



Cahier des charges

“Conception d’une pince avec retour de force adaptée à l’UR3”



Référence	CDC_PJT02_V1
Projet	Projet Interface haptique
Clients / Tuteur	Equipe réalisatrice
Date de début	13/09/2017

Cahier des charges - Projet N° 2 Interface haptique

Elèves	
Deuxième Année	Quintin Jérémy
	Fochesato Thomas
	Muszynska Zuzanna
	Rouch Thierry
Première année	Constant Enzo
	Da Silva Pinto Vincent
	Debenay Valentin
	Delcombel Nicolas
	Doche Julien

Historique des modifications				
Version	Date	Auteur	Validation	Détails
0	05/10/2017	Quintin Jérémy Fochesato Thomas Muszynska Zuzanna Rouch Thierry	Oui	Version initiale du cahier des charges
1	10/01/2018	Quintin Jérémy Fochesato Thomas Muszynska Zuzanna Rouch Thierry Constant Enzo Da Silva Pinto Vincent Debenay Valentin Delcombel Nicolas Doche Julien	Oui	Version revisitée du cahier des charges

TABLE DES MATIÈRES

I. Introduction	4
I.1 Contexte du projet	4
I.2 L'Existant	5
II. Description technique des besoins client	5
II.1 Objectifs du projet	5
II.2 Description du/des produit(s) attendu(s)	6
II.3 Description du/des service(s) attendu(s)	6
II.4 Description liée aux métiers concernés	6
II.5 Contexte d'utilisation	7
II.6 Description des données (liées au projet)	7
II.7 Conditions de mises en œuvre et de déploiement	8
II.8 Exigences techniques et fonctionnelles	8
II.8.1 Contraintes	8
II.8.2 Exigences non fonctionnelles du/des produits	9
II.8.3 Exigences fonctionnelles du/des produits	9
II.8.3.1 Exigences fonctionnelles de la pince	9
II.8.3.2 Exigences fonctionnelles du système de contrôle	10
III. Exigences portant sur la conduite du projet	10
III.1 Durée du projet	10
III.2 Critères d'acceptation finale du produit	10
III.3 Structuration du projet, reporting clients	11
III.4 Contraintes de coûts, délais, ressources	11
III.5 Maquettes & Prototypes	11
III.6 Gestion des configurations	11
III.7 Validation&Tests	11
III.8 Conformité et système qualité du projet	12
III.9 Risques	12
IV. Exécution du contrat	12
IV.1 Prestations prévues	12
IV.2 Livrables	13
Références :	13
Annexes :	13
Matrice des exigences	14
Planning de référence (validé par l'équipe)	16
Matrice des risques	17

I. Introduction

Pour contrôler un bras robot, que ce soit de la télé-opération ou pour une prothèse de main par exemple, il est nécessaire de prendre en compte l'être humain s'il est l'opérateur. En effet, le robot pris tel quel serait impossible à manier s'il n'est pas pensé dans son usage. L'homme qui contrôle le robot doit comprendre ce qu'il fait, comment il interagit avec lui. Il y a donc un véritable travail d'interface homme-machine à développer qui entre dans la conception, au même titre que la construction du robot.

Ainsi, ce projet s'intéresse à cibler un des besoins essentiels de l'opérateur humain dans l'utilisation d'un bras robot : la notion de *feedback*. En cause, la différence naturelle entre l'expérience du contrôle du bras robot et celle de notre main. Nous nous en rendons pas forcément compte au quotidien, mais la sensation du toucher est une capacité précieuse dans chaque action que l'on fait. Elle nous permet d'avoir des informations basiques sur la nature de l'objet en contact (résistance, rugosité...), et nous aide à doser notre force motrice. A l'inverse, l'opérateur humain d'un bras robot n'a pas accès à ces informations et ne sait pas comment bien contrôler son bras pour saisir un quelconque objet. Notre projet consiste donc à simuler un "retour de force" permettant de recréer une sensation de "résistance" pour guider le contrôleur du bras robot dans son mouvement.

