

SESSION DE 2008

**CONCOURS INTERNE
DE RECRUTEMENT DE PROFESSEURS AGRÉGÉS
ET CONCOURS D'ACCÈS A L'ÉCHELLE DE RÉMUNÉRATION**

Section : GÉNIE ÉLECTRIQUE

Option A : électronique et informatique industrielle

Option B : électrotechnique et électronique de puissance

**DEUXIÈME ÉPREUVE PORTANT SUR L'ÉTUDE D'UN
PROBLÈME D'AUTOMATISATION**

Durée : 6 heures

Calculatrice électronique de poche – y compris programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

Convertisseur en euro autorisé.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Tournez la page S.V.P.

Chaîne robotisée de conditionnement de gâteaux

Ce sujet comporte 3 dossiers distincts :

📁 Dossier de présentation, texte du sujet avec le travail demandé	28 pages
📁 Documents réponses	4 pages
📁 Dossier ressources	12 pages

Ce sujet comporte quatre parties indépendantes :

- Partie 1 : Contrôle en couple d'un servomoteur
- Partie 2 : Modèle géométrique du robot
- Partie 3 : Contrôle dynamique du robot
- Partie 4 : Traitement d'images et communication Ethernet

Une lecture préalable et complète du sujet est indispensable.

Il sera tenu compte de la cohérence avec laquelle les candidats traiteront chaque partie, le jury préférant une réflexion d'ensemble de la partie abordée à un éparpillement des réponses.

Les candidats sont invités à numéroter chaque page de leur copie et à indiquer clairement le numéro de la question traitée.

Les candidats sont priés de rédiger les différentes parties du problème sur feuilles séparées et clairement repérées. Chaque question est identifiée par une police gras et repérées par un numéro.

Il leur est rappelé qu'ils doivent utiliser les notations propres au sujet, présenter clairement les calculs et dégager ou encadrer tous les résultats.

Tout résultat incorrectement exprimé ne sera pas pris en compte. En outre les correcteurs leur sauront gré d'écrire lisiblement et de soigner la qualité de leur copie.

Il sera tenu compte de la qualité de rédaction, en particulier pour les réponses aux questions ne nécessitant pas de calcul. Le correcteur attend des phrases complètes respectant la syntaxe de la langue française.

Pour la présentation des applications numériques, il est rappelé que lors du passage d'une forme littérale à son application numérique, il est recommandé aux candidats de procéder comme suit :

- après avoir rappelé la relation littérale, chaque grandeur est remplacée par sa valeur numérique en respectant la position qu'elle avait dans la relation puis le résultat numérique est donné sans calculs intermédiaires et sans omettre son unité.

Si le texte du sujet, de ses questions ou de ses annexes, vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement dans votre copie.

Présentation de l'unité de fabrication étudiée

Cette société nationale fabrique des gâteaux en grande quantité. Il y a différentes sortes de gâteaux : ronds, carrés, rectangulaires ...

En sortie de four, après un léger refroidissement, les gâteaux sont conditionnés dans des cartons d'emballages. La cadence de fonctionnement, la diversité des gâteaux et des cartons d'emballages ont nécessité l'utilisation d'une chaîne robotisée.

Vous trouverez sur la figure 0.1 le synoptique global de l'unité de fabrication et de conditionnement.

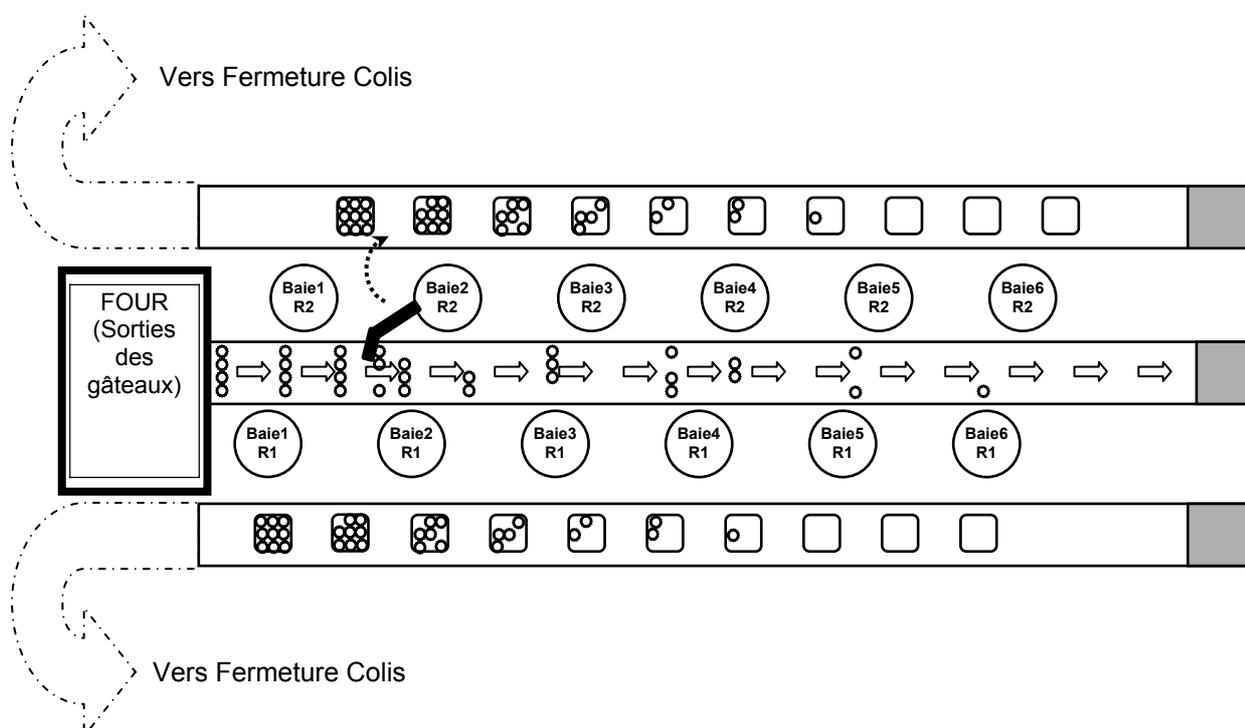


Figure 0.1 : Vue générale de l'installation

Les gâteaux sortent du four par rangées (jusqu'à six gâteaux par rangée) à une cadence comprise entre 200 et 500 gâteaux par minute. On appelle baie un ensemble de deux robots. Une caméra équipée pour une baie fait la saisie de l'image dès que les gâteaux arrivent dans son champ de vision. Elle localise les différents gâteaux par traitement d'images et calcule les coordonnées du barycentre de chacun des gâteaux. Les coordonnées et la position du convoyeur (effectué par codeur) sont envoyées aux contrôleurs des deux robots de la baie. Ce transfert d'information est effectué par réseau Ethernet. Ensuite, les robots prennent les gâteaux et les positionnent dans les emballages cartonnés. L'ensemble du conditionnement est géré par un automate Siemens et un superviseur : ils permettent le paramétrage des robots et des contrôleurs en fonction du type d'emballage et du type de gâteau ainsi que la gestion des alarmes.

L'objet de l'étude est la modélisation et le contrôle-commande d'un ensemble de vision par caméra et d'une baie de deux robots. L'installation industrielle comporte une unité de production de gâteaux, six baies composées chacune de deux robots SCARA (figure 0.2) et d'une caméra. Un tapis de convoyage amène les gâteaux du four de cuisson vers les différentes baies de robots. Deux tapis de convoyage drainent les emballages cartons réservés au conditionnement des gâteaux.



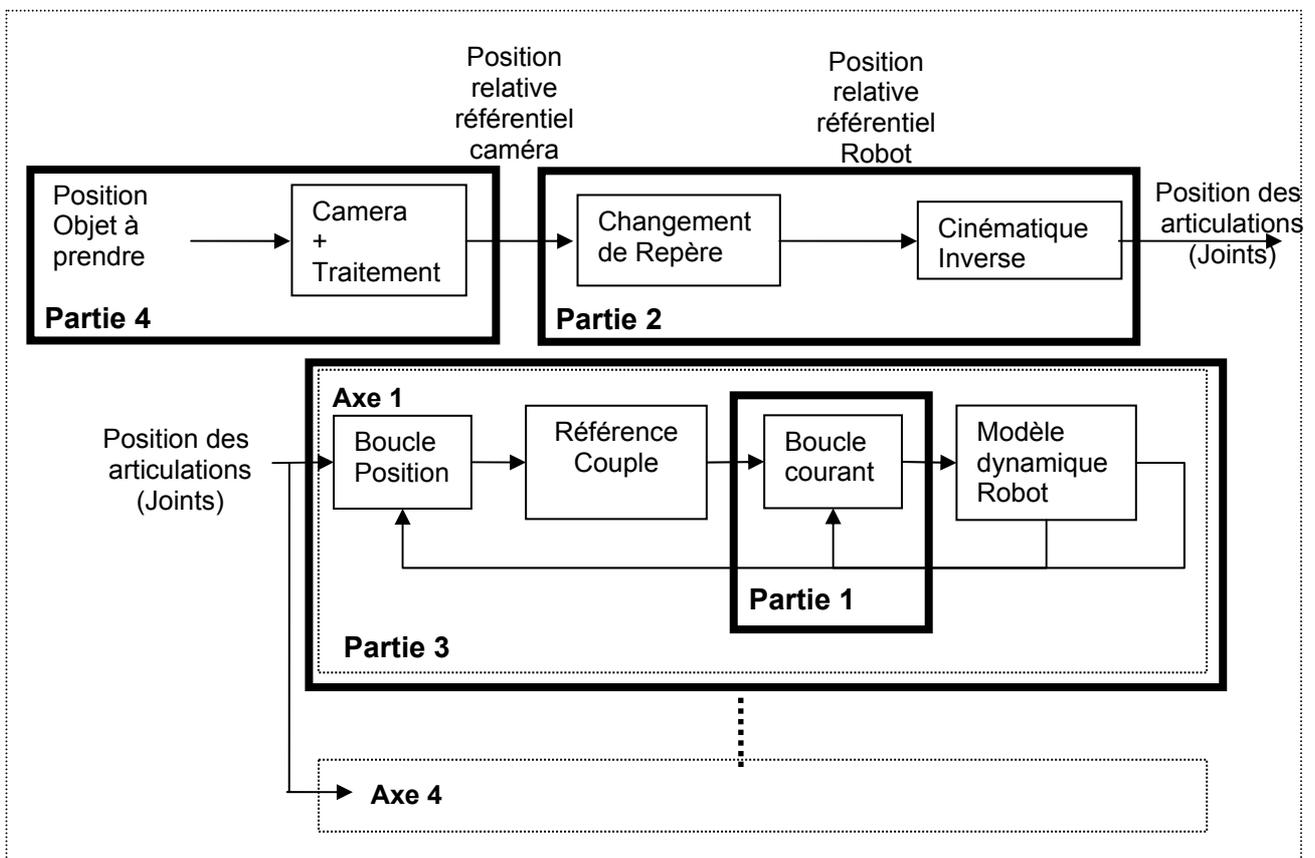
Figure 0.2 : Robot SCARA de conditionnement

Le sujet comporte plusieurs parties concernant la modélisation et le contrôle-commande. Pour des raisons de temps, l'analyse portera sur une caméra associée à un robot. Dans un premier temps, le réglage des boucles de courants des moteurs Brushless au sein du robot sera traité. Ensuite, le modèle géométrique du robot sera obtenu afin de contrôler son mouvement dans les trois directions. Afin de connaître les coordonnées du gâteau pour le mouvement du robot, il sera étudié le traitement d'image effectué dans la caméra. L'ensemble de l'installation est réalisé en réseau pour échanger notamment les coordonnées des différents gâteaux entre les caméras, les baies de robots, l'automate et la supervision. Dans ce contexte, l'étude des éléments communicants de connexion au réseau Ethernet et leurs dimensionnements seront effectués.

ORGANISATION DU SUJET

Vous trouverez sur le schéma ci-dessous, l'organisation par partie du sujet :

- Partie 1 : CONTROLE EN COUPLE D'UN SERVOMOTEUR
- Partie 2 : MODELE GEOMETRIQUE DU ROBOT
- Partie 3 : CONTROLE DYNAMIQUE DU ROBOT
- Partie 4 : TRAITEMENT D'IMAGES ET COMMUNICATION ETHERNET



PARTIE 1 CONTROLE EN COUPLE D'UN SERVOMOTEUR

Le robot dispose de quatre axes. Chaque axe est piloté par une machine synchrone brushless de marque Yaskawa. Il est nécessaire d'utiliser une machine de 400 W pour le premier axe, une de 200 W pour le deuxième axe et deux de 100 W pour les deux derniers axes. Les caractéristiques des moteurs sont fournies en annexe 1.1. Pour des raisons de dynamiques, le pilotage du couple moteur s'effectue par contrôle vectoriel.

Comme dans la deuxième partie, nous allons faire l'étude du premier axe. Le schéma interne du variateur est donné figure 1.1.

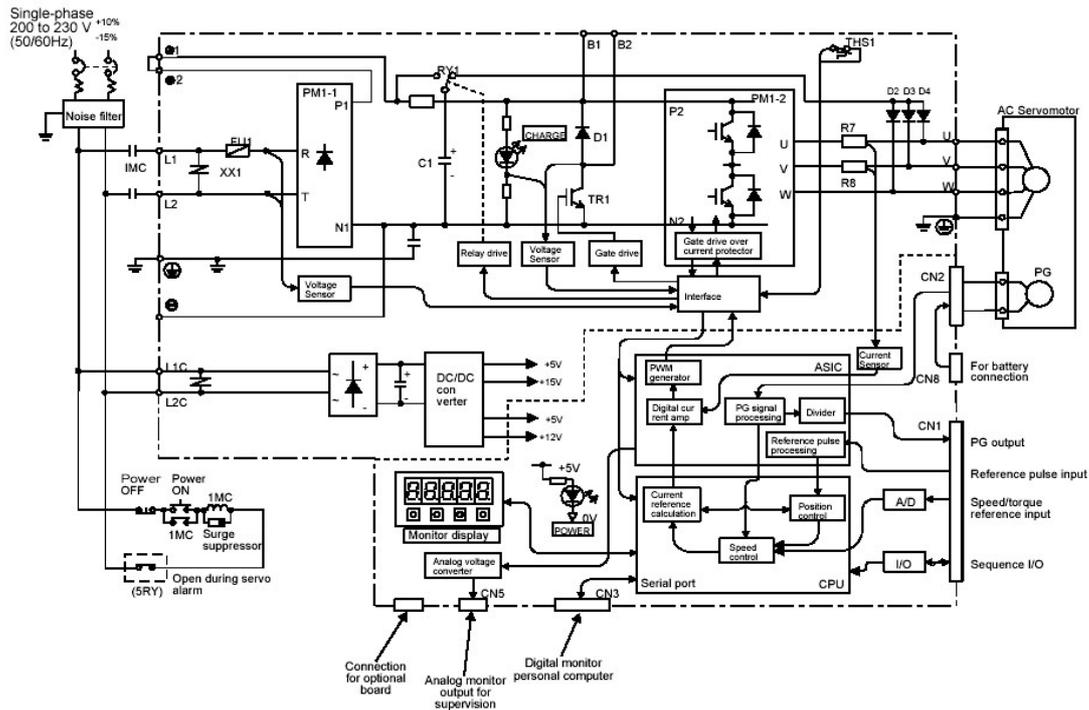


Figure 1.1 : Schéma interne du variateur

Q1.1 Quel type de convertisseur statique de puissance est utilisé dans ce variateur de vitesse ? Préciser la nature des interrupteurs employés.

Voici la liste des paramètres utilisés pour le contrôle de la machine synchrone et leurs dénominations :

- R_s : résistance statorique par phase,
- L_d : inductance statorique d'axe d,
- L_q : inductance statorique d'axe q,
- L_s : inductance cyclique,
- k_c : constante de couple,
- J : moment d'inertie du moteur,
- f_v : coefficient de frottement visqueux,
- T : vitesse de rotation du rotor,

- ω : pulsation électrique statorique,
- p_m : nombre de paire de pôles de la machine.

Q1.2 A partir du document constructeur des machines utilisées donné en annexe 1.1, déterminer le nombre de paire de pôles p_m .

Q1.3 En déduire la relation entre ω et T.

Q1.4 Définir les constantes de temps électrique et mécanique du moteur en fonction de ses paramètres. En utilisant l'annexe 1.1, donner leurs valeurs numériques.

Q1.5 Indiquer la valeur numérique de R_s , L_s , k_c , J et f_v .

1.1 ASSERVISSEMENT DE COUPLE

Le contrôle vectoriel mis en place par le biais des capteurs de courant et de position, sous certaines hypothèses (non saturation ...) conduit au schéma structurel (figure 1.2).

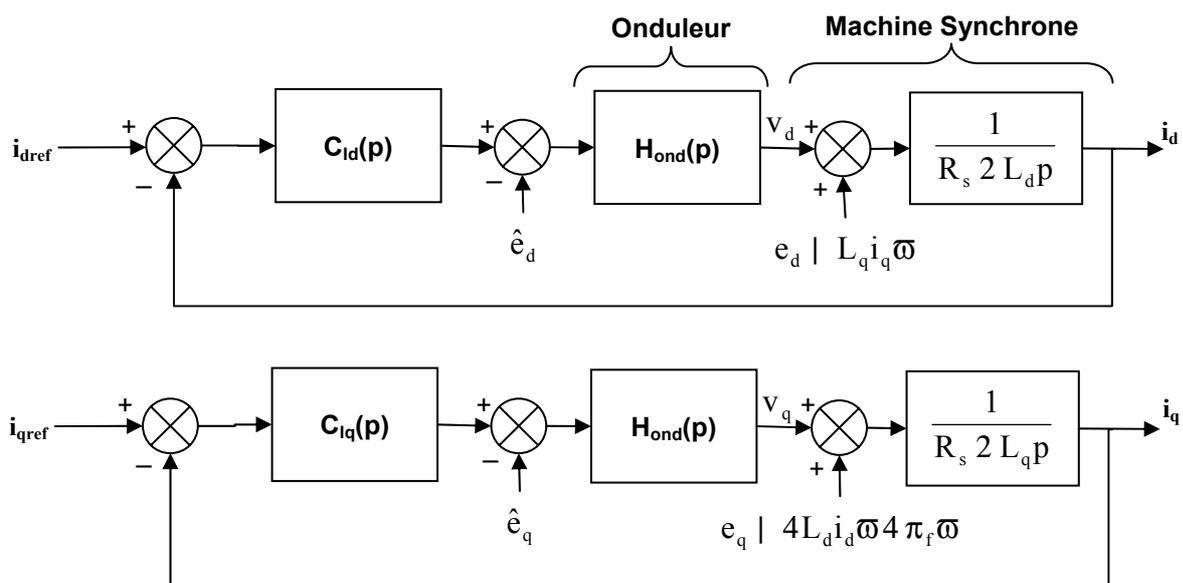


Figure 1.2 : Schéma structurel des asservissements de courant

Sur ce schéma, vous pouvez distinguer les boucles de régulations de courant de l'axe d et de l'axe q dans le référentiel de Park.

On note :

- π_f le flux inducteur,
- p la variable de Laplace,
- $H_{ond}(p)$ la fonction de transfert de l'onduleur.

L'asservissement de position utilisé dans le contrôleur d'axe génère des trajectoires qui permettent de réguler le couple. Nous étudierons ici uniquement les asservissements de courant dans le variateur.

Dans un premier temps, le retard introduit par la modulation vectorielle de l'onduleur de tension est négligé. Les termes de couplage estimés \hat{e}_d, \hat{e}_q sont supposés égaux aux termes de couplage e_d, e_q de la machine synchrone, permettant ainsi de les compenser parfaitement. Nous prendrons $\mathbf{H}_{\text{ond}}(\mathbf{p})=1$ correspondant à un onduleur idéal.

La machine synchrone utilisée est une machine à pôles lisses ; soit $L_d \mid L_q \mid L_s$.

La relation entre le couple C_{em} et le courant i_q est alors de la forme suivante :

$$C_{em} \mid \frac{3}{2} p_m \pi_f i_q$$

Le courant i_q , en supposant $\pi_f \mid C^{te}$ et à un gain près, permet d'asservir le couple. Le courant i_d d'axe d, asservi à une consigne $i_{dref} = 0$, est utilisé uniquement pour les stratégies de défluxage pour le fonctionnement en survitesse.

Q1.6 Compléter le schéma blocs situé sur le document réponse DR1.1 en tenant compte des hypothèses précédentes.

Le principe de correction des deux boucles est identique. Seules les données numériques correspondant aux performances (bande passante, précision...) sont différentes. Nous ferons donc l'étude de la boucle d'asservissement de i_q .

Q1.7 Etablir la fonction de transfert en boucle fermée, notée $T_q(\mathbf{p}) \mid \frac{I_q(\mathbf{p})}{I_{qref}(\mathbf{p})}$.

On choisit d'asservir le courant I_q par un correcteur de la forme suivante

$$C_{iql}(\mathbf{p}) \mid k_{II} \frac{12 \vartheta_{II} \mathbf{p}}{\vartheta_{II} \mathbf{p}}$$

Q1.8 Quel nom donne-t-on à ce correcteur ?

On désire une réponse en boucle fermée du premier ordre de la forme $T_{Iq}(\mathbf{p}) \mid k_T \frac{1}{12 \vartheta_T \mathbf{p}}$.

Q1.9 En déduire la valeur particulière de τ_{II} (expressions littérale et numérique).

Q1.10 Identifier k_T et ϑ_T .

Q1.11 Donner la valeur numérique de k_{II} pour obtenir une bande passante à - 3 dB de 1 kHz.

1.2 ASSERVISSEMENT DE COURANT AVEC RETARD

La boucle de contrôle du couple est numérique. La discrétisation, la modulation MLI et l'onduleur introduisent un retard d'une période d'échantillonnage T_e (100 μ s). On suppose que le retard peut être approximé par un premier ordre :

$$e^{-sT_e} \approx \frac{1}{1 + T_e s}$$

On utilise le même type de correcteur que précédemment $C_{iq2}(p) = k_{12} \frac{1 + \vartheta_{12} p}{\vartheta_{12} p}$.

Q1.12 Etablir la nouvelle fonction de transfert en boucle fermée $T_{2q}(p)$.

Nous désirons obtenir une réponse en boucle fermée du deuxième ordre par compensation du pôle dominant.

Q1.13 Quelle valeur particulière doit-on donner à ϑ_2 ?

Q1.14 Mettre alors la fonction de transfert en boucle fermée $T_{2q}(p)$ sous la forme :

$$T_{2q}(p) = \frac{1}{1 + 2\frac{\xi}{\omega_0} p + \frac{1}{\omega_0^2} p^2}$$

Déterminer ξ et ω_0 en fonction de k_{12} , L_s , R_s et T_e .

Q1.15 Exprimer k_{12} en fonction de ξ , ω_0 , L_s , R_s et T_e .

Q1.16 On désire obtenir $f_0 = 1$ kHz. Calculer la valeur numérique de k_{12} puis de \bullet .

Q1.17 Tracer l'allure de la réponse indicielle de $i_q(t)$.

PARTIE 2 MODELE GEOMETRIQUE DU ROBOT

Les baies de robot sont composées de robot Cobra s600 de la société ADEPT. Ces robots sont constitués de plusieurs éléments géométriques représentés sur la figure 2.1.

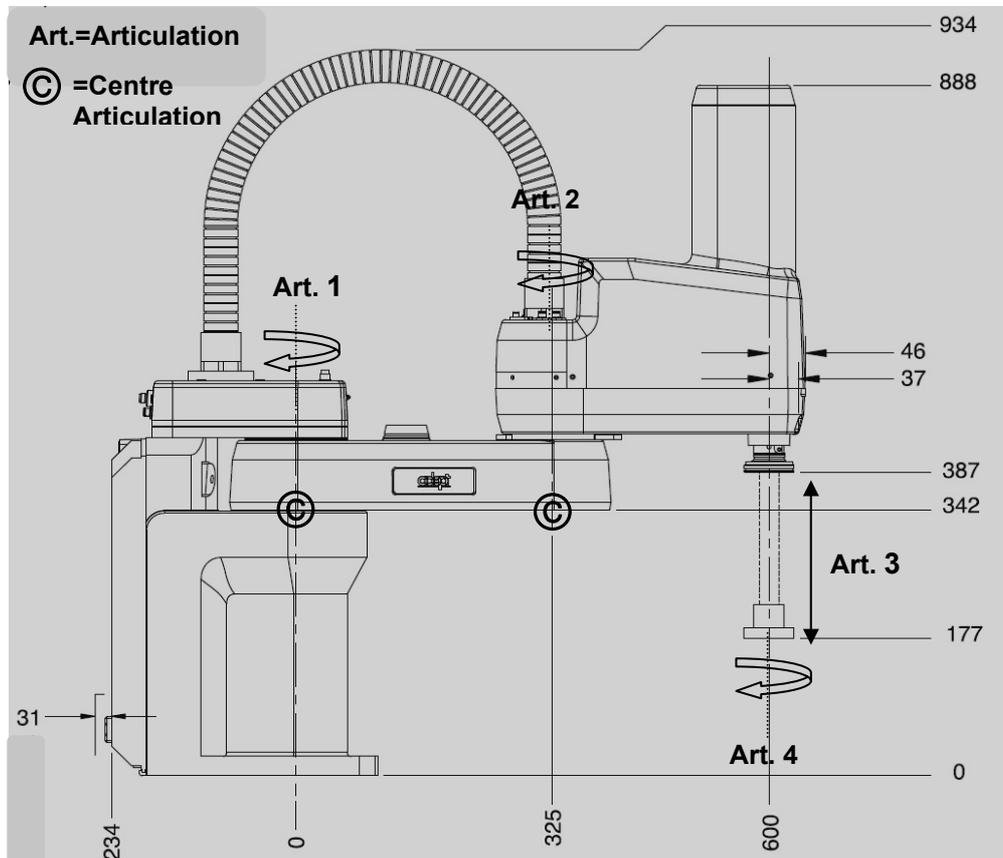


Figure 2.1 : Géométrie du robot Adept

Les caractéristiques complètes du robot Adept figurent en annexe 2.1.

Le type de robot utilisé est un robot de type SCARA (Selectively Compliant Assembly Robot Arm). Il correspond à la famille des robots sériels à opposer aux robots flexibles ou robots parallèles. Afin de pouvoir orienter le robot dans l'espace à trois dimensions, il est nécessaire de connaître quelques éléments de cinématique. Nous rappelons que la cinématique est l'étude du mouvement des corps sans dynamique. Dans l'étude des robots, on parle soit de cinématique directe soit de cinématique inverse. La cinématique directe correspond à la localisation de l'outil (point extrême du robot noté P) connaissant les positions des articulations (notés q). La cinématique inverse donne les positions des articulations connaissant la localisation de l'outil. Ces éléments sont indispensables pour positionner le robot.

Un formulaire de calcul matriciel est fourni en annexe 2.2.

2.1 NATURE DE LA CHAÎNE CINEMATIQUE

On supposera par la suite les bras manipulateurs constitués de corps mobiles parfaitement rigides. Ils sont reliés entre eux par des liaisons rotoïdes (en rotation) ou prismatiques (en translation) formant une structure de chaîne simple.

Q2.1 En analysant la figure 2.1, compléter la chaîne cinématique représentée sur le document réponse DR2.1 dans le cas de notre robot. On indiquera la nature de la liaison $L="R"$ pour rotoïde, "P" pour prismatique et la longueur "Long" du Corps mobile (entraxe).

Q2.2 On désigne le type de robot par rapport à ses différentes liaisons. Exemple, un robot de type RRP pour un robot avec des liaisons en série Rotoïde-Rotoïde-Prismatique. Dans notre cas, quel est le type de robot ?

2.2 GENERALITES SUR LES PASSAGES ENTRE REPERES.

Dans un premier temps, nous allons résoudre le problème de cinématique direct.

On note (x_0, y_0, z_0) les coordonnées du point P dans le repère orthonormé $R_0 (O_0, \vec{i}_0, \vec{j}_0, \vec{k}_0)$ dit « repère d'origine ». On prend pour convention que le sens trigonométrique est compté positivement.

2.2.1 TRANSLATION DE COORDONNEES

Soit le nouveau repère $R_1 (O_1, \vec{i}_1, \vec{j}_1, \vec{k}_1)$, les coordonnées de P dans R_1 sont (x_1, y_1, z_1) . Le repère R_1 correspond à une translation de T_x suivant \vec{i}_0 , T_y suivant \vec{j}_0 et T_z suivant \vec{k}_0 du repère R_0 (Voir figure 2.2).

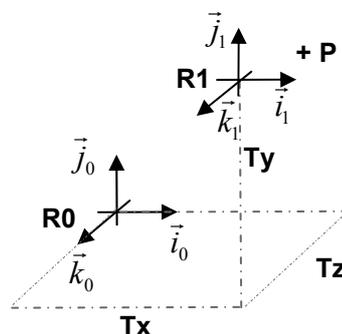


Figure 2.2 : Translation entre repères

Q2.3 Donner la relation entre les coordonnées (x_0, y_0, z_0) du point P dans le repère R_0 et les coordonnées (x_1, y_1, z_1) dans le repère $R_1 (O_1, \vec{i}_1, \vec{j}_1, \vec{k}_1)$ sous la forme :

$$\begin{cases} x_0 = a x_1 \\ y_0 = b y_1 \\ z_0 = c z_1 \end{cases}$$

Q2.4 Exprimer cette relation sous la forme $\begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} = T \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix}$ où T représente un vecteur.

2.2.2 ROTATION DANS LES DIFFERENTS REPERES : ROULIS, TANGAGE, LACET

Le nouveau repère R1 ($O_1, \vec{i}_1, \vec{j}_1, \vec{k}_1$) correspond à une rotation de χ_r selon X (dit « angle de Roulis ») du repère R0 (Voir figure 2.3).

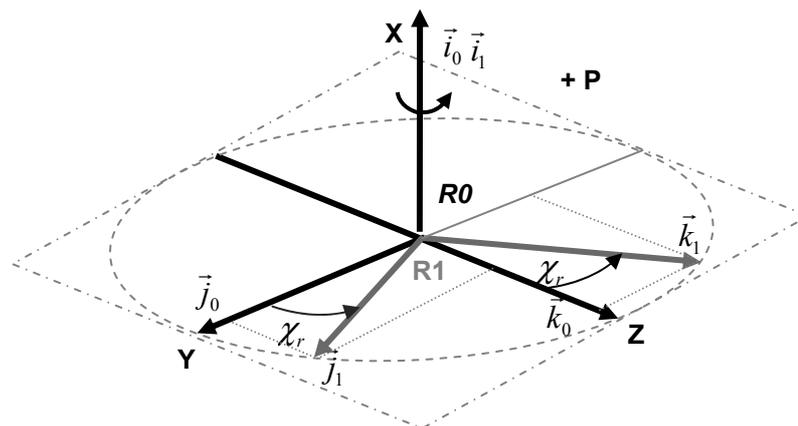


Figure 2.3 : Rotation selon x

Q2.5 Donner la relation entre les coordonnées (x_0, y_0, z_0) du point P dans le repère R0 et les coordonnées (x_1, y_1, z_1) dans le repère R1 ($O_1, \vec{i}_1, \vec{j}_1, \vec{k}_1$) sous la forme :

$$\begin{cases} x_0 = k_{r11}x_1 + k_{r12}y_1 + k_{r13}z_1 \\ y_0 = k_{r21}x_1 + k_{r22}y_1 + k_{r23}z_1 \\ z_0 = k_{r31}x_1 + k_{r32}y_1 + k_{r33}z_1 \end{cases}$$

et déterminer les constantes $k_{r11}, k_{r12}, k_{r13}, k_{r21}, k_{r22}, k_{r23}, k_{r31}, k_{r32}$ et k_{r33} en fonction de l'angle χ_r .

Q2.6 Exprimer cette relation sous la forme $\begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} = \Psi_r \beta \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix}$,

où $\Psi_r \beta$ représente la matrice de rotation du repère R0 vers le repère R1 exprimée dans R0.

La relation de passage entre coordonnées lorsque le repère R1 ($O_1, \vec{i}_1, \vec{j}_1, \vec{k}_1$) a subi une rotation de χ_t selon y (dit « angle de Tangage » voir figure 2.4.) est de la forme :

$$\begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} = \Psi_t \beta \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix}$$

Q2.7 En suivant la même démarche que précédemment, exprimer

$$\Psi_t \beta \begin{pmatrix} k_{t11} & k_{t12} & k_{t13} \\ k_{t21} & k_{t22} & k_{t23} \\ k_{t31} & k_{t32} & k_{t33} \end{pmatrix} \text{ en fonction de } \chi_t.$$

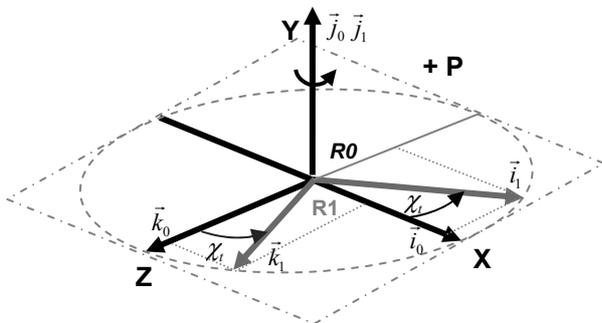


Figure 2.4 : Rotation de χ_t selon y

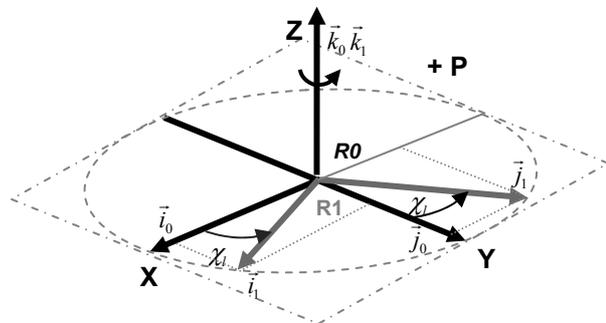


Figure 2.5 : Rotation de χ_l selon z

Q2.8 De même, exprimer $K_l \begin{pmatrix} k_{l11} & k_{l12} & k_{l13} \\ k_{l21} & k_{l22} & k_{l23} \\ k_{l31} & k_{l32} & k_{l33} \end{pmatrix}$ en fonction de χ_l pour une rotation

de repère selon z d'un angle χ_l (dit « angle de lacet » voir figure 2.5)

2.2.3 DEFINITION D'UN CHANGEMENT COMPLET DE REPERE ROTATION + TRANSLATION

Afin de caractériser les coordonnées complètes d'un objet ayant subi des rotations et des translations, il est possible d'utiliser une écriture générale. Cette écriture prend en compte les différents vecteurs et matrices de passage déjà définis dans les deux sous-parties précédentes.

D'une manière générale, le passage entre les coordonnées de deux repères (figure 2.6) peut s'écrire de la manière suivante :

$$\begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} = T \circ R \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix}$$

Où la matrice de rotation est alors $R = K_r K_t K_l$

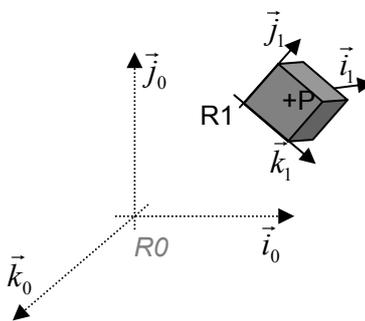


Figure 2.6 : Changement de repère (translation + rotation)

Notion de Matrice homogène

Pour des raisons de simplicité, on utilise une matrice homogène qui permet de calculer un changement de repère en une seule opération matricielle. Dans ce cas, on ajoute une quatrième coordonnée qui vaut 1 au vecteur de coordonnées. Le changement de repère s'écrit alors de cette manière :

$$\begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ 1 \end{pmatrix} = \Psi \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ 1 \end{pmatrix} \text{ avec } \Psi = \begin{pmatrix} R & T \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

où la matrice Ψ est appelée matrice homogène.

Le principal avantage de cette matrice est qu'elle est inversible. En effet, cela permet de faire simplement une inversion du modèle géométrique du robot :

$$\Psi^{-1} = \begin{pmatrix} R^t & -4 R^t T \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

2.2.4 DEFINITION DE LA MATRICE DENAVIT-HARTENBERG

Pour effectuer l'étude des robots séries comme le robot Scara, on utilise la convention de Denavit-Hartenberg. C'est une méthode qui est destinée à simplifier le passage d'un repère à l'autre. On définit cette transformation par une décomposition en quatre transformations élémentaires :

- une rotation autour de z d'un angle χ_i ,
- une translation le long de z d'une longueur d_i ,
- une translation le long de x d'une longueur a_i ,
- une rotation autour de x d'un angle ζ_i .

!!!! L'ordre des transformations élémentaires doit être respecté !!!!

Q2.9 Donner les quatre matrices homogènes correspondant aux quatre transformations élémentaires définies ci-avant.

Q2.10 En déduire que la matrice de transformation de Denavit-Hartenberg correspondant aux quatre transformations élémentaires consécutives est donnée par :

$$DH_i \begin{pmatrix} \cos \chi_i & \sin \chi_i \cos \zeta_i & \sin \chi_i \sin \zeta_i & a_i \cos \chi_i \\ \sin \chi_i & \cos \chi_i \cos \zeta_i & \cos \chi_i \sin \zeta_i & a_i \sin \chi_i \\ 0 & \sin \zeta_i & \cos \zeta_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

2.2.5 CAS DU ROBOT SCARA

Afin de trouver le modèle géométrique du robot Scara étudié, nous allons effectuer les différentes transformations de repère correspondant aux différentes articulations.

Le repère R0 de départ est choisi à la base du robot. Le deuxième repère est choisi fixe par rapport à la première articulation. Pour simplifier l'étude, on supposera que les origines des repères R1 et R2 sont sur une même horizontale (voir figures 2.1 et 2.7).

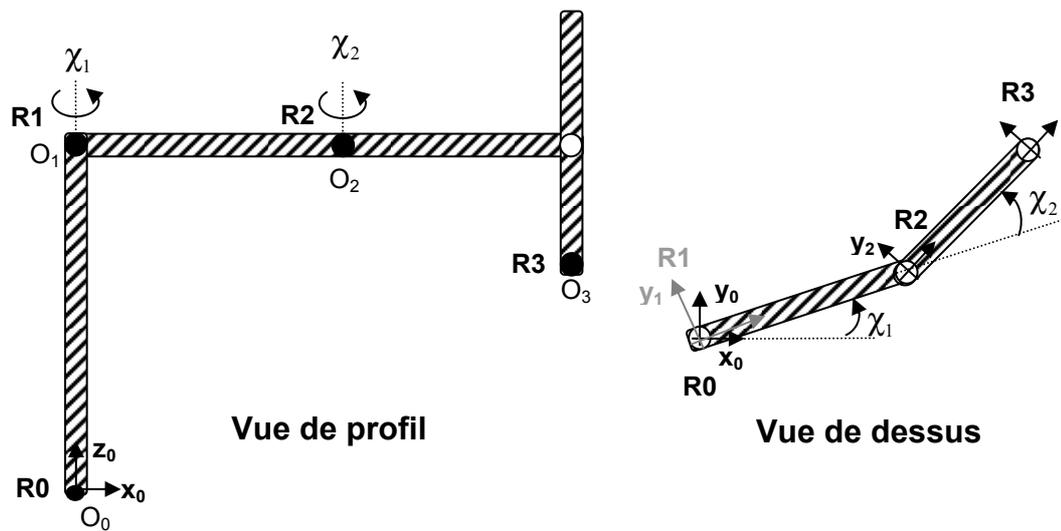


Figure 2.7. Différents repères du robot

Q2.11 En vous aidant de la figure 2.1, quelle est la distance de translation entre le repère R0 et le repère R1 ?

On suppose qu'il existe une rotation de l'angle χ_1 le long de l'axe z entre le repère R0 et R1.

Q2.12 Donner la matrice DH_{01} correspondant aux changements de repère entre R0 et R1 (translation + rotation).

Q2.13 Montrer que la matrice DH_{12} correspondant au changement de repère R1 vers R2 peut se mettre sous la forme suivante et donner la valeur numérique du coefficient a_2 :

$$DH_{12} = \begin{pmatrix} \cos \chi_2 & 4 \sin \chi_2 & 0 & a_2 \cos \chi_2 \\ \sin \chi_2 & \cos \chi_2 & 0 & a_2 \sin \chi_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Le repère R3 est supposé fixe par rapport à l'extrémité de la troisième articulation.

Q2.14 Donner la matrice DH_{23} correspondant au changement de repère R2 vers R3.

Lors des déplacements du robot, il est nécessaire de connaître la transformation DH_{03} du repère R0 vers le repère R3. Grâce aux différentes transformations, il est possible de calculer cette transformation. Elle correspond à la relation suivante :

$$DH_{03} | DH_{01} DH_{12} DH_{23} | \left(\begin{array}{cccc} \cos(\chi_1 - \chi_2) & 4 \sin(\chi_1 - \chi_2) & 0 & a_2 \cos(\chi_1 - \chi_2) - a_1 \cos \chi_1 \\ \sin(\chi_1 - \chi_2) & \cos(\chi_1 - \chi_2) & 0 & a_2 \sin(\chi_1 - \chi_2) - a_1 \sin \chi_1 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 - d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right)$$

Q2.15 Exprimer la valeur de la matrice DH_{03} pour le robot Scara Adept en considérant que $\chi_1 | \phi/2$ rad, $\chi_2 | 4\phi/4$ rad et lorsque l'extrémité du bras de robot est descendu au maximum.

2.2.6 MODELE INVERSE

Maintenant que nous disposons du modèle direct du robot. Nous pouvons donner les coordonnées de la partie terminale du robot à partir des positions de chaque articulation. En réalité, lorsque le robot doit prendre un muffin ou en déposer un, il dispose des coordonnées en x, y, z et ι (position en rotation de l'organe terminal) vis-à-vis du référentiel de base R0. Le calculateur du robot doit inverser le modèle géométrique afin de déterminer les positions de chaque articulation.

Cette inversion est très délicate. En effet, pour un même robot, il y a plusieurs modèles géométriques inverses alors qu'il n'y a qu'un seul modèle géométrique direct.

Q2.16 A l'aide du document réponse DR2.2, donner deux solutions de position pour χ_1 , χ_2 et d_3 afin de placer l'organe terminal au point de coordonnées $(x,y,z,\iota) = (500\text{mm}, 200\text{mm}, 220\text{mm}, 0)$. Cet emplacement correspond à la position de la deuxième rangée de gâteaux. La position z a pour origine la base du robot.

De plus, il faut tenir compte de l'espace de travail du robot.

Q2.17 A ce propos, donner deux conditions aux limites pour ce robot Adept.

PARTIE 3 CONTROLE DYNAMIQUE DU ROBOT

3.1 MODELE DYNAMIQUE DU ROBOT

Le modèle dynamique d'un robot peut être décrit par les équations d'Euler-Lagrange :

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial J_L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial J_L}{\partial q_i} = T_i,$$

avec :

- < $L=K-V$ qui est appelé Lagrangien du système, K est l'énergie cinétique du système et V est l'énergie potentielle du système,
- < q_i représente la $i^{\text{ème}}$ coordonnée généralisée du système,
- < T_i est la force généralisée appliquée au $i^{\text{ème}}$ élément du système.

Dans le cas particulier de l'étude des robots, on peut déduire l'écriture suivante :

$$M(q)\ddot{q} + (C(q, \dot{q}) + F_v)\dot{q} + g(q) + F_s q = T$$

où $M(q)$ représente les inerties mises en jeu dans le système, $C(q, \dot{q})$ modélise les forces de Coriolis et centrifuges, $g(q)$ les forces gravitationnelles, F_v les frottements visqueux et F_s les frottements secs. q représente le vecteur des positions des articulations et T les couples appliqués sur chaque axe.

3.2 CONTROLE EN POSITION DU PREMIER AXE DU ROBOT

Nous allons étudier l'asservissement de position du premier axe. Cet axe supporte quasiment l'ensemble des masses en mouvement et est sensible à la position du robot. Nous allons établir dans un premier temps le modèle dynamique pour cet axe, en faisant les approximations suivantes :

- < on néglige les forces centrifuges et de Coriolis,
- < on suppose que les forces de gravités seront compensées par un système mécanique,
- < les forces de frottements secs seront négligées,
- < on néglige les influences mutuelles entre les axes.

Dans ce cas, l'équation dynamique de la position angulaire du premier axe χ_1 est donnée par :

$$\left(\frac{m_1}{m_3} + m_2 + m_3 \right) d_1^2 \ddot{\chi}_1 + \frac{2}{m_2 + 2m_3} d_1 d_2 \cos(\chi_2) \ddot{\chi}_2 + \frac{m_2}{m_3} d_2^2 \ddot{\chi}_2 + F_v \dot{\chi}_1 = T_1,$$

où m_1 et m_2 représentent les masses des axes 1 et 2 et m_3 la masse de l'axe 3 incluant la charge du robot comme indiqués sur la figure 3.1. d_1 et d_2 représentent les longueurs des deux premiers axes et T_1 le couple moteur appliqué à l'axe 1.

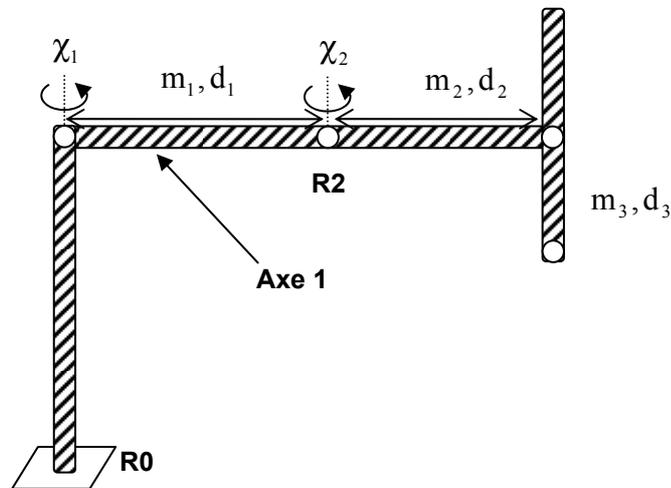


Figure 3.1 : Paramètres du robot

3.2.1 CONTROLE SANS INFLUENCE DE χ_2

On suppose que la position angulaire n'influence pas l'inertie du système, c'est à dire $\chi_2 \perp 90^\circ$. Afin de réaliser, l'asservissement de position, pour effectuer une étude simplifiée, on suppose que les boucles de régulations liées aux moteurs sont représentées par un gain unitaire.

Q3.1 Donner la fonction de transfert en boucle ouverte entre la position angulaire χ_1 et le couple T_1 sous la forme :

$$H(p) \mid \frac{\chi_1(p)}{T_1(p)} \mid \frac{k_1}{p/12 \vartheta_s p 0}$$

et déterminer les expressions littérales de k_1 et ϑ_s .

Q3.2 Déterminer les expressions numériques de k_1 et ϑ_s pour les valeurs $m_1 = 12$ kg, $m_2 = 10$ kg, $m_3 = 0,7$ kg, $d_1 = 0,425$ m, $d_2 = 0,375$ m et $F_v = 0,7$ Nm.s/rad.

Q3.3 Pour ces valeurs, tracer le diagramme de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte $H(p)$ sur le document réponse DR3.1.

Dans ce contexte, l'asservissement de position est donnée sur la figure 3.2 :

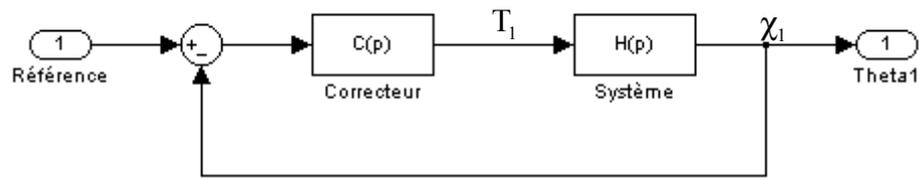


Figure 3.2 : Asservissement de position

Q3.4 Quelle est la marge de phase de l'asservissement de position si $C(p) = 1$? Conclure.

On procède au calcul d'un correcteur à avance de phase dont la fonction de transfert à l'allure suivante :

$$C(p) \mid C_a(p) \mid K_p \frac{12 a \vartheta_p}{12 \vartheta_p}$$

Q3.5 Quel doit être le domaine de variation de a pour que ce correcteur se comporte comme un correcteur à avance de phase ?

Q3.6 Tracer le diagramme de Bode asymptotique et réel (module et phase) du correcteur. Indiquer les valeurs remarquables (cassure, maximum, pente...).

Q3.7 En vous aidant de l'annexe 3.1, donner la valeur de $a = a_0$ permettant à ce correcteur d'avoir une avance de phase de 42° .

Q3.8 Pour ce réglage, déterminer la valeur de ϑ et K_p permettant d'obtenir un maximum de marge de phase pour la fréquence $f = 10\text{Hz}$.

Q3.9 Exprimer, après les avoir définies, de façon littérale puis numérique, l'erreur statique et l'erreur de traînage du système en boucle fermée pour le réglage précédant du correcteur.

3.2.2 CONTROLE EN TENANT COMPTE DE χ_2

Nous allons effectuer maintenant l'étude lorsque χ_2 est pris en compte et varie dans le temps. On supposera dans cette étude que les variations fortes de χ_2 n'influencent pas le modèle préétabli qui est rappelé ci-dessous :

$$\left(\frac{\text{m}_1}{\text{TM}_3} \mid 2 \text{ m}_2 \mid 2 \text{ m}_3 \right) \left\{ d_1^2 \mid 2 / \text{m}_2 \mid 2 \text{ m}_3 \right\} \left(d_1 d_2 \cos(\chi_2) \mid 2 \frac{\text{m}_2}{\text{TM}_3} \mid 2 \text{ m}_3 \right) \left\{ d_2^2 \mid \ddot{\chi}_1 \mid 2 F_v \dot{\chi}_1 \mid T_1 \right\}$$

Q3.10 Indiquer sur quelle caractéristique va agir l'évolution de χ_2 .

Q3.11 Selon les spécifications techniques fournies en annexe 2.1., déterminer la plage de variation de χ_2 et de $\cos(\chi_2)$.

Q3.12 En déduire la variation de la constante de temps en boucle ouverte de $H(p)$.

Q3.13 Déterminer la variation de la marge de phase du système. Conclure.

Q3.14 Lors du positionnement de χ_1 dispose-t-on de la mesure de χ_2 ? Préciser. Comment peut-on modifier le contrôleur pour tenir compte des changements de χ_2 ?

3.2.3 IMPLANTATION DU CONTROLