lequel il se place. En effet, cette entreprise usine de nombreuses pièces différentes à la demande du client et donc, cela va induire quelques contraintes et nous obliger à réaliser quelque chose de très flexible.

Premièrement, les cycles d'usinages que nous devons programmer sont multiples car, comme décrit précédemment, la machine d'usinage comporte deux palettes et deux faces par palettes. Suivant les faces disponibles, nous allons devoir ajuster notre programme afin de pouvoir réaliser nos opérations d'usinages sur n'importe quelles faces. Mais aussi être capable de gérer plusieurs programmes de façon concurrente.

Pour les pièces comportant deux étapes d'usinages, il devra être possible de stopper le programme entre les deux opérations d'usinage dans le cas par exemple d'une commande urgente d'un client.

Une autre contrainte concerne les magasins de pièces. Les pièces sont stockées sur des palettes que l'on va venir empiler les unes sur les autres. Or, suivant le type de pièce, il est parfois nécessaire d'ajouter des rehausseurs entre deux palettes. Ces derniers peuvent être de différentes tailles ce qui entraîne une hauteur variable pour chaque palette qui doit être prise en compte lors du programme.

Voici un exemple type de programme réalisé par le robot Kuka :

Il prend une pièce sur le panier contenant les produits bruts, il vient la poser sur un système de recalage, puis l'apporte dans la machine-outil. Une fois l'usinage terminé, le robot Kuka vient souffler sur la pièce pour retirer les déchets, puis la poser sur un support de retournement, enfin il souffle sur la machine-outil. Il vient ensuite reprendre la pièce dans l'autre sens et la poser pour sa deuxième opération d'usinage. Pour finir, il souffle à nouveau la pièce, la dépose sur le bac des produits finis et revient souffler la machine.

Il peut parfois être nécessaire de libérer une face de la machine-outil entre les deux étapes d'usinages, soit après avoir posé la pièce sur le support de retournement.

¹ Il s'agit de retirer les défauts comme des excroissances qui subsistent après l'usinage

Avancement du Projet

Concernant l'avancement du projet voici un petit diagramme de GANTT présentant notre planning.

	Septembre	Octobre	Novembre	Decembre	Janvier	Février
Prise en main du logiciel	■					
Génération de l'environnement		■				
Réalisation des trajectoires					■	
Création d'une IHM					■	

Figure 4: Diagramme de Gantt

Les deux premières semaines ont été consacrées à la réalisation du cahier des charges avec le tuteur entreprise ainsi que la prise de mesures sur place pour pouvoir ensuite réaliser l'environnement 3D sur le logiciel Kuka Sim Pro. Ce logiciel permet de simuler un environnement 3D ainsi qu'un robot et ses trajectoires. De plus, l'utilisation de ce logiciel permet d'implémenter nos trajectoires facilement sur le robot (avec l'utilisation du logiciel Kuka Office Lite). Ainsi, nous avons réalisé une initiation sur le logiciel Kuka Sim Pro.

Lors de la troisième semaine, nous avons eu une petite formation sur le logiciel et nous avons donc pu commencer la réalisation de l'environnement 3D avec les modèles 3D fournis par notre tuteur, ainsi que les mesures que nous avons réalisées.

Nous avons pris un peu de temps à recalculer nos mesures afin de coïncider avec le référentiel utilisé par le logiciel qui est centré sur le robot. Le but étant d'avoir la position cartésienne de chaque élément par rapport à l'origine, car il n'est pas possible d'utiliser des angles afin de contraindre la position des différents éléments.

Voici à quoi ressemble l'environnement final réalisé :

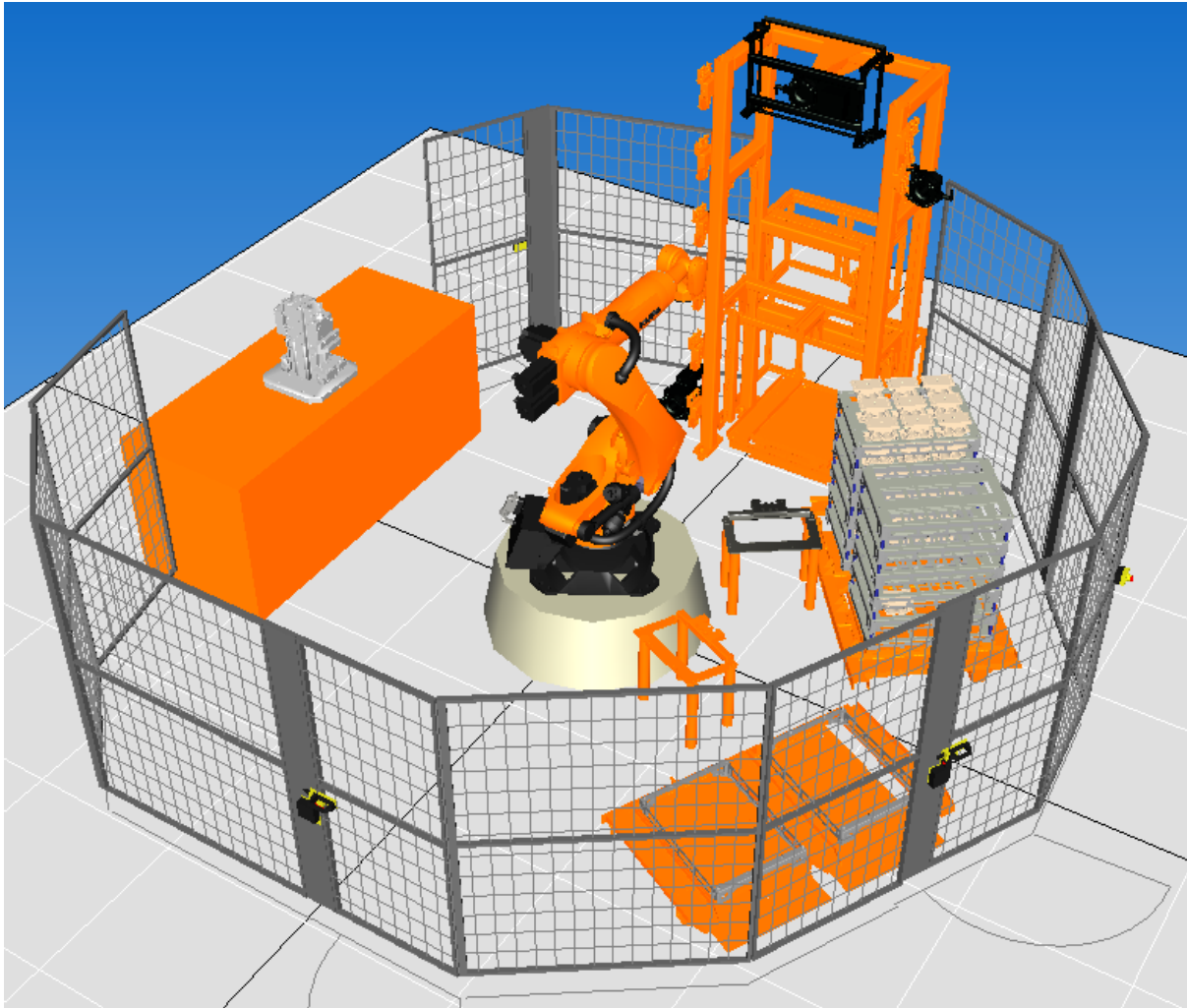


Figure 5: Environnement du robot Kuka final

Lors des semaines quatre à six, nous avons continué la réalisation de l'environnement et commencé à réaliser des trajectoires simples afin de découvrir le logiciel. Et nous avons réussi à réaliser des trajectoires avec changement de préhenseur. (Les PDF 3D des trajectoires sont disponibles sur le wiki)

Puis nous sommes retournés à l'entreprise durant la semaine sept afin de montrer notre avancement à notre tuteur entreprise et de reprendre quelques mesures de l'environnement du robot, dont nous avons besoin pour finaliser le modèle 3D.

Ensuite, nous avons consacré les semaines huit et neuf afin d'exporter un programme réalisé sur Kuka Sim Pro et le faire fonctionner sur le robot Kuka KR6 présent en salle C303. Ceci demande un passage par un autre logiciel qui est Kuka Office Lite qui permet d'avoir un programme interprétable par le robot à partir de trajectoires réalisées sur Kuka Sim Pro. Ce logiciel permet aussi de visualiser la trajectoire réelle telle qu'elle sera réalisée sur le robot, car Kuka Sim Pro nous montre des trajectoires grossières.

Ces semaines huit et neuf ont aussi été utilisées afin de faire le point sur ce que nous avons fait et ce qu'il nous reste à faire afin de pouvoir le mettre dans notre rapport.

Nous avons aussi réfléchi quant à la façon de réaliser les ajustements de notre environnement. Car il a été réalisé à l'aide des mesures fournies par l'entreprise ainsi que quelques mesures réalisées par nous-même. Or, notre environnement doit être précis au millimètre et donc des ajustements sont nécessaires.

La solution que nous allons mettre en place est de se déplacer à l'entreprise et de lancer notre programme afin de pouvoir observer et corriger les erreurs. Le problème étant que nous allons avoir besoin sur place des différents des logiciels, or il est possible d'obtenir une version temporaire de Kuka Sim Pro mais pas de Kuka Office Lite. C'est pourquoi nous allons devoir travailler à distance avec Teamviewer.

Nous nous sommes donc déplacés à l'entreprise afin de réaliser les ajustements. Or, nous pensions réaliser ces ajustements à l'aide de notre programme et de teamviewer, néanmoins la connexion internet n'était pas assez performante pour cela. Nous avons donc fait nos ajustements directement en manuel, nous avons déplacé le robot aux points dont nous avons besoin, et nous avons récupéré les positions des différents axes du robot.

A l'aide de ces positions, nous avons pu ajuster notre environnement 3D sur Kuka Sim Pro qui correspond maintenant à la réalité.

Interface Graphique

Pour ce qui est de la partie interface graphique, nous pensions repartir de ce qui avait déjà été réalisé dans l'entreprise. Or, l'entreprise a souhaité que l'on reparte de zéro, ce qui avait été réalisé avant leur paraissait peu optimisé et trop compliqué.

Nous avons donc repris l'interface graphique à partir de zéro tout en gardant quelques idées de l'ancienne interface, par exemple les codes couleurs ainsi que le style général assez simpliste.

Voici ce qui a été réalisé, il s'agit-là d'une interface qui se voulait assez simpliste mais fonctionnelle. Cette interface a pour but de venir sélectionner un programme afin de l'exécuter sur le robot. Pour cela il est nécessaire de définir certains paramètres :

- Le type de pièce que l'on souhaite usiner.
- Le nombre d'opérations à réaliser sur ces pièces. (une ou deux suivant les pièces)
- La face de la machine-outil utilisée pour cette ou ces opérations. (il y a quatre faces disponibles)
- L'emplacement où l'on va venir chercher les pièces à usiner et déposer les pièces usinées. (il y a deux magasins produit dans l'environnement du robot)
- La réalisation ou non de retournement (ceci sera expliqué par la suite)
- Et pour finir le nombre de pièces que l'on va usiner.

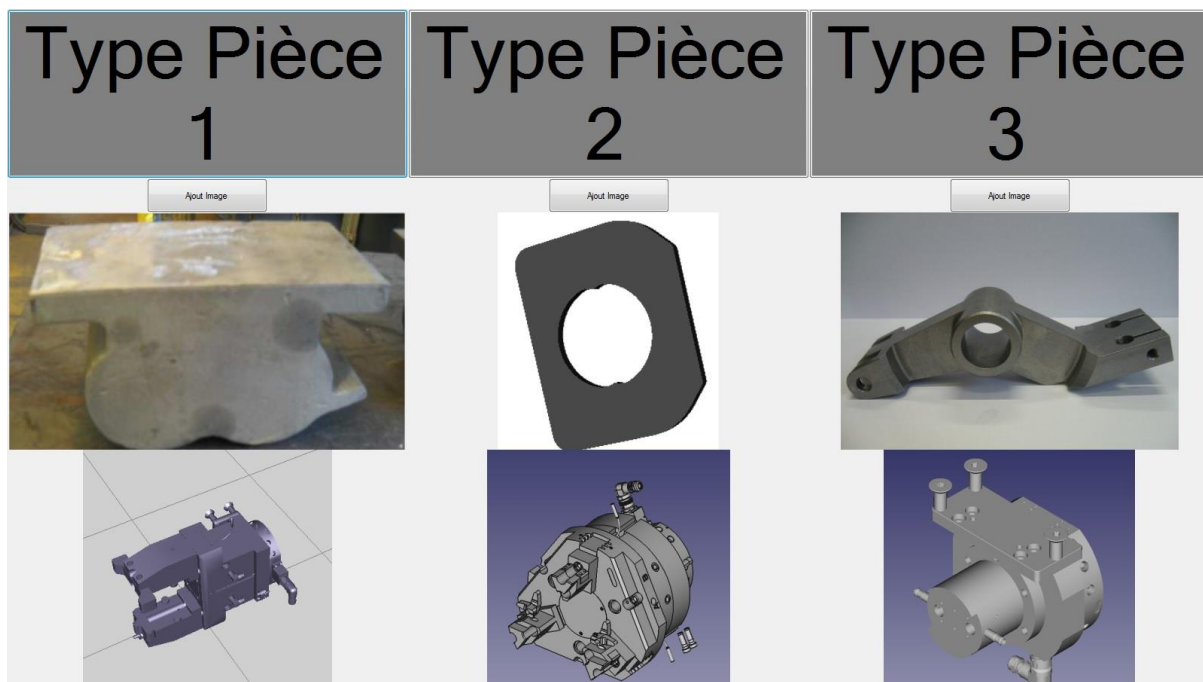


Figure 6: Interface Graphique Page 1

Ici, sur la page 1 on peut voir le choix du type de pièce entre les pièces 1, 2 et 3. Ce choix est assisté via des illustrations des pièces en question avec le préhenseur utilisé pour ce type de pièce. Pour le moment nous avons utilisé les images que nous avons à notre disposition mais par la suite nous aurons d'autres images.

De même, nous avons actuellement des boutons afin de modifier les images, ces boutons ont été implantés car sur l'interface précédente il était possible de le faire. En revanche nous pensons à les retirer car ils ne sont pas des plus importants.

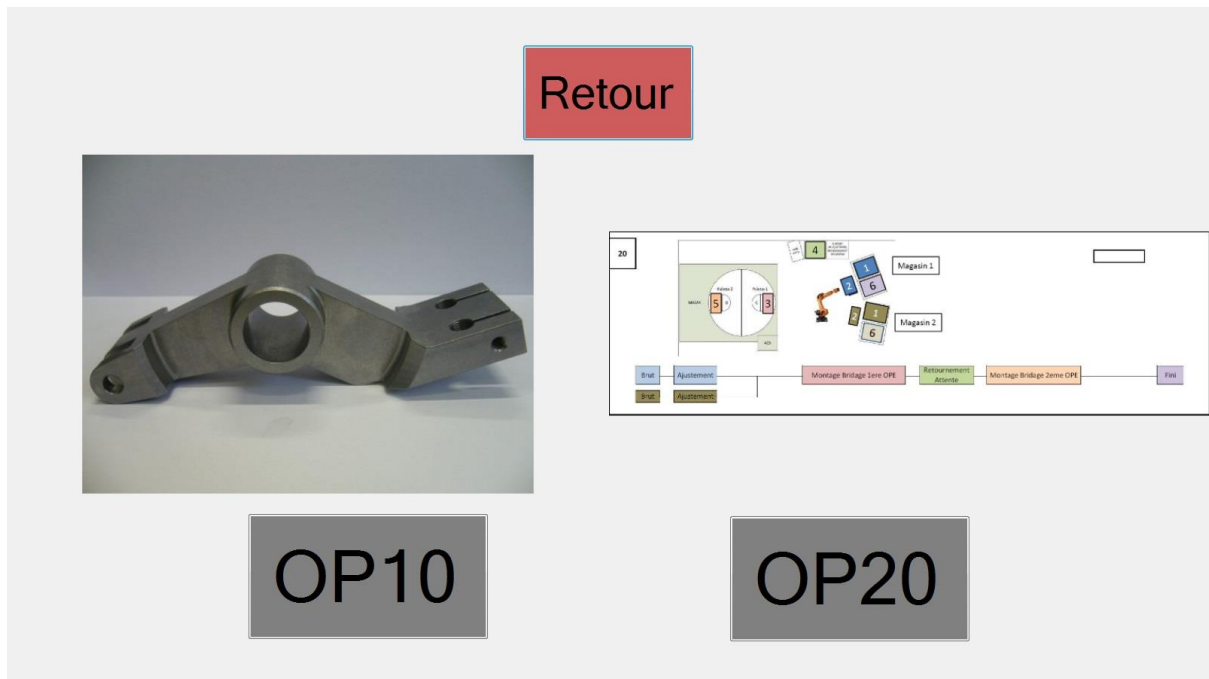


Figure 7: Interface Graphique Page 2

Sur la page 2 se trouve le choix du nombre d'opérations d'usinage. L'OP10 correspond à une opération et l'OP20 à deux opérations. Ici aussi les images sont temporaires afin de pouvoir bien visualiser mais nous allons les remplacer dès que possible.

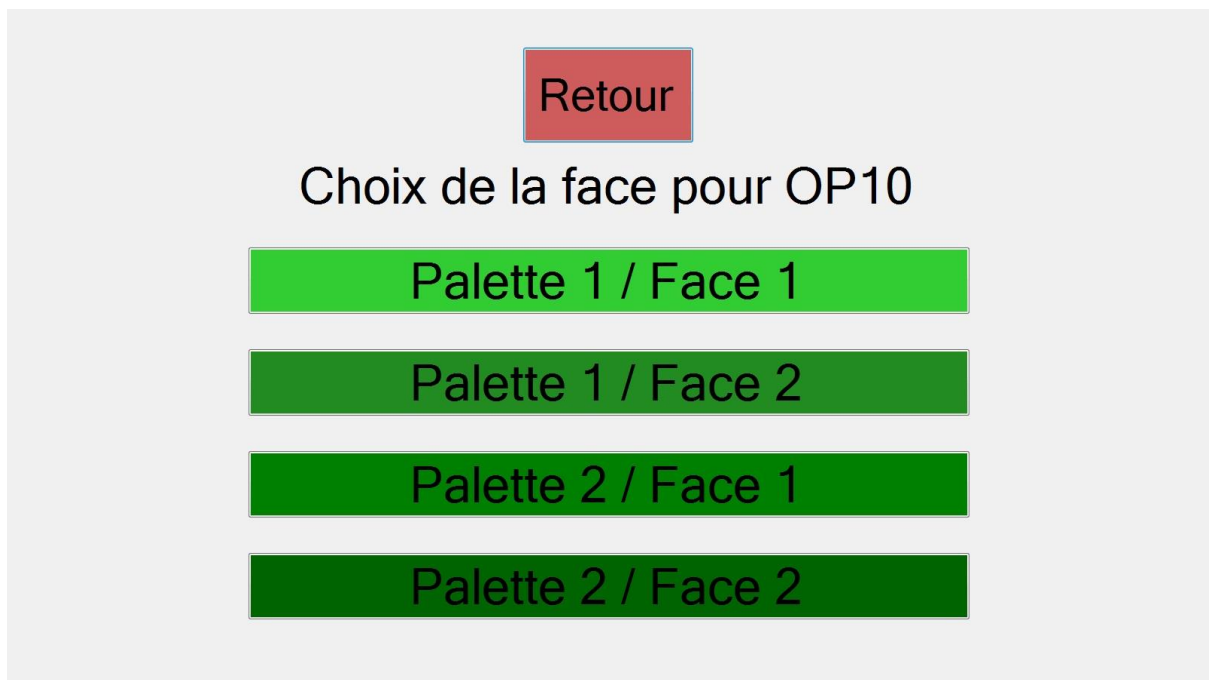


Figure 8: Interface Graphique Page 3

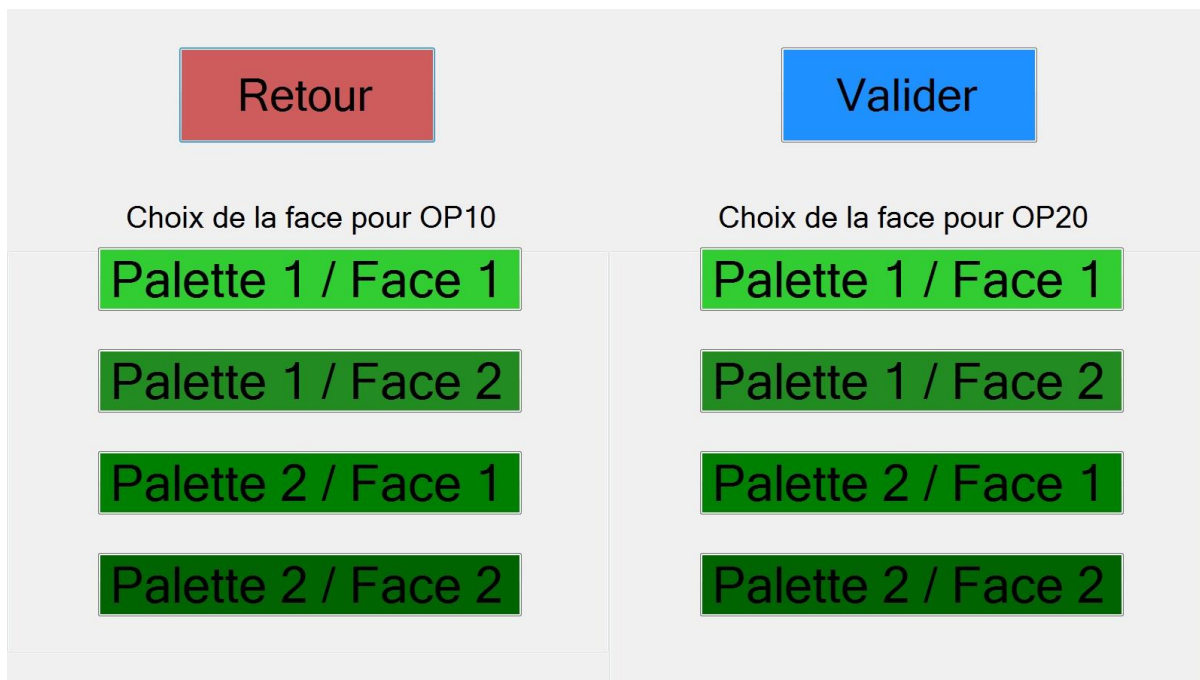


Figure 9: Interface Graphique Page 3bis

Les pages 3 et 3bis sont les pages permettant de choisir ou va être réalisé l'opération d'usinage au sein des 4 faces possibles. La page 3bis permet de prendre en compte le cas où l'on doit faire deux opérations d'usinage et permet donc de sélectionner les faces pour la première et la seconde opération.

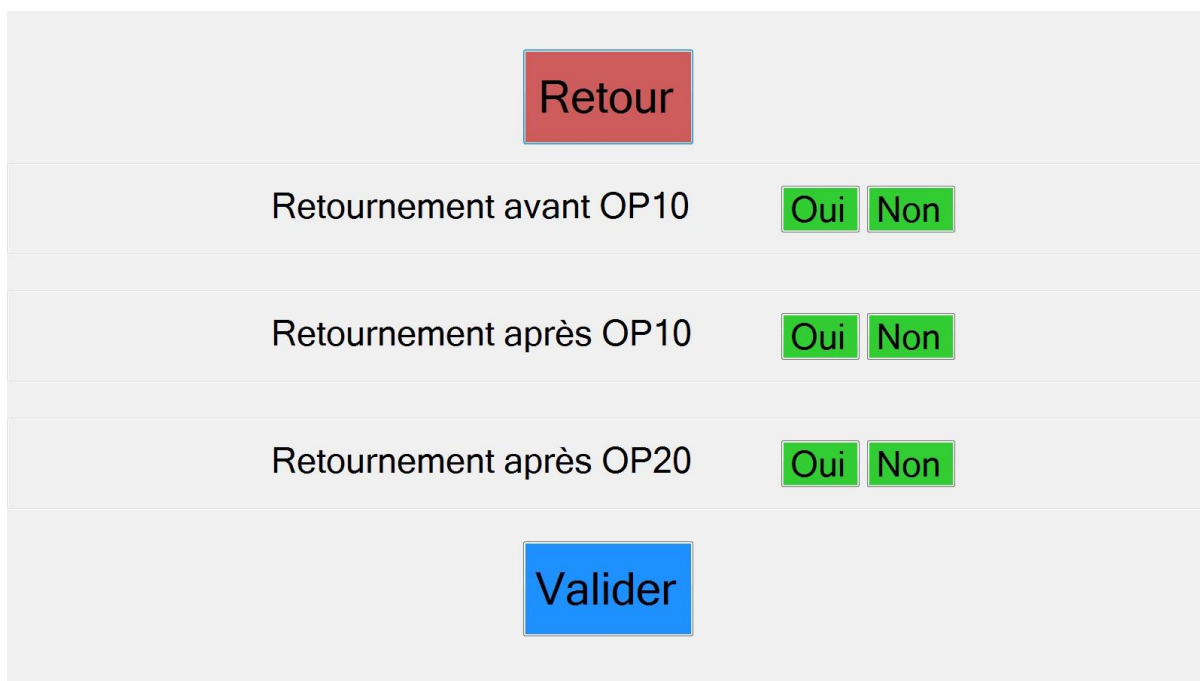


Figure 10: Interface Graphique Page 4

Il est parfois nécessaire de retourner la pièce avant ou après une opération d'usinage. C'est pourquoi l'entreprise dispose d'une surface d'attente sur le magasin où sont posés les préhenseurs. Si un retournement est nécessaire, le robot vient déposer la pièce sur cette surface d'attente et la reprendre sous un angle différent. C'est pourquoi nous avons eu à ajouter une fenêtre où l'utilisateur peut choisir les retournements nécessaires à l'usinage. Il y en a 3 au maximum, un avant la première opération d'usinage, un après la première opération et un après la deuxième opération. Cette page 4 permet de faire ces choix.

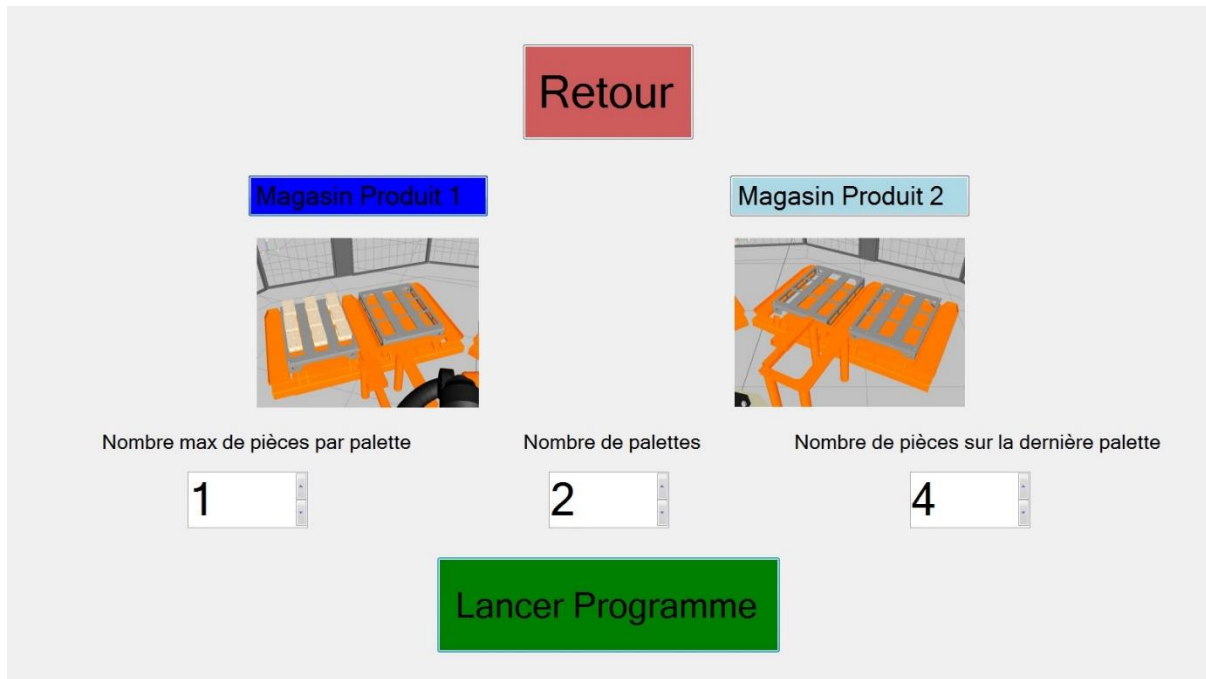


Figure 11: Interface Graphique Page 5

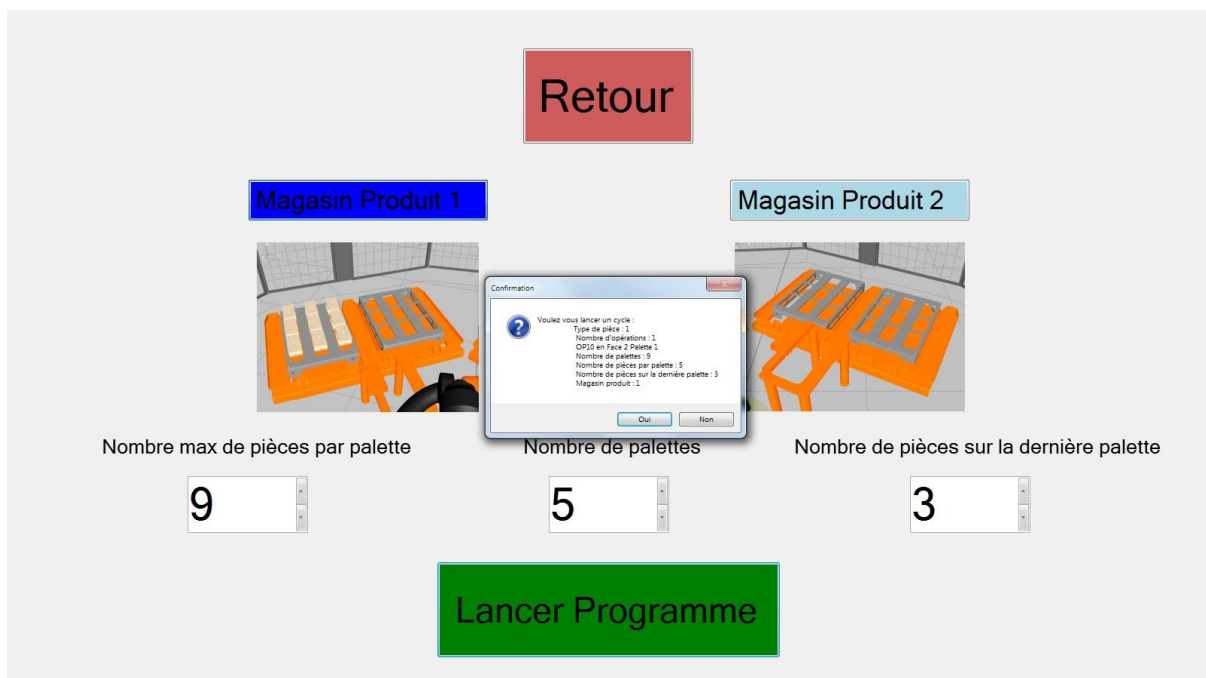


Figure 12: Interface Graphique Page 5 avec la fenêtre de validation

La page 5 est la page permettant d'entrer le nombre de pièces que l'on veut usiner ainsi que le magasin où l'on va venir chercher les pièces brutes pour l'usinage. Comme on peut le voir sur la Figure 12, lorsque l'on veut lancer le programme, on a une fenêtre de confirmation qui récapitule les choix réalisés avant le lancement du programme.

Ceci résume la partie interface graphique de notre projet. Maintenant nous souhaitons faire des tests concernant la communication avec le robot, par contre nous n'avons que peu d'informations. Nous attendons donc une réponse de Kuka, pour le moment nous allons essayer de réaliser cette communication par nous-même.

Nous avons également commencé la réalisation d'un code permettant de lancer les trajectoires souhaitées en fonction des choix fait dans l'interface graphique.

Trajectoires

L'environnement étant réalisé, nous avons pu nous occuper des différentes trajectoires. Comme l'entreprise dispose de cycles de production variés, nous avons réfléchi au moyen de faire des trajectoires qui seraient simples à modifier dans le futur (en cas de changement d'environnement), mais également qui s'adapteraient aux différents cycles.

Nous avons donc décidé de faire un sous-programme par trajectoire. Il y a donc un fichier pour la prise du préhenseur, un autre pour la prise d'une pièce... Ainsi, pour réaliser un cycle complet, nous faisons appel à plusieurs fichiers. Cela permet donc de répondre aux deux problématiques qui étaient la flexibilité et l'adaptabilité. Une fois les différentes trajectoires réalisées, il a fallu convertir les fichiers créés par le logiciel Kuka Sim Pro en code compréhensible par le robot en utilisant le logiciel Office Lite.

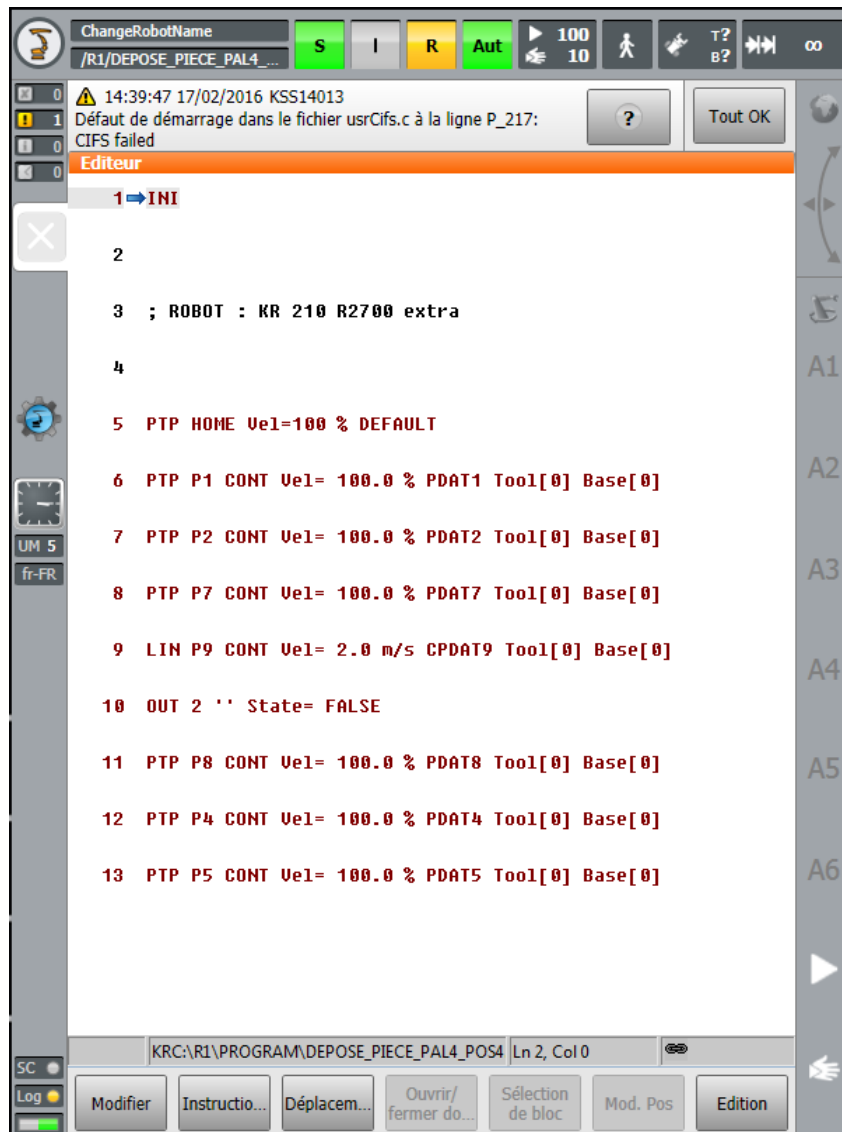


Figure 13: Exemple d'une trajectoire

Par la suite, nous avons fait un programme permettant de faire la liaison entre les informations envoyées par l'interface graphique et les différentes trajectoires existantes. Afin que cela fonctionne, il fallait rajouter la commande HALT dans tous les sous-programmes. En effet, cette fonction permet de quitter le programme en cours pour retourner dans le fichier principal. Ce fichier principal est principalement constitué d'un Wait, afin d'attendre le signal de début de programme envoyé par l'interface graphique, et de Switch afin de sélectionner les bons sous-programmes à exécuter en fonction des choix réalisés dans notre interface.


```

WAIT $COUNT_I[12] == 1 ← Attente pour lancer le programme
SWITCH $COUNT_I[2] ← Sélection de l'opération (OP10 ou OP20)
CASE 10
  SWITCH $COUNT_I[7] ← Sélection du magasin (1 ou 2)
  CASE 1
    WHILE $COUNT_I[10]>0
      SWITCH $COUNT_I[10] ← Position de la pièce (1 à 9)
      CASE 1
        SWITCH $COUNT_I[9] ← Position de la palette (1 à 6)
        CASE 1
          Prise_Piece_Pal1_Pos1()
        CASE 2
          Prise_Piece_Pal2_Pos1()
        CASE 3
          Prise_Piece_Pal3_Pos1()
        CASE 4
          Prise_Piece_Pal4_Pos1()
        CASE 5
          Prise_Piece_Pal5_Pos1()
        CASE 6
          Prise_Piece_Pal6_Pos1()
        ENDSWITCH
      CASE 2
        SWITCH $COUNT_I[9]
        CASE 1
          Prise_Piece_Pal1_Pos2()
        CASE 2
          Prise_Piece_Pal2_Pos2()

```

Figure 14: Extrait du code principal

Communication

Pour finir, il ne restait plus que la communication entre l'interface graphique et le robot à réaliser. Pour cela nous avons eu à utiliser la librairie CrossCom utilisable uniquement en visual basic 6. Cette librairie permet de se connecter au robot et de venir écrire des valeurs dans sa mémoire. Nous pensions qu'il était possible de venir exécuter un programme à l'aide de cette librairie mais nous n'avons pas réussi.

Nous avons réussi à charger un programme au sein du robot mais il semble impossible de venir lancer son exécution. Il existe une variable PRO_START qui devrait nous permettre de lancer le programme mais nous ne pouvons pas la modifier bien que nous ayons les droits d'administrateur.

Afin de contourner ce problème, nous avons choisi de faire un programme main que l'on vient exécuter manuellement et qui est actif en permanence sur le robot. Ce programme attend un signal de l'interface à l'aide d'un WAIT et viens ensuite lire les différentes variables qui lui sont envoyées par l'interface via la librairie CrossCom.

De ce fait, notre programme en visual basic 6 est exécuté par l'interface graphique. Celle-ci lui envoie en argument les différents paramètres. Le programme vient ensuite écrire ces paramètres dans la mémoire du robot et envoie le signal au programme main du robot pour qu'il commence l'exécution.

Améliorations

Pour l'instant l'interface graphique peut gérer jusqu'à 3 types de pièces, en revanche nous n'avons pas réalisé les trajectoires pour les pièces 2 et 3, car dû à la modularité de nos programmes cela représente beaucoup de code.

De même l'interface graphique est fonctionnelle mais il reste possible d'ajouter de nouvelles fonctionnalités. Elle peut aussi être améliorée d'un point de vue esthétique car pour l'instant il s'agit juste d'un design simpliste.

Par la suite, l'entreprise souhaite ajouter une zone d'ébavurage. Avec l'utilisation d'un capteur de type RENISHAW pour avoir un recalage précis à 0.1 mm, ceci permettra d'avoir des pièces directement conformes après le traitement par le robot Kuka. Actuellement, le robot s'occupe d'amener la pièce à la fraiseuse et souffle sur la pièce ainsi que la fraiseuse pour nettoyer la limaille avant de venir déposer la pièce. En revanche les opérateurs s'occupent de l'ébavurage. Or, l'entreprise souhaite pouvoir automatiser l'ébavurage, ceci pourrait être réalisé lors d'un projet futur.

Conclusion

Pour conclure, ce projet est intéressant car il se place dans un contexte industriel où tout ce que nous réalisons va être directement utilisé par la suite. Le fait de faire quelque chose de très concret mais aussi le fait d'aider une entreprise en apportant nos connaissances est stimulant. Le projet n'a certes pas été fini mais, avec les résultats fournis, il sera facile pour l'entreprise de déployer notre solution pour les autres types de pièce.

De plus, nous sommes tous les deux intéressés par la robotique et ceci est donc une bonne expérience qui peut être valorisée dans la recherche d'un stage ou d'un emploi. Sans oublier que les robots Kuka sont très répandus dans l'industrie.

Manuel d'utilisation de l'interface graphique

- 1-** Choisir le type de pièce parmi les types proposés
- 2-** Choisir le nombre d'opérations à réaliser OP10 ou OP20
- 3-** Choisir la ou les faces de la machine-outil à utiliser parmi les 4 existantes pour l'OP10 et l'OP20 si besoin
- 4-** Choisir si l'on veut ou non réaliser des retournements et valider
- 5-** Pour finir choisissez le magasin où sont stockés les pièces et le nombre de pièces que l'on souhaite usiner. Puis, pour lancer le programme cliquez sur "Lancer Programme"