I.1 Contexte du projet

Notre projet s'inscrit donc dans les systèmes d'aide, de suppléance. Ces systèmes tels que les exosquelettes, les prothèses médicales et autres instruments téléguidés permettent de mieux interagir avec notre environnement.

L'évolution croissante des technologies permettent, certes, de répondre à des besoins grandissants en termes de performance et de rentabilité, mais contribuent à creuser le fossé entre les systèmes complexes et les simples opérateurs humains. Ceux-ci voient leur rôle s'inverser: pour répondre à un problème, ce n'est plus l'homme qui utilise ses moyens techniques mais c'est son instrument qui fait fonctionner ses dispositifs automatiques sous son contrôle, quitte à en être exclu. Les machines viennent à être conçues par des ingénieurs qui ignorent comment le futur utilisateur va réellement les manier.

C'est ainsi que le besoin d'adapter les systèmes est apparu : pourquoi continuer à former un technicien si on peut lui ajuster son appareil? Les systèmes d'aide tels que le retour de force sur un bras robot ont justement cette fonction : indiquer à l'opérateur quel est le contrôle adéquat pour tel mouvement.

Notre projet s'adresse donc à tous les utilisateurs de bras robots, d'exosquelettes ou d'appareils téléopérés, et ce, qu'ils soient plus ou moins expérimentés. En effet, leur usage tend aujourd'hui à se démocratiser avec de multiples applications professionnelles ou non concernant :

- la manipulation et l'assistance sur les lignes de production en industrie (pour le guidage des gestes et des outils des techniciens pour améliorer la production et réduire les troubles musculosquelettiques (TMS))
- la téléopération multi-échelles de machines dans des milieux hostiles (notamment dans les environnements spatiaux, nucléaires, chirurgicaux, marins, souterrains ou encore

- microscopiques ou très lointains)
- la conception avec retour haptique en environnement virtuel (bureau d'études, méthodes et design marketing)
- des applications ludiques en tant que joystick amélioré (manettes Forcetek, XIO) ou à retour d'effort pour les jeux vidéo

1.2 L'Existant

L'École Nationale Supérieure de Cognitique possède parmi ses ressources pédagogiques deux robots collaboratifs UR3 d'Universal Robots. Actuellement, il n'y a pas d'extensions disponibles à l'école.

Ces robots sont souvent exploités dans le cadre des Projets de Fin d'Étude et de TP de 3ème année, le projet va donc dépendre de la disponibilité de ceux-ci.

D'une manière plus générale, les interfaces de contrôle haptique sont étudiées, conçues et améliorées pour de nombreux projets, notamment dans le cadre du projet EUROBOT mené par l'Agence Spatiale Européenne grâce au robot Eurobot Ground Prototype conçu par Thales Alenia Space. En effet, la thèse Pierre Letier de l'Université Libre de Bruxelles intitulée "Bras Exosquelette Haptique : Conception et Contrôle" de juillet 2010 est notre point de départ pour le projet.

II. Description technique des besoins client

La fabrication d'une pince compatible avec le bras robot UR3, ainsi que son système de contrôle offrant un retour de force. Le tout permettra de convertir l'UR3 en robot de téléopération.

Les performances techniques possibles de ce dispositif seront estimées et testées au cours du projet.

II.1 Objectifs du projet

En termes d'objectifs, le projet consiste en :

- La conception d'une **pince robot**. Elle devra avoir des capteurs lui permettant de mesurer l'effort exercé, et transmettre cette mesure au système de contrôle. La pince devra également être compatible avec le robot UR3.
- La conception du **système de contrôle de la pince**. Ce système devra refléter la force exercée par la pince (interface haptique). Sur le long terme, ce système devra contrôler, non seulement la pince, mais aussi l'UR3.

L'objectif final sera donc une **démonstration fonctionnelle du système complet**. Cette

démonstration comprendra une batterie de test, simulant une téléopération. Les spécificités de ces scénarios seront à définir, mais consisteront principalement à s'assurer du respect des spécifications définies dans les exigences techniques.

II.2 Description du/des produit(s) attendu(s)

Plusieurs livrables sont attendus tout au long de ce projet :

- Un **état de l'existant** détaillé sur l'ensemble des techniques connues à ce jour au sujet des interfaces haptiques. Il servira notamment de justificatif pour les choix techniques. Ces choix concernent par exemple les méthodes de mesure de la force.
- La **pince** robot compatible avec l'UR3.
- Le **système de contrôle** de la pince avec retour de force.
- La **documentation** de la pince et de son système de contrôle.
- Les **protocoles de test** et les résultats.

En cas d'impossibilité de réaliser le projet jusqu'au bout, un document retraçant l'ensemble des problèmes rencontrés, du travail restant et une ébauche des solutions sera fourni.

II.3 Description du/des service(s) attendu(s)

À l'issue de ce projet, une nouvelle pince compatible à l'UR3 sera à disposition. Cette pince et son système de contrôle permettra une conversion de l'UR3 en robot de téléopération, pouvant servir dans de futurs projets.

Dans le cas où la totalité des services ne pourront être rendus pour des raisons d'avancement du projet, un document détaillant les points à avancer et les problèmes rencontrés devra être rendu.

Finalement, une documentation complète réunissant les choix techniques, les composants et un manuel utilisateur sera fournie.

II.4 Description liée aux métiers concernés

Notre projet s'inscrit dans le thème des interfaces haptiques. En terme de matériel, nous savons que l'école possède deux bras robots UR3, une imprimante 3D, des cartes Arduino, des servomoteurs et autres composants électroniques. De plus, nous envisageons de travailler avec du matériel disponible au FabLab de l'ENSEIRB-MATMECA ou celui de l'IUT de Bordeaux (découpe-laser, imprimantes 3D...). Par conséquent, aucun achat de matériel n'est prévu actuellement.

Le domaine de compétences principalement concerné est la robotique, regroupant les domaines de connaissances tels que la mécanique, la modélisation 3D, l'électronique, l'automatique, la programmation informatique et le traitement du signal.

Parmi les spécialistes et experts liés au projet, nous pouvons citer M. Jean-Marc Salotti et M. Eric Ferreri. Nous savons que M. Eric Ferreri prévoit la fabrication d'une pince robot pour l'UR3, par

Cahier des charges - Projet N° 2 Interface haptique

conséquent une collaboration pourrait être possible.

Les rôles endossés tout au long de ce projet seront les suivants :

Nom	Rôle
QUINTIN Jérémy	Chef de projet
FOCHESATO Thomas	Responsable technique
ROUCH Thierry	Responsable Qualité et de Gestion de Projet
MUSZYNSKA Zuzanna	Responsable risques/tests/validation
CONSTANT Enzo	Rôles polyvalents
DA SILVA PINTO Vincent	Rôles polyvalents
DEBENAY Valentin	Rôles polyvalents
DELCOMBEL Nicolas	Rôles polyvalents
DOCHE Julien	Rôles polyvalents

II.5 Contexte d'utilisation

La pince et son système de contrôle, offrira une nouvelle extension pour l'UR3 de l'école. Mais rien n'empêchera de l'utiliser sans l'UR3. Il faudra donc s'assurer qu'il soit utilisable sans l'UR3 (offrant également une garantie en cas d'inaccessibilité à l'UR3 durant le projet).

La notice utilisateur présente dans les livrables du projet assurera que les futurs utilisateurs s'approprient le système de contrôle afin qu'ils puissent utiliser correctement le dispositif.

Quant aux notices techniques, elles serviront en cas de futurs projets et de justificatifs des choix techniques.

L'utilisation des systèmes pourra se faire dans différents contextes :

- les élèves et le corps enseignant pourront l'utiliser pour faire des démonstrations durant des visites à l'école, dans le but de promouvoir et d'augmenter la visibilité de ce système de contrôle.
- les élèves pourront également s'en servir pour de nouveaux projets (Transdisciplinaire, Transpromotion, PFE, projet informatique, ...).

II.6 Description des données (liées au projet)

Nous avons à notre disposition plusieurs ressources documentaires nous permettant de mieux comprendre les enjeux de ce projet. Le système de retour de force étant un procédé récent et novateur, il était nécessaire de se documenter pour mieux cerner le fonctionnement du bras robot et comprendre comment lui implémenter notre système. Nous nous sommes donc constitués un ensemble de documents sur le sujet :

- deux rapports de thèse concernant les interfaces haptiques
- la documentation papier et en ligne sur le robot UR3
- l'aide technique et recommandations fournies par M. Ferreri

Les livrables du projet sont:

- Etat de l'existant : document au format pdf à livrer le 27/10/2017
- Notice(s) utilisateur : document(s) au format pdf à livrer le 19/01/2018
- Notice(s) techniques : document(s) au format pdf à livrer le 19/01/2018
- Le code des programmes : fichiers en libre accès sur un dépôt GitHub

II.7 Conditions de mises en œuvre et de déploiement

Afin que le projet soit mené à bien, il faudra effectuer des tests de fonctionnalité réguliers. Une fois le système mis en œuvre, des tests s'assurant le respect des spécifications seront effectués. Ces tests se fragmenteront à plusieurs niveaux du système. Tout d'abord des tests unitaires ciblant chaque sous-entité (la pince, le système de contrôle, l'UR3...). Ils seront suivis par des tests d'intégration afin de vérifier les interactions du système complet. Cela se concrétisera par un scénario final de téléopération dans laquelle une série de tâches définies devront être réalisées.

Nous nous appuyerons sur plusieurs ressources documentaires essentielles, telles que la documentation existante de l'UR3, des thèses et précédents projets concernant les interfaces haptiques, et les recommandations de M.Ferreri (enseignant en robotique à l'école).

II.8 Exigences techniques et fonctionnelles

La matrice des exigences se trouve en Annexe 1. Matrice des exigences

II.8.1 Contraintes

Désignation : C_1

Description : Etablissement et Validation d'un CdC V0

Désignation : C_2

Description : Le matériel doit être utilisable en toute sécurité.

Désignation : C_3

Description : Les technologies et logiciels devront être libres d'usage, gratuits et/ou disponibles à l'école.

II.8.2 Exigences non fonctionnelles du/des produits

Désignation : ENF_1

Description : Une notice utilisateur devra être fournie

Désignation : ENF_2

Description : Les sous-parties du système doivent être faiblement couplées.

Désignation : ENF_3

Description : Une documentation technique détaillée du système devra être fournie.

Désignation : ENF_4

Description : L'utilisateur doit pouvoir piloter le système à distance.

Désignation : ENF_5

Description : L'utilisateur doit pouvoir piloter le système (pince + UR3) hors de son champ de vision.

II.8.3 Exigences fonctionnelles du/des produits

II.8.3.1 Exigences fonctionnelles de la pince

Désignation : EF_Pince_1

Description : Permet une mesure de l'effort exercé avec une précision de [à définir].

Désignation : EF_Pince_2

Description : Permet une mesure de l'angle de la pince avec une précision de 3°.

Désignation : EF_Pince_3

Description : Transmettre les données d'effort et d'angle au contrôleur.

Désignation : EF_Pince_4

Description : Doit être fixable à l'extrémité de l'UR3.

Désignation : EF_Pince_5

Description : Être utilisable sans l'UR3.

II.8.3.2 Exigences fonctionnelles du système de contrôle

Désignation : EF_Control_1

Description : Pouvoir contrôler l'ouverture de la pince avec une précision de l'angle 3°.

Désignation : EF_Control_2

Description : Doit opposer une force proportionnelle à l'effort exercé par la pince [degré de précision et rapport de réduction éventuel à définir]

Désignation : EF_Control_3

Description : Doit pouvoir piloter l'UR3.

III. Exigences portant sur la conduite du projet

III.1 Durée du projet

Le projet complet débute le 13 Septembre 2017 et se termine lors de la soutenance finale le 19 Janvier 2017. Il sera jalonné par quatre revues intermédiaires (GESP et CTFH) qui permettront d'évaluer l'avancement du projet et réviser les objectifs fixés.

Le planning de référence se trouve en Annexe 2.Planning de référence.

III.2 Critères d'acceptation finale du produit

Le système a pour but de convertir l'UR3 en robot de téléopération. Par conséquent le critère d'acceptation final sera la réussite de l'ensembles des tâches du protocole de test.

III.3 Structuration du projet, reporting clients

Les réunions d'équipe d'une durée minimale d'une heure seront planifiées chaque semaine afin d'évaluer l'avancement réalisée au cours de la semaine précédente et d'attribuer de nouvelles tâches. Des ateliers de travail supplémentaires seront organisées pour les tâches de modélisation, simulation, conception et validation.

Le projet n'ayant ni client, ni tuteur, les jalons seront principalement définis par les Comités de Gestion de Projet ainsi que les Revues Techniques et Facteur Humain (cf IV.1 Prestations prévues). Ces revues seront l'occasion de revoir le Cahier des Charges, ajuster les objectifs du projet si besoin et présenter les livrables intermédiaires. Une démonstration du système final est prévue lors de la soutenance finale.

Pour faciliter le partage et l'accès aux données au sein de l'équipe, un Google Drive a été mis en place dès la phase de réflexion sur le projet. Les membres peuvent y trouver les comptes rendus des réunions, les ressources, les travaux de recherche menés, les éléments de gestion de projet (cahier des charges, planning, avancement du projet). La communication instantanée sera assurée par Facebook Messenger. Si au cours du projet le besoin de partage de code apparaît un dépôt GitHub sera créé.

III.4 Contraintes de coûts, délais, ressources

Le projet sera réalisé par une équipe composée de 4 élèves de deuxième année et 5 élèves de première année de l'ENSC. La gestion du projet sera assurée par les élèves de 2ème année. La durée du projet est fixée à 18 semaines, 2 à 3 heures de travail personnel seront attendues par semaine. Actuellement, aucun achat n'est prévu dans le cadre de la réalisation.

III.5 Maquettes & Prototypes

Le prototype du système complet sera amélioré au fur et à mesure du projet. Au terme du projet, la version finale sera livrée.

III.6 Gestion des configurations

Les prototypes seront amenées à évoluer graduellement, par conséquent toutes les améliorations marquantes seront documentées et justifiées dans la notice technique. Ceci permettra aux futurs utilisateurs de reprendre le projet et comprendre la logique des évolutions du système.

III.7 Validation&Tests

Chaque élément du système sera testé individuellement puis le système sera testé en suivant le protocoles de test qui sera livré avec les résultats.

III.8 Conformité et système qualité du projet

On s'assurera que les exigences sont respectées en se basant sur les résultats des tests (**III.7 Validations et Tests**) ainsi que du scénario de téléopération.

III.9 Risques

La matrice des risques complète se trouve en Annexe 3. Matrice des risques

Désignation : R_1

Description : Dégradation d'un élément de l'UR3

Désignation : R_2

Description : Dégradation de la pince ou système de contrôle

Désignation : R_3

Description : Matériel indisponible

Désignation : R_4

Description : Les méthodes de retour haptique explorées ne sont pas concluantes

IV. Exécution du contrat

IV.1 Prestations prévues

Trois revues de projet seront organisées et tenues aux dates suivantes :

Le 20 octobre 2017 : Premier Comité de Gestion de Projet (CGESP1) sera l'opportunité de présenter le projet et sa structuration : pilotage du projet, principaux jalons, objectifs prévus

Du 13 au 17 novembre 2017 : au cours du deuxième Comité de Gestion de Projet (CGESP2) et de la première Revue Technique et Facteur Humain (CTFH1) sera évalué l'état d'avancement du projet par rapport au planning de référence.

Du 8 au 10 janvier 2018 : au cours du troisième Comité de Gestion de Projet (CGESP3) et de la seconde Revue Technique et Facteur Humain (CTFH2) sera l'occasion de parler des test réalisés et de la validation du système.

Le projet sera clôturé par une soutenance de fin de projet qui aura lieu le 19 janvier 2018, au cours de laquelle sera présenté le prototype.

IV.2 Livrables

Livrable	Date de livraison	Description
Etat de l'existant	27/10/2017	Etat de l'existant portant sur les robots UR3, les systèmes à contrôle haptique et les projets étudiant ce type d'interface.
Pince robotique	19/01/2018	Pince robotique conçue lors du projet compatible avec le robot UR3 mais également utilisable sans celui-ci.
Système de contrôle haptique	19/01/2018	Système de contrôle de la pince incluant le retour de force.
Notice utilisateur	19/01/2018	Documentation détaillée permettant à un nouvel utilisateur la prise en main rapide du dispositif.
Document technique	19/01/2018	Documentation détaillant les choix techniques effectués, les spécifications et la configuration requise.
Protocole de test et de validation	19/01/2018	Rapport détaillé présentant le protocole de test de manière à ce qu'il puisse être reproduit et les résultats obtenus dans le cadre de la validation du système.

Références :

Letier, Pierre. Bras Exosquelette Haptique : Conception et Contrôle. Sciences de l'Ingénieur. Bruxelles : Université Libre de Bruxelles, 2010, Français

Quoc-Viet Dang. Conception et commande d'une interface haptique à retour d'effort pour la CAO. Autre. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis, 2013. Français.

Annexes :

1. Matrice des exigences

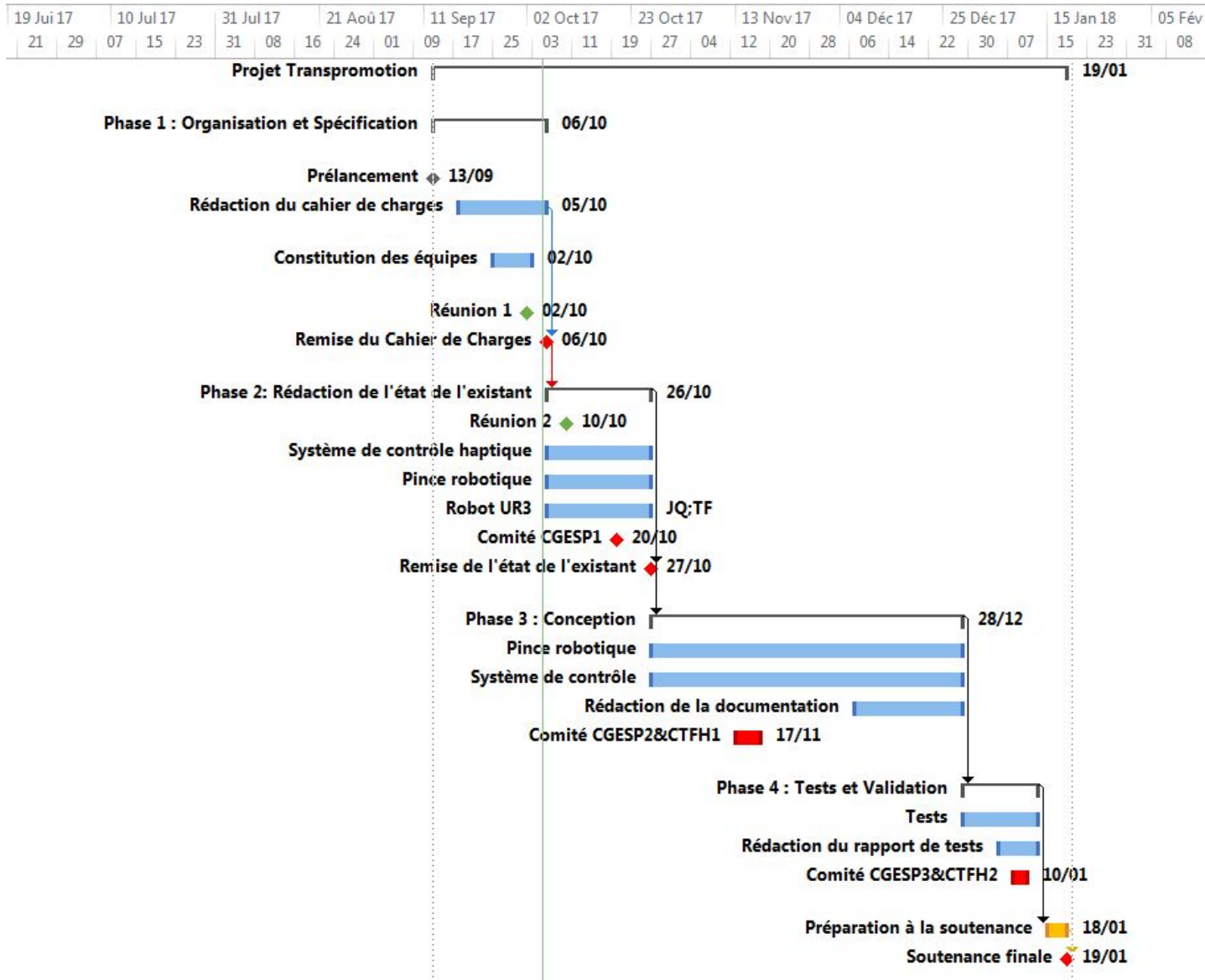
Partie 1:

Réf	Exigence	Stratégie	Solution	Parties du système concernées	Moyen de validation	Conformité	Commentaires
Contraintes							
C_1	Etablissement et Validation d'un CdC V0	Couvrir	Rédiger un CdC et le faire valider	Système entier	Démonstration	OK	
C_2	Le matériel doit être utilisable en toute sécurité.	Couvrir	Veiller à la conception d'un système ne mettant pas en danger l'utilisateur	Système entier	Analyse	OK	Le test de validation n'a pas été réalisé à cause des retards
C_3	Les technologies et logiciels devront être libres d'usage, gratuits et/ou disponibles à l'école.	Couvrir	Utiliser les logiciels libres, gratuits et/ou disponibles à l'école	Programmation	Démonstration	OK	
Exigences non fonctionnelles							
ENF_1	Une notice utilisateur devra être fournie	Couvrir	Rédiger et livrer une notice utilisateur	Système en entier	Démonstration	OK	
ENF_2	Les sous-parties du système doivent être faiblement couplées.	Couvrir	S'assurer du bon fonctionnement indépendant de chaque sous-partie du système	Système en entier	Démonstration	OK	Le test de validation n'a pas été réalisé à cause des retards sur les projets
ENF_3	Une documentation technique détaillée du système devra être fournie.	Couvrir	Rédiger et livrer une documentation détaillée	Système en entier	Démonstration	OK	
ENF_4	L'utilisateur doit pouvoir piloter le système à distance.	Couvrir	Installer une caméra sur le robot pour transmettre les informations visuelles et écrire les scripts permettant de piloter l'UR3 via le réseau	Système en entier	Démonstration	KO	Par manque de budget et de temps, nous n'avons pas pu satisfaire cette exigence
ENF_5	L'utilisateur doit pouvoir piloter le système (pince + UR3) hors de son champ de vision.	Couvrir	Installer une caméra sur le robot pour transmettre les informations visuelles	Système en entier	Démonstration	KO	Par manque de budget et de temps, nous n'avons pas pu satisfaire cette exigence

Partie 2 :

Exigences fonctionnelles							
EF_Pince_1	Permet une mesure de l'effort exercé avec une précision de [à définir].	Couvrir	Installer un capteur de force sur la pince	Pince+contrôleur	Test	KO	Non couverte car matériel jamais livré
EF_Pince_2	Permet une mesure de l'angle de la pince avec une précision de 3°.	Couvrir	Récupérer les données envoyées par le système	Pince+contrôleur	Test	OK	
EF_Pince_3.1	Transmettre les données d'effort au contrôleur.	Couvrir	Installer un capteur de force sur la pince et coder la réception des mesures de forces envoyées par le contrôleur	Pince+contrôleur	Test	KO	Non couverte car matériel jamais livré
EF_Pince_3.2	Transmettre les données d'angle au contrôleur.	Couvrir	Coder la réception des mesures de l'angle envoyées par le contrôleur	Pince+contrôleur	Test	OK	
EF_Pince_4	Doit être fixable à l'extrémité de l'UR3.	Couvrir	Prévoir une fixation/ adaptateur pour l'UR3	Pince	Test	OK	
EF_Pince_5	Être utilisable sans l'UR3.	Couvrir	Faire en sorte que le contrôle et l'alimentation de la pince soit indépendante de l'UR3	Pince	Démonstration	OK	
EF_Pince_6	La pince doit pouvoir déplacer les objets entre 0 et 1kg	Couvrir	S'assurer de la robustesse de la pince	Pince	Démonstration	OK	
EF_Pince_7	La pince doit pouvoir déplacer les objets dont le volume ne dépasse pas 6cm3 (à condition d'avoir une zone de prise dont la largeur est inférieure à 8cm	Couvrir	Choisir un modèle de pince à la taille adaptée	Pince	Démonstration	OK	
EF_Controlle_1	Pouvoir contrôler l'ouverture de la pince avec une précision de l'angle de 3°.	Couvrir	Ecrire le programme permettant de piloter l'ouverture de la pince avec la précision donnée.	Interface de contrôle + Programmation	Test	OK	
EF_Controlle_2	Doit opposer une force proportionnelle à l'effort exercé par la pince [degré de précision et rapport de réduction éventuel à définir]	Couvrir	Ecrire le programme permettant le feedback haptique	Interface de contrôle + Programmation	Test	Indéterminé	Le test de validation n'a pas été réalisé à cause des retards
EF_Controlle_3	Doit pouvoir piloter l'UR3.	Couvrir	Trouver un moyen de contrôler l'UR3 tout en pilotant la pince	Interface de contrôle + Programmation + UR3	Démonstration	OK	

2. Planning de référence (validé par l'équipe)



3. Matrice des risques

ID	Risque	Conséquence	Actions préventives	Actions correctrices	Probabilité (0-1)	Gravité (0-10)	Criticité (0-10)	Tendance	Stratégie
R_1	Dégradation d'un élément de l'UR3	Impossibilité d'utilisation de l'UR3 jusqu'à réparation	Rien n'empêche des dégradations étrangères à notre action	Utilisation de logiciel de simulation en attendant la réparation	0,1	8	0,8	—	Réduire/Diminuer
R_2	Dégradation de la pince ou système de contrôle	Impossibilité d'utilisation de la pince jusqu'à réparation	Adopter un comportement prudent en manipulant le système	Réparation/re-fabrication des éléments endommagés	0,5	5	2,5	===	Réduire/Diminuer
R_3	Matériel indisponible	La construction du prototype potentiellement bloquée	Aucune concernant la salle de l'UR3 Anticiper les retards des commandes	S'adapter en fonction du matériel disponible	0,75	9	6,75	+++	Accepter
R_4	Les méthodes de retour haptique explorées ne sont pas concluantes	Qualité du retour haptique du système insuffisante	Se documenter sur les méthodes Faire des tests au fur et à mesure	Explorer d'autres méthodes	0,75	8	6	+++	Compenser/Contourner