



DARwIn-OP Education

TP SSI PCSI1 C18

Centre d'intérêt : N° 8 Paramétrer les mouvements d'un solide indéformable.



Constitution de l'îlot

- Un robot DARwIn-OP instrumenté en état de fonctionnement ;
- Un ordinateur de pilotage et d'acquisition associé au robot DARwIn-OP ;
- Plusieurs postes de travail constitués chacun d'un ordinateur communiquant avec l'ordinateur de pilotage.

Vous trouverez dans ce document Professeur :

- La fiche étudiant ;
- Le déroulement des activités ;
- La fiche de formalisation ;
- Le dossier réponses ;
- La réponse technique ;
- La fiche d'auto-évaluation.



FICHE ETUDIANT

Vérifier et valider le modèle cinématique du robot en validant les caractéristiques et les performances des mouvements d'un système sous forme d'un document numérique dans le but de le comparer au mouvement humain.

Description des activités pendant la séance

En présence du robot Darwin-OP associé à un ordinateur connecté à internet et implanté au sein d'un îlot,

L'équipe travaillant sur l'îlot doit :

Première partie : Mise en route du DARwin-OP et analyse fonctionnelle

- *mettre en œuvre le robot et analyser la chaîne d'énergie ;*
- *analyse fonctionnelle ;*
- *analyse structurelle à l'aide du BDD SysML, identification des sous-ensembles.*

Seconde partie : Etude des groupes cinématiques

- *analyse du paramétrage du mécanisme;*
- *étude des mouvements entre solides et position relative des référentiels ;*
- *identification des paramétrages et repérage.*

Troisième partie : Etude des performances cinématiques

- *Identification des grandeurs des paramètres variables ;*
- *Mesure des paramètres sur le DARwin-OP ;*
- *Mesure en mode simulation ;*
- *Synthèse.*

Quatrième partie : Synthèses des performances humanoïdes

- *Caractérisation des mobilités humaines des sous-ensembles étudiés*
- *Comparaison et critique*
- *Regroupement des performances*

L'équipe travaillant sur l'îlot doit rendre :

Document de synthèse commun à l'équipe, mettant en œuvre les techniques de communication.

Chaque élève doit rédiger :

Prérequis :

- Définition d'un référentiel ;
- Système de repérage, mouvement entre solide, degrés de liberté, trajectoire d'un point d'un solide par rapport à son référentiel.

Savoir faire développé :

- **Paramétrer** les mouvements d'un solide indéformable
- **Associer** un repère à un solide
- **Identifier** les degrés de liberté d'un solide par rapport à un autre solide

Connaissances :

B2 – Proposer un modèle de connaissance et de comportement

Solide indéformable :

- définition
- référentiel, repère
- équivalence solide/référentiel
- degrés de liberté
- vecteur-vitesse angulaire de deux référentiels en mouvement l'un par rapport à l'autre



Avant de commencer

L'équipe doit vérifier que les ressources nécessaires à la réalisation de l'activité pratique soient présentes au sein de l'îlot ⁽¹⁾

➤ Ressources matérielles :

- ☒ Le robot Darwin-OP en état de fonctionnement
- ☒ Le robot Darwin-OP est sur son support DMS
- ☒ Un ordinateur de pilotage et d'acquisition associé au robot Darwin-OP et connecté sur le réseau informatique avec la possibilité d'accès à internet.
- ☒ Plusieurs postes de travail constitués chacun d'un ordinateur communicant avec l'ordinateur de pilotage et d'acquisition.

➤ Ressources logicielles :

- ☒ Acrobat Reader
- ☒ VNC

➤ Ressources numériques :

- ☒ Dossier technique

L'ensemble des ressources est disponible ?

Oui / Non



Si oui, alors passer à l'étape suivante.



Si non, faite appel à votre professeur pour que les ressources nécessaires soient mises à votre disposition avant de passer à l'étape suivante.

⁽¹⁾ cochez les cases si la ressource est disponible



Les prérequis

▪ **Paramétrage** d'un système mécanique dans le but d'élaborer un modèle géométrique (ou cinématique).

- Paramétrage des solides

A chaque solide du mécanisme considéré est associé un repère. Dans ce repère la position des centres de liaison est définie par les paramètres géométriques constants.

- Paramétrage des liaisons

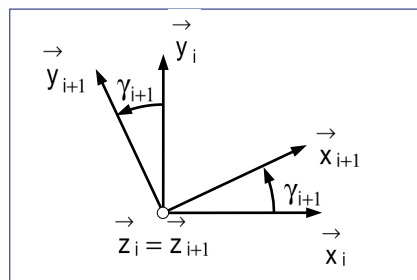
A chaque liaison est associé autant de paramètres géométriques variables que la liaison comporte de degrés de liberté.

Au solide S_{i+1} est associé le repère $O_{i+1}; \vec{x}_{i+1}, \vec{y}_{i+1}, \vec{z}_{i+1}$ et au solide S_i le repère $O_i; \vec{x}_i, \vec{y}_i, \vec{z}_i$. L'association privilégie les axes de la liaison ainsi pour une liaison pivot entre les deux solides S_{i+1} et S_i , à l'axe de la liaison, sont associés les vecteurs unitaires $\vec{z}_i = \vec{z}_{i+1}$.

Dans le plan la base B_{i+1} associée au solide S_{i+1} se déduit de la base B_i associée au solide S_i par une rotation

$$\gamma_{i+1} = \left(\begin{matrix} \vec{x}_i & \vec{x}_{i+1} \end{matrix} \right) = \left(\begin{matrix} \vec{y}_i & \vec{y}_{i+1} \end{matrix} \right) \text{ Autour de l'axe } \vec{z}_i = \vec{z}_{i+1} \text{ avec } \vec{z}_i = \vec{z}_{i+1} = \vec{x}_i \wedge \vec{y}_i = \vec{x}_{i+1} \wedge \vec{y}_{i+1}$$

L'angle γ_{i+1} est nommé **coordonnée articulaire** de la liaison entre les solides S_{i+1} et S_i .



Le choix des origines des repères dépend du type de liaison considéré. Pour une liaison pivot les origines des repères associés aux solides sont choisies confondues et placées sur l'axe de la liaison.

Remarque : Afin d'éviter les erreurs de calcul l'angle d'orientation d'une base par rapport à une autre doit être dessiné aigu et positif.

▪ Relation de Chasles sur les angles dans le plan

Dans le plan, pour tous vecteurs non nuls \vec{u} , \vec{v} et \vec{w} on a la relation suivante (dite de Chasles) sur les angles

$$\left(\begin{matrix} \vec{u} & \vec{w} \end{matrix} \right) = \left(\begin{matrix} \vec{u} & \vec{v} \end{matrix} \right) + \left(\begin{matrix} \vec{v} & \vec{w} \end{matrix} \right)$$

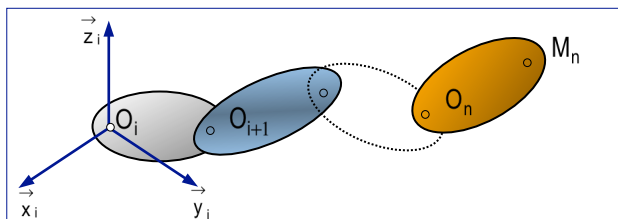
▪ Relation de Chasles sur les positions dans le cas général

Pour trouver la position du point M_n appartenant au solide S_n par rapport au repère $O_i; \vec{x}_i, \vec{y}_i, \vec{z}_i$ lié au solide S_i on définit le vecteur position **Erreur ! Des objets ne peuvent pas être créés à partir des codes de champs de mise en forme.** en appliquant la relation de Chasles

$$\vec{O_i M_n} = \vec{O_i O_{i+1}} + \vec{O_{i+1} O_{i+2}} + \dots + \vec{O_n M_n}$$



Les coordonnées cartésiennes de $\vec{O_i M_n}$ dans le repère $O_i; \vec{x}_i, \vec{y}_i, \vec{z}_i$ sont x_n, y_n, z_n telles que $\vec{O_i M_n} = x_n \vec{x}_i + y_n \vec{y}_i + z_n \vec{z}_i$.



▪ Classe d'équivalence

Une classe d'équivalence est un ensemble de pièces qui n'ont aucun mouvement relatif entre elles pour la phase de fonctionnement considérée. D'aucuns utilisent la locution "groupe cinématiquement lié" pour définir un ensemble de pièces liées par encastrement. Il est alors possible d'en donner une représentation indifférenciée sur un schéma cinématique ou un graphe des liaisons.

Les prérequis sont assimilés ?

Oui / Non



Si oui, alors passer à l'étape suivante.



Si non, faite appel à votre professeur avant de passer à l'étape suivante.



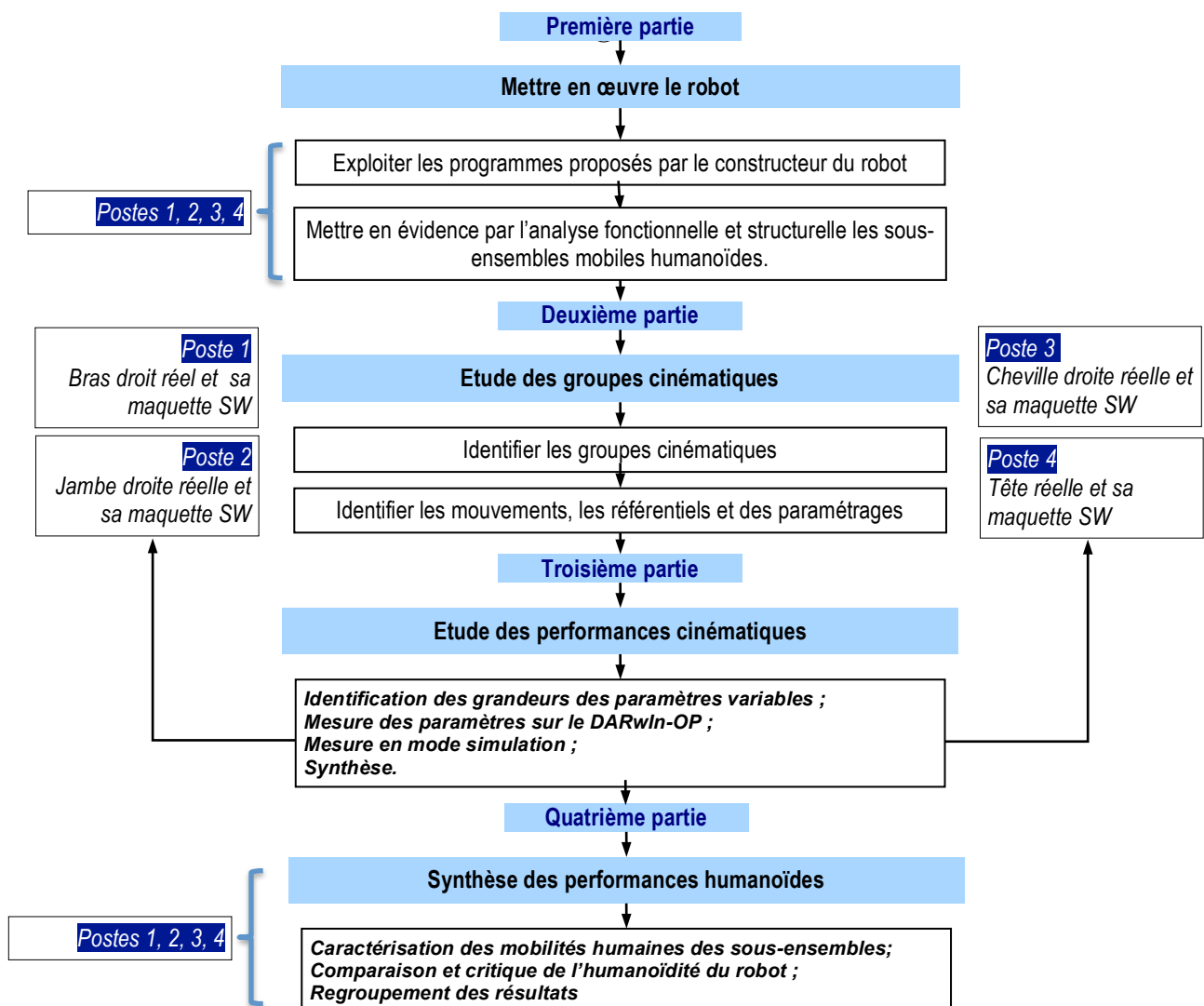
Déroulement des activités

Problème posé à l'équipe :

La motivation d'un robot humanoïde est d'imiter l'homme dans son attitude et dans ses mouvements. Le robot doit avoir l'apparence d'un homme, mais aussi se mouvoir comme lui.

Le problème consiste donc ici à vérifier et valider le modèle cinématique du robot en validant les caractéristiques et les performances des mouvements d'un système sous forme d'un document numérique dans le but de le comparer au mouvement humain.

Questionnement posé à l'équipe :





1^{ère} Partie

Mise en route du DARwIn-OP et analyse fonctionnelle

Objectif de cette partie : on propose dans un premier temps de **découvrir** et **mettre en œuvre** le robot de façon générale observer les mouvements du robot.

Poste 1-2-3-4

1.1 – Prise en main du DARwIn-OP

Type d'activité : Documentation et manipulation

En équipe, en utilisant la notice d'utilisation, **mettre** en fonction le DARwIn-OP dans le mode interactif et **visualiser** les mouvements du robot DARwIn-OP.

1.2 – Analyse fonctionnelle du robot DARwIn-OP

Type d'activité : Documentation et rédaction

En vous aidant du BDD SysML en fig. 1, **décrire** les sous-ensembles fonctionnels qui sont utilisés dans les différents mouvements vus dans l'activité 1.1 et **expliquer** leur fonction.

1.3 – Analyse structurelle

Type d'activité : Manipulation et rédaction

En ouvrant le fichier SolidWorks DARwIn-OP, **valider** par la manipulation, les sous-ensembles fonctionnels. **Identifier** le groupe cheville, jambe, bras et tête. **Donner** le nombre de servomoteurs qui composent chacun de ses sous-ensembles.

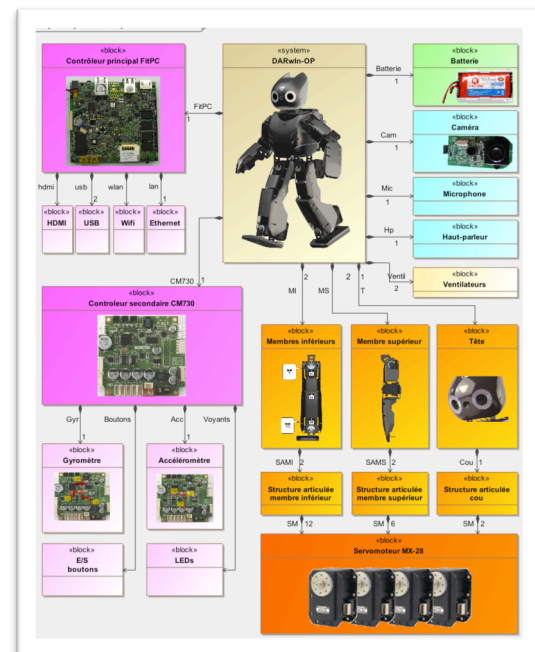


Fig.1



Elément de correction de la partie 1

1.1 – Prise en main du DARwIn-OP

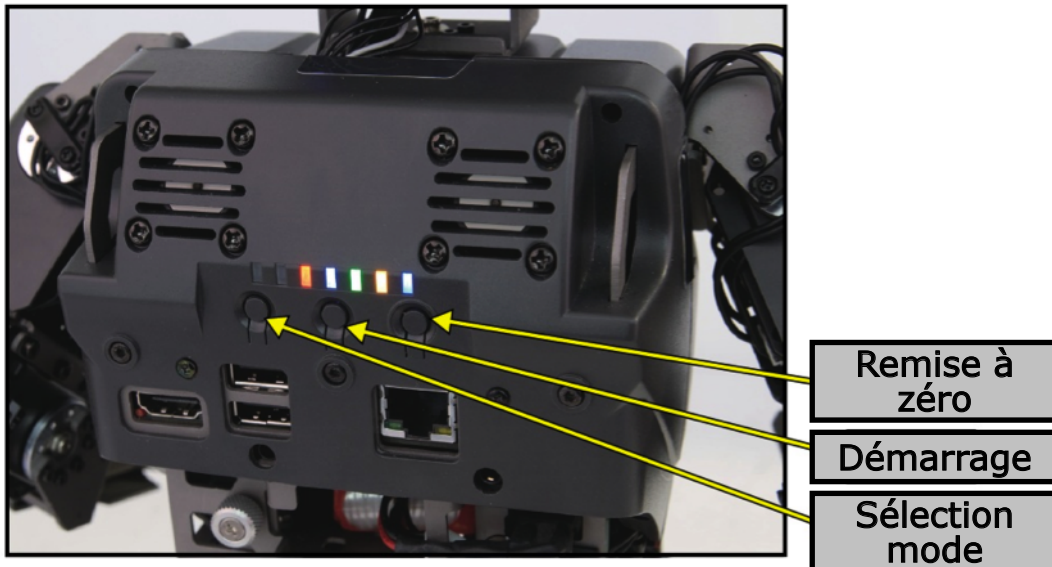
DARwIn-OP est préconfiguré selon 4 modes de fonctionnement :

- ✓ Mode “Démonstration”
- ✓ Mode “Football autonome”
- ✓ Mode “Mouvement interactif”
- ✓ Mode “Traitement vision”

À la mise en route, le mode par défaut est “Démonstration”. Ce mode n’est pas un mode à proprement parler car, en fait, il permet d’accéder à l’un des 3 autres modes.

Pour basculer d'un mode à l'autre, appuyer sur le bouton “Sélection mode”. À chaque pression, DARwIn-OP annonce le mode qui est aussi indiqué par l'allumage d'une LED.

Pour exécuter le mode choisi, appuyer sur le bouton “Démarrage”. DARwIn-OP se redresse alors et commence l'exécution.



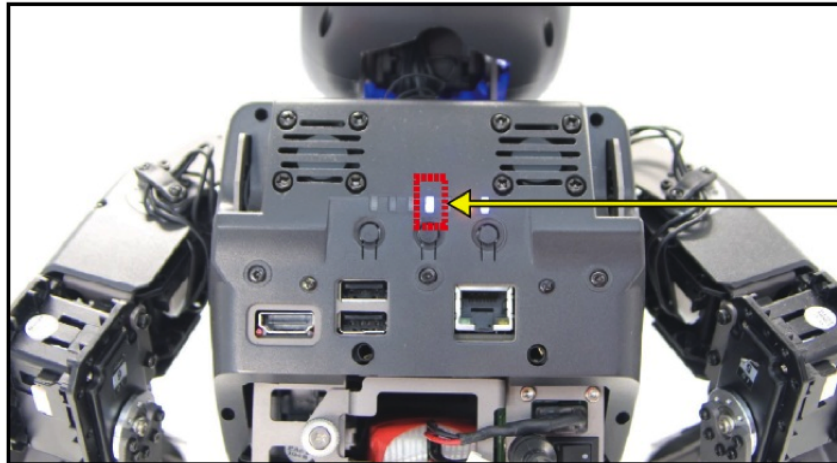
※ Bouton de remise à zéro (RESET button)

Le bouton de remise à zéro réinitialise les moteurs mais pas le robot entier. Il faut garder en mémoire que le programme de démonstration continue à tourner dans le contrôleur principal.

Il est fortement recommandé que DARwIn-OP soit dans la position agenouillée ou tenu en l'air par la poignée de transport avant d'appuyer sur le bouton de remise à zéro. Appuyer sur ce bouton alors que DARwIn-OP est en mouvement peut causer des dégâts dans les moteurs ou sur le robot lui-même.









Dans ce mode, DARwIn-OP exécute séquentiellement des mouvements préprogrammés pendant qu’il parle.

- ✓ Pour démarrer le mode “Mouvement interactif”
 - Appuyer sur le bouton “Sélection mode” pour allumer la LED 2 (bleue). DARwIn-OP annonce « *mode interactif* ».



LED 2 **Bleue**
Allumée

- Appuyer sur le bouton "Démarrage". DARwIn-OP se lève et annonce « démarrage du mode interactif ».
- DARwIn-OP effectue alors les actions séquentielles suivantes :

 1 - Merci	 2 - Introduction	 3 - Woua!	 4 - Je m'assois
 5 - Je me lève	 6 - On applaudit !	 7 - Oops !	 8 - Au revoir

- ✓ Pour arrêter le mode "Mouvement interactif"
 - Appuyer sur le bouton "Sélection mode". DARwIn-OP retourne alors dans le mode « Démonstration ».



1.2 – Analyse fonctionnelle du robot DARwin-OP

Le robot est constitué de sous-ensembles électroniques de commandes et de communications, et de sous-ensembles en mouvement.

2 membres inférieurs qui sont constitués de pieds, chevilles et de jambes ;

2 membres supérieurs qui sont constitués de mains, avant bras et épaules ;

1 tête.

1.3 – Analyse structurelle

Cheville est constituée de 2 servomoteurs

Jambe est constituée de 4 servomoteurs

Bras est constitué de 3 servomoteurs

Tête est constitué de 2 servomoteurs



2nd Partie

Etude des groupes cinématiques

Poste 1 : Cheville droite
Poste 2 : Jambe droite
Poste 3 : Bras droit
Poste 4 : Tête

Chaque équipe répondra aux questions en fonction du sous-ensemble étudié

Objectif de cette partie : On propose, pour chaque équipe, de **valider** les groupes cinématiques des différentes parties du corps du robot humanoïde.

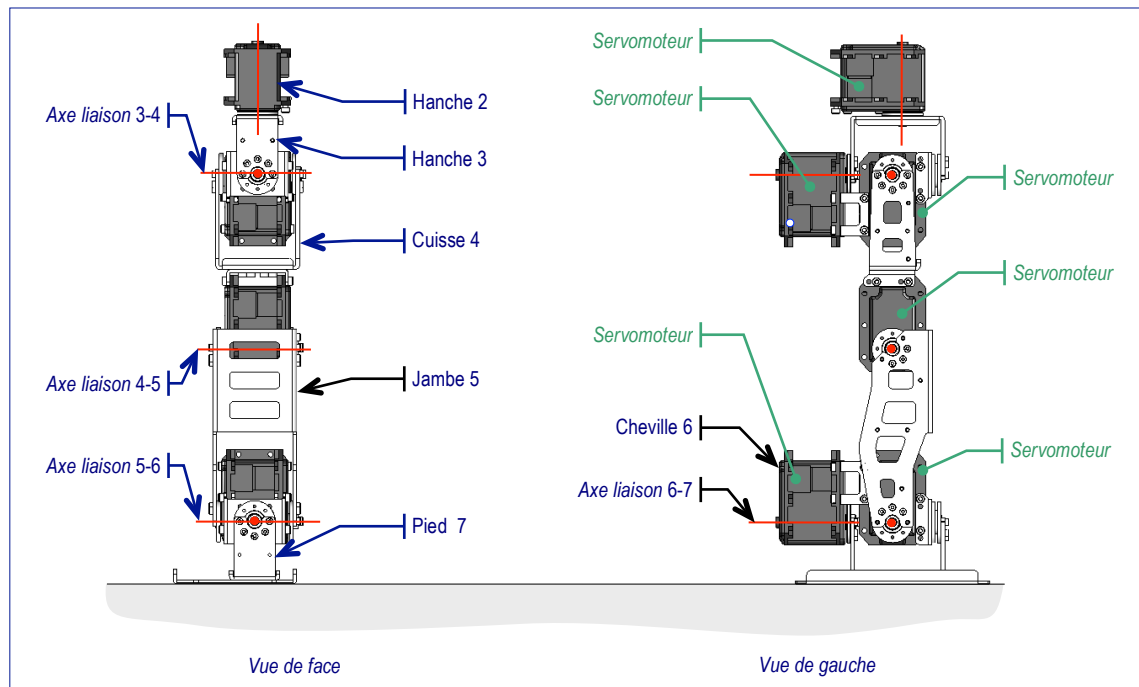
2.1 – Analyse du paramétrage du mécanisme

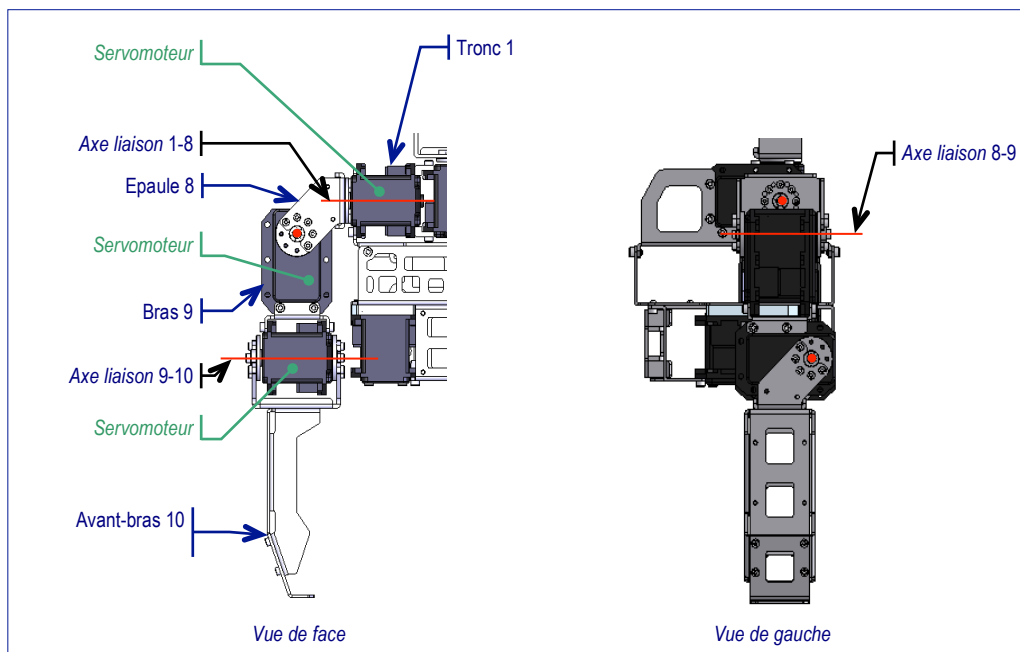
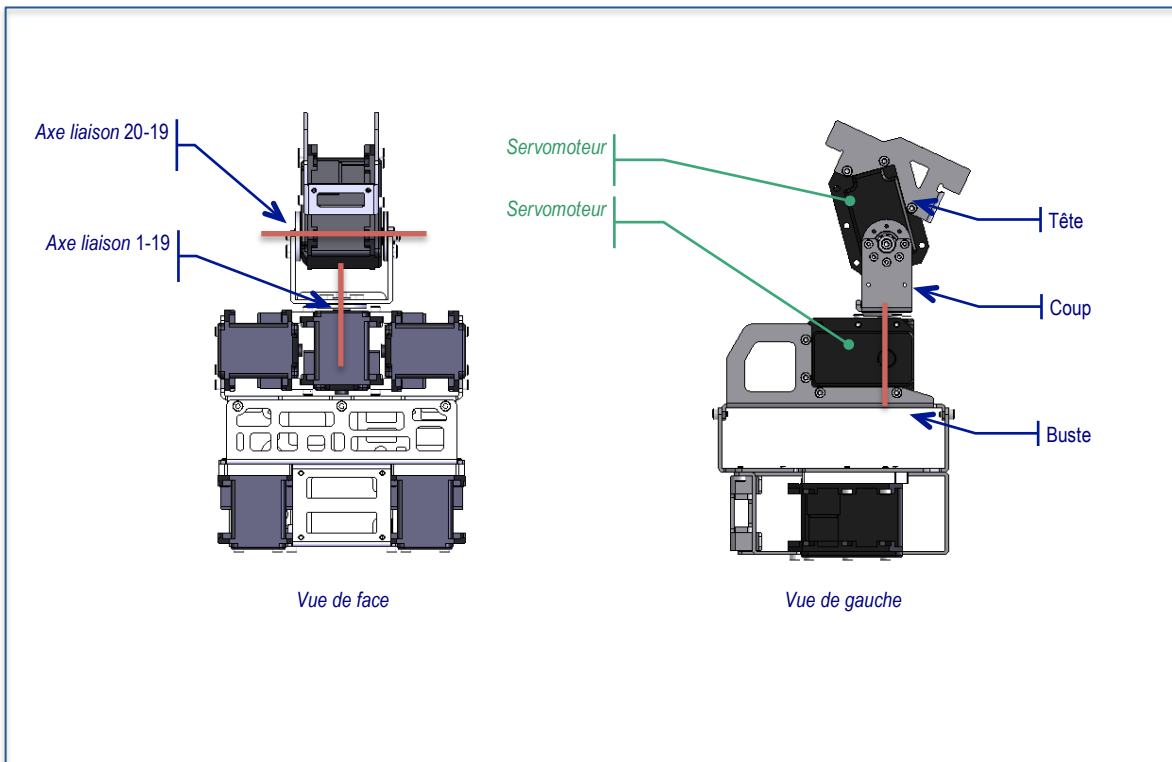
Un groupe cinématique est un ensemble constitué d'un ou plusieurs solides cinématiquement équivalents : les solides sont indéformables et liés entre eux. Les groupes cinématiques sont liés entre eux par des liaisons laissant apparaître un ou plusieurs degrés de mobilité.

Type d'activité : Observation et rédaction

En équipe, après avoir observé le fonctionnement du robot et des sous-ensembles dans la partie 1, **identifier**, en les coloriant de couleurs différentes sur le document annexe correspond dessin d'ensemble.

Donner le détail de la constitution de chaque sous-ensemble sous la forme : par exemple $a = \{1 ; 2 ; 3 ; \dots\}$ en ne prenant en compte que les pièces principales.





2.2 – Etude des mouvements entre solides et position relative des référentiels

Lorsque 2 solides sont en liaisons, ils ont un mouvement entre eux qui se caractérise :

- un ou plusieurs mouvements de translation ;
- un ou plusieurs mouvements de rotation ;
- un mouvement hélicoïdal ;
- un mouvement quelconque.



Type d'activité : Manipulation et rédaction

En équipe, **donner** la nature du mouvement entre les solides (groupe cinématique) en liaisons. **Caractériser** les axes de rotations pour chaque mouvement et les repérer sur le dessin d'ensemble en annexe.

2.3 – Identification des paramètres de repérage

Type d'activité : Manipulation et Rédaction

Identifier le paramètre d'entrée (ou paramètre pilote) ainsi que le paramètre de sortie qui permettent d'assurer le fonctionnement nécessaire pour réaliser la fonction globale du système. Numéroté sur le dessin d'ensemble le système de repérage $R_i(A_i, \vec{x}_i, \vec{y}_i, \vec{z}_i)$ et l'angle par θ_{ij} angle de rotation entre le repère i par rapport au repère j .



Elément de correction de la partie 2

2.1 – Analyse du paramétrage du mécanisme

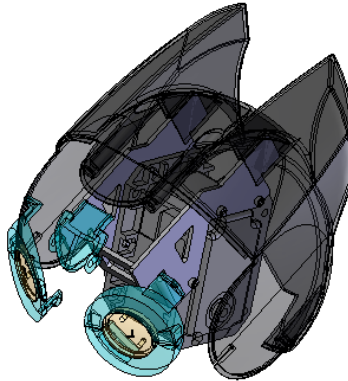
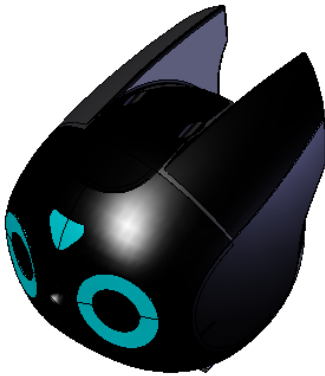
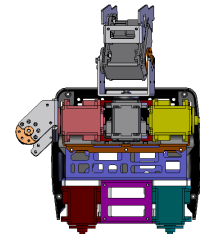
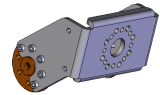
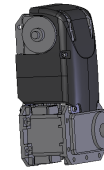
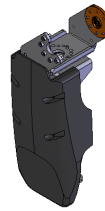
Pour le bras droit :

Groupe main = {12, 11 ; vis}

Groupe avant bras = {10 ; 9 ; vis}

Groupe épaule = {8 ; Roue ; vis}

Groupe Corps = {1 ; ; vis}

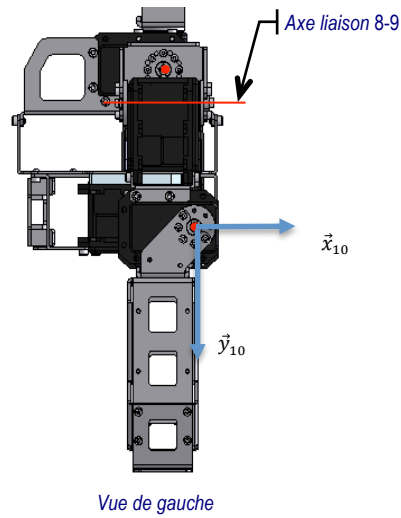
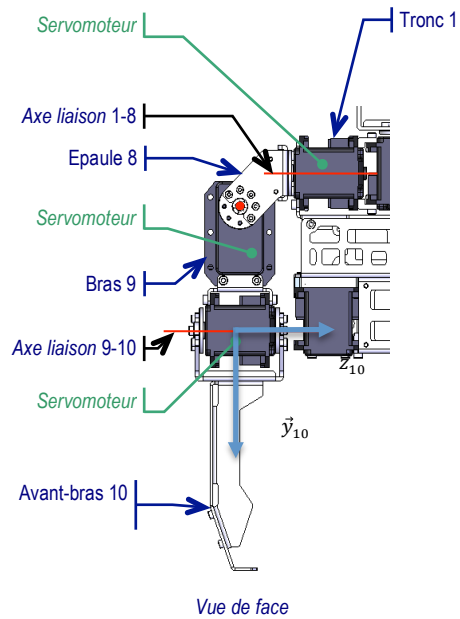


2 groupes cinématique pour la tête.
Groupe coup et groupe tête.

2.2 – Etude des mouvements entre solides et position relative des référentiels

Mouvement entre ensemble de solide :

Tous les mouvements entre les groupes de solide sont des rotations au centre des axes des servomoteurs.





3^{ème} Partie

Etude des performances cinématiques

Poste 1 : Cheville droite
Poste 2 : Jambe droite
Poste 3 : Bras droit
Poste 4 : Tête



Chaque équipe répondra aux questions en fonction du sous-ensemble étudié

Objectif: On propose de **relever** expérimentalement et par simulation pour chaque équipe les performances cinématique à l'aide du support **DMS**.

3.1 – Identification des grandeurs des paramètres variables

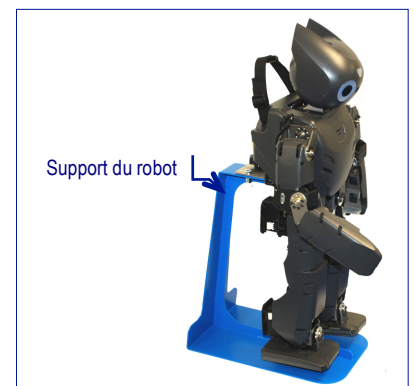
Type d'activité : Manipulation et rédaction

Le robot étant hors fonction, **manipuler** à la main les rotations et estimer les grandeurs de variation en degrés.

3.2 – Mesure des variations sur le DARwIn-OP

Type d'activité : Manipulation

Le Robot DARwIn-OP devra impérativement être placé sur le support DMS pour continuer cette activité.



En activant sur l'ordinateur le programme RoboPlus MOTION **faire varier** les liaisons à la main en déverrouillant le servomoteur et **mesurer** les valeurs de déplacement des liaisons via le déplacement des axes. (Suivre la procédure du dossier ressource pour se connecter à RoboPlus Motion. Le professeur assistera les étudiants dans cette manipulation.)

Le robot DARwIn doit être alimenté et relié à l'ordinateur afin que vous puissiez communiquer avec lui.

Le câblage et la commande du robot sont détaillés dans le dossier ressources techniques.

La **fig. 1** donne un servomoteur en vue de face. La base $\vec{z}_c, \vec{x}_c, \vec{y}_c$ est associée au carter c du servomoteur. La base $\vec{z}_s, \vec{x}_s, \vec{y}_s$ est associée à l'arbre de sortie s du servomoteur. Le vecteur unitaire \vec{x}_c fixe le « 0 » du servomoteur ainsi les sens + et – de l'angle de rotation de l'arbre de sortie par rapport au carter sont parfaitement définis.

Le capteur de position intégré au servomoteur est un codeur absolu dont la résolution est de 4096 points par tour. La valeur indiquée pour la position de chaque servomoteur dans le logiciel est en point, avec une valeur médiane de 2048.

Si p correspond à l'angle de rotation de l'arbre de sortie s par rapport au carter c en point et α la valeur en ° alors :

$$\alpha = \frac{360}{4096}(p - 2048)$$

et

$$p = 2048 + \frac{4096 \alpha}{360}$$

Toute modification d'un point positif, fera tourner l'arbre de sortie du servomoteur d'un pas d'environ 0,0879°.

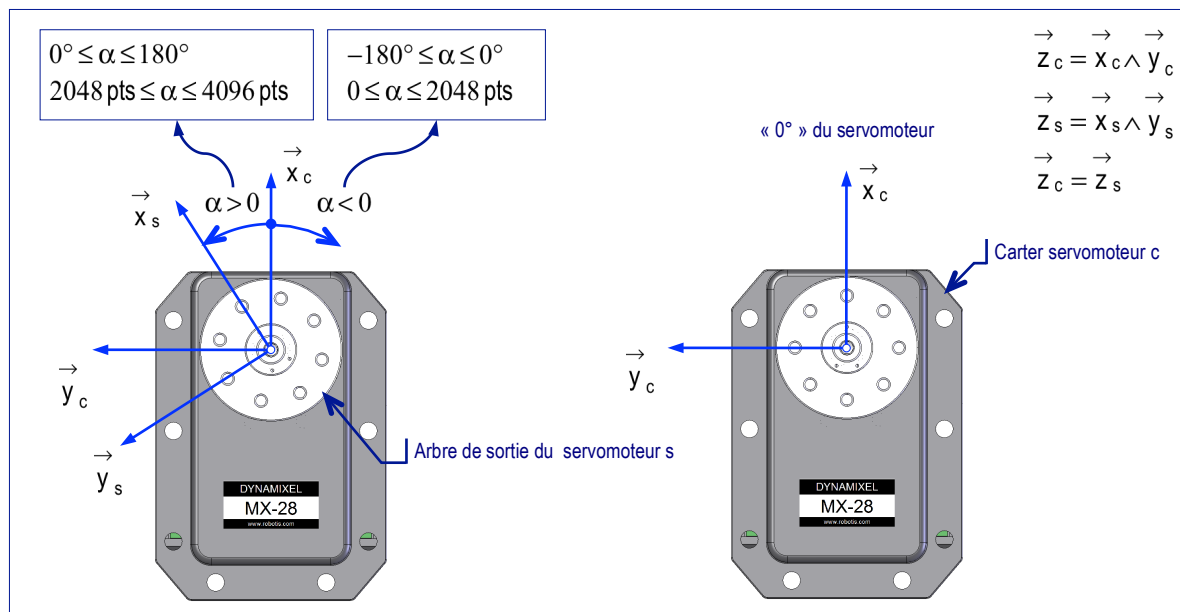


fig. 1 : Repères associés au servomoteur

3.3 – Mesure en mode simulation

Type d'activité : Manipulation

Ouvrir le fichier SolidWorks et en utilisant le document d'aide à la mesure du mouvement (outil esquisse, ligne de construction et cotation intelligente), et **mesurer** la variation du mouvement maximal de chaque liaison des sous-ensembles étudiés jusqu'à que la prochaine surface sans prendre en compte les fils électriques. **Critiquer** le modèle numérique par rapport au modèle réel.

3.4 – Synthèse

Type d'activité : Rédaction

Regrouper dans un tableau pour chaque liaison de vos sous-ensembles, les variations en degrés de chaque degré de liberté mesurer par estimation, par capteur et par simulation.

Elément de correction de la partie 3

3.1 – Identification des grandeurs des paramètres variables

Estimation des rotation du coude = 130°

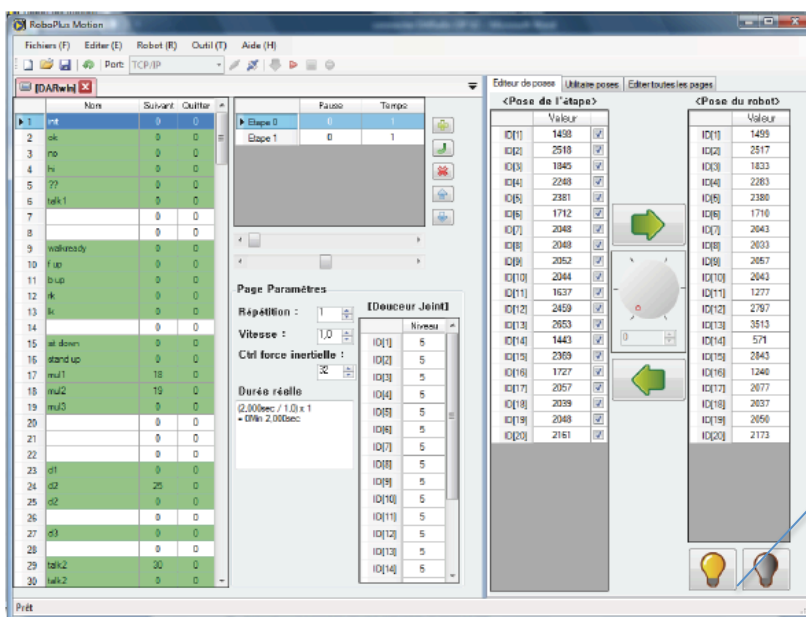
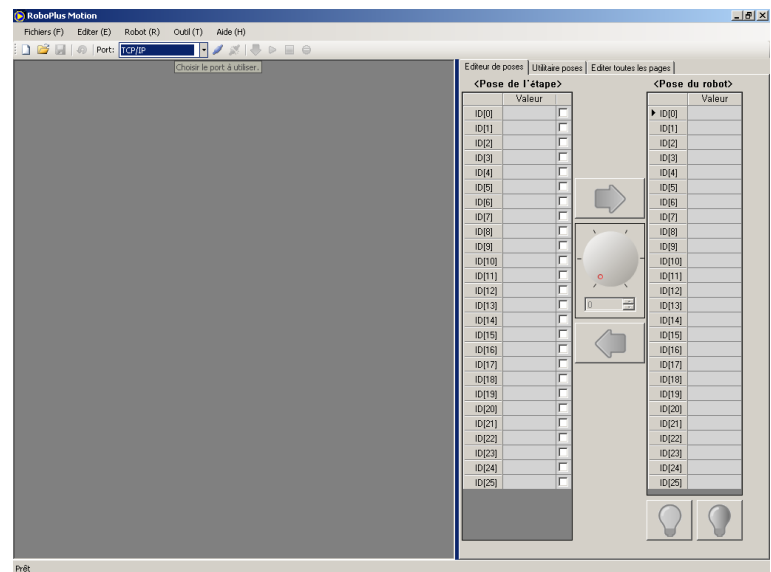
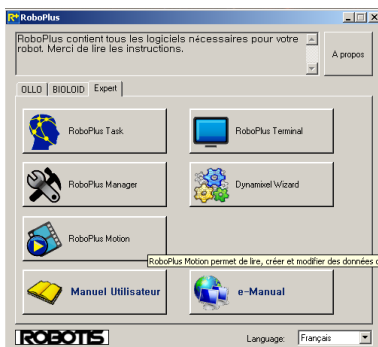
3.2 – Mesure des variations sur le DARwIn-OP

Allumer le DarWin-OP, toujours sur support. Brancher le robot au réseau et par VNC, connectez vous au robot. Procédez à la mise en route du logiciel robotplus par le terminal linux.

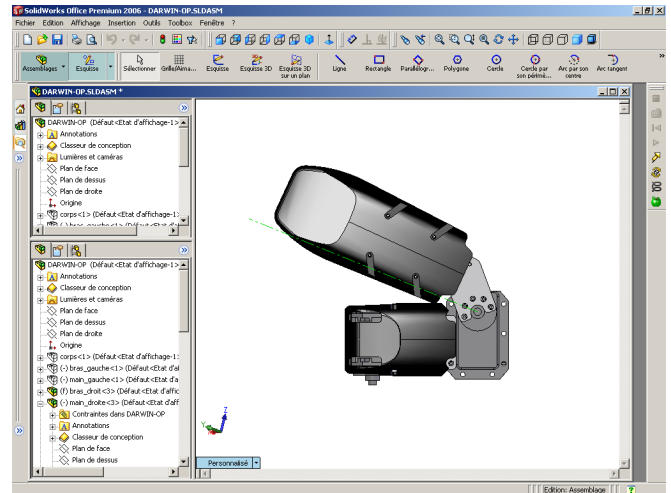
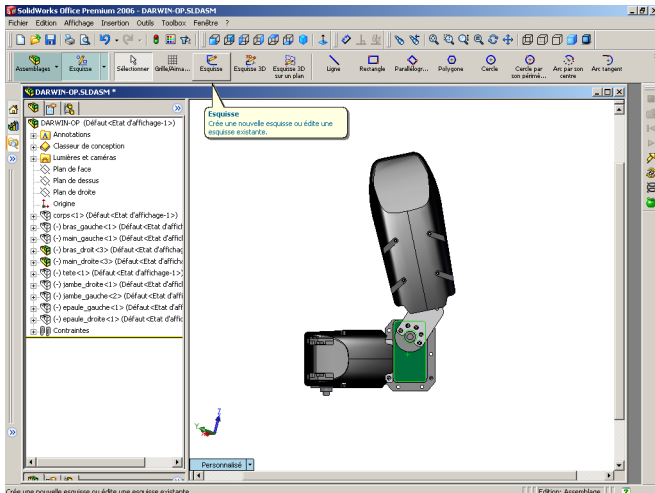
Sur le poste élève, démarrer Robot plus.

```
darwin@darwin:/darwin/Linux/project/roboplus$ ls
main.cpp main.o Makefile protocol.txt roboplus
darwin@darwin:/darwin/Linux/project/roboplus$ sudo ./roboplus
```

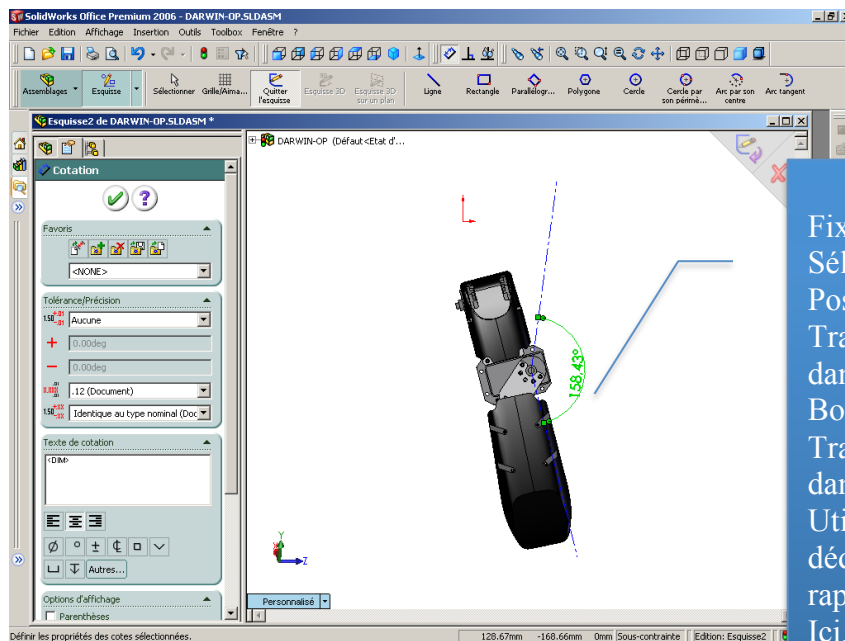
```
*                               RoboPlus Server Program
*****
[Running....]
[Waiting..]
```



Couper le coupe
Agir sur le bras
Noter les valeurs du
servomoteur 10 pour
la main



3.3 – Mesure en mode simulation



Fixer le group avant bras
Sélectionner le plan de rotation du servomoteur
Positionner la main dans sa position minimale
Tracer dans l'esquisse un trait de construction dans la première position
Bouger la pièce
Tracer dans l'esquisse un trait de construction dans la deuxième position
Utiliser l'outil cotation intelligente pour en déduire la rotation maximale du group main par rapport au groupe avant bras.
Ici, $\Delta\theta_{11/10} = 158,43^\circ$

3.4 – Synthèse

Pour le groupe main / groupe avant bras,
Estimation = 140°
Mesure par logiciel = $155,7^\circ$
Mesure par modélisation = $158,43^\circ$



4^{ème} Partie

Synthèses des performances humanoïdes

Poste 1 : Cheville droite
Poste 2 : Jambe droite
Poste 3 : Bras droit
Poste 4 : Tête



Chaque équipe répondra aux questions en fonction du sous-ensemble étudié

Objectif : **comparer** les capacités de mobilité cinématique du robot humanoïde DARWIN-OP avec les capacités humaines et **éditer** un document qui caractérise le système dans son ensemble.

4.1 – Caractérisation des mobilités humaines des sous-ensembles étudiés

Type d'activité : Documentation, manipulation et rédaction

A l'aide du document ressource et des manipulations, **donner** les mobilités pour le sous-ensemble étudié en observant les mobilités de son corps.

4.2 – Comparaison et critique

Type d'activité : Rédaction

Regrouper, dans le tableau de la partie 3, les

Poste 1-2-3-4

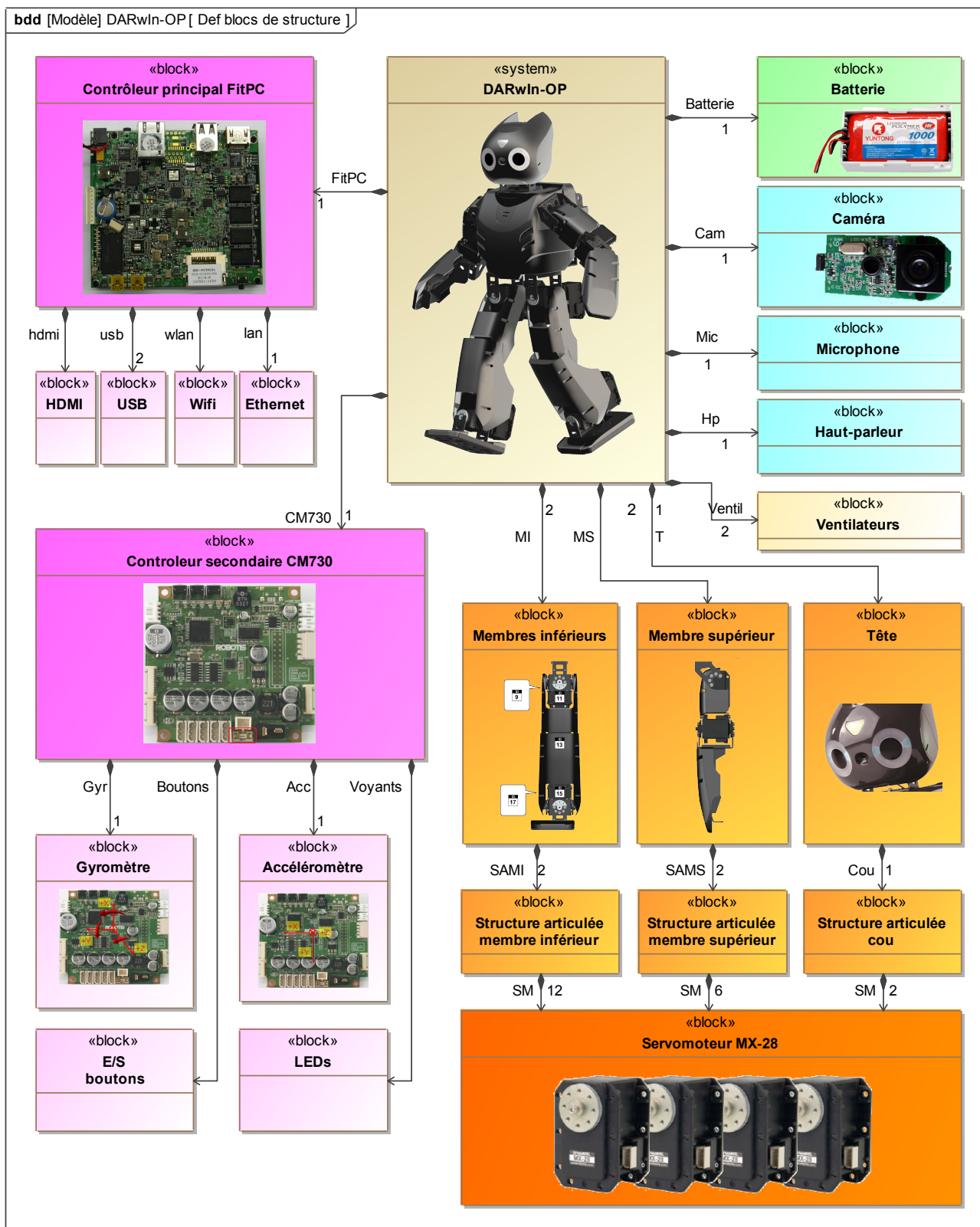
4.3 – Regroupement des performances

Type d'activité : mutualisation et rédaction

Editer un document qui regroupe tous les sous-ensembles et **conclure** sur les capacités de mobilité à ressembler au mouvement de l'homme ou pas.

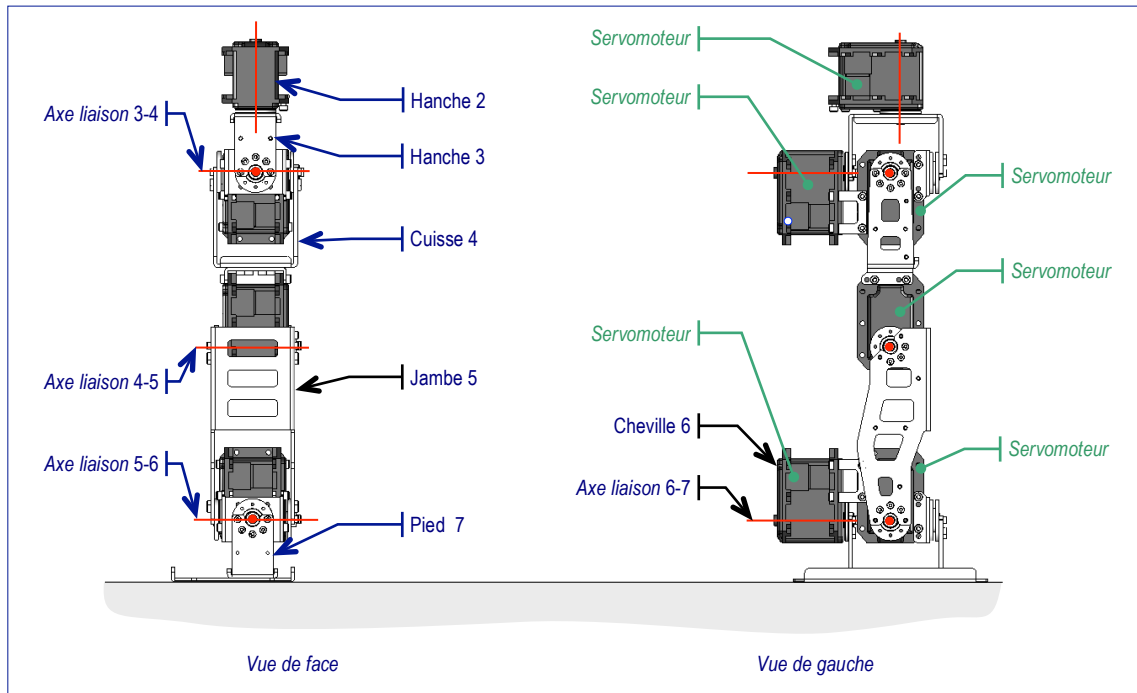


Annexe 1.2



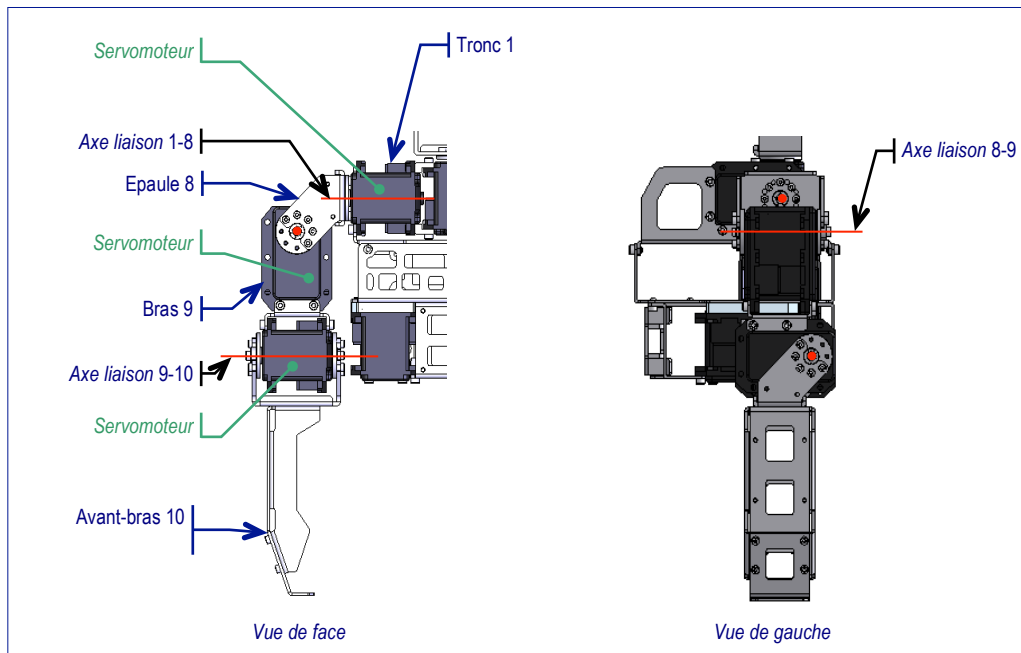


Annexe 2.1 Poste 1 et 3



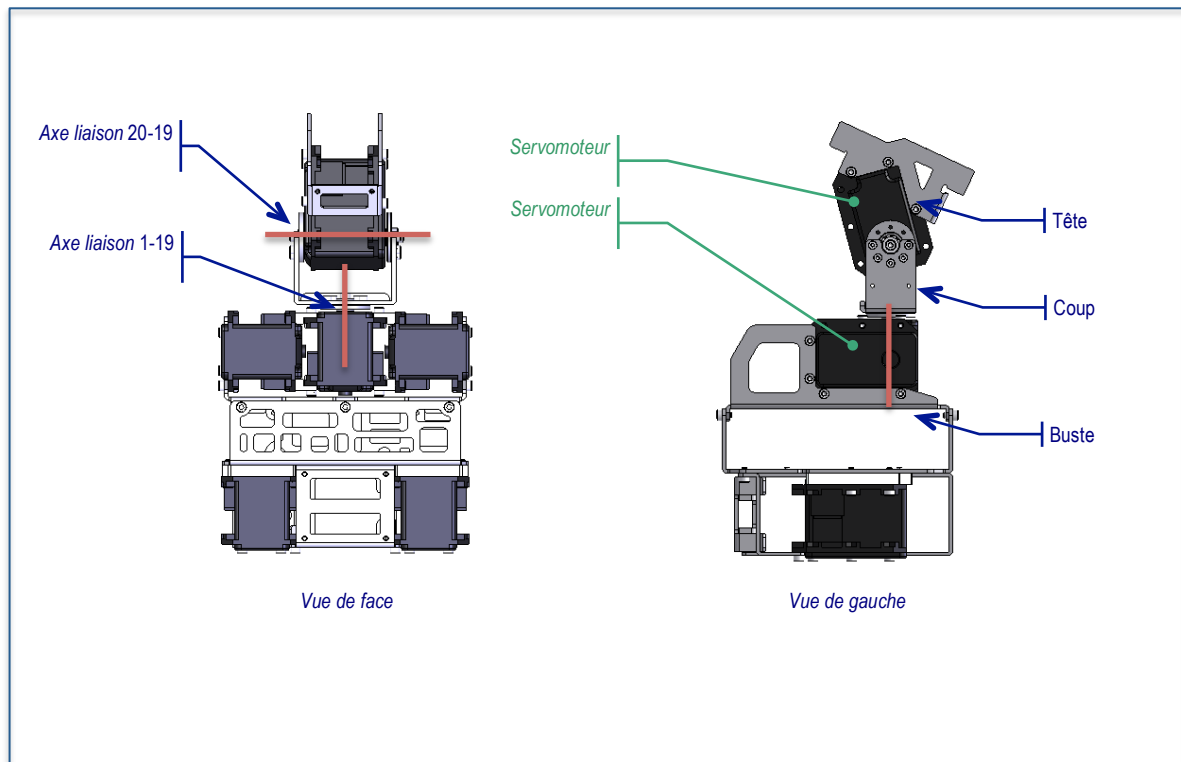


Annexe 2.1 poste 2





Annexe 2.1 poste 3





Fiche de formalisation

Connaissances :

Référentiel :

Le référentiel est un système de coordonnées permettant de situer un événement dans l'espace et dans le temps. Le référentiel est l'emplacement de l'observateur et il est constitué idéalement d'un repère d'**espace** et d'un repère de **temps**.

Repère d'espace :

Les solides étudiés évoluent dans un espace physique qui peut être modélisé par un espace caractérisé par un repère de coordonnée orthonormé direct $R(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$

Équivalence entre référentiel et solide indéformable :

Un solide étant indéformable, étudier le mouvement d'un solide par rapport à un autre revient donc à étudier le mouvement relatif des référentiels liés à ces solides. Dans chaque référentiel, on positionne un repère bien choisi suivant la géométrie du solide.

Solide de référence

L'étude de tout mouvement implique au moins 2 solides en présence :

- Le solide S_2 dont on étudie le mouvement
- Le solide S_1 par rapport auquel on définit le mouvement et qui est appelé Solide de référence.

On attache un repère de coordonnées à un référentiel de façon à réaliser le positionnement des points du solide.

Position et paramétrage, degrés de liberté :

Pour paramétrer un solide, il faut fixer la position de 3 points liés au solide, c'est-à-dire 9 paramètres. De plus, les 3 points ont une distance constante traduite par 3 équations de liaison des paramètres.

La position d'un solide dépend de 6 paramètres indépendants.

Cela caractérise les 6 degrés de liberté du solide (3 translations + 3 rotations) par rapport à un référentiel : $X, Y, Z, \theta_x, \theta_y, \theta_z$.



Auto-évaluation des savoir-faire :

Savoir faire intermédiaire	Je saurais refaire sans aide	Je saurais refaire avec de l'aide	Je ne saurais pas refaire
Identifier les classes d'équivalences			
Identifier sur un dessin d'ensemble les solides			
Tracer un système de repérage sur un dessin d'ensemble			
Donner la correspondance entre des valeurs numériques et des valeurs analogiques			
Calculer les mobilités composées			
Savoir faire du programme			
Placer un référentiel, un repère			
Donner l'équivalence solide/référentiel			
Identifier les degrés de liberté			
Composition des mouvements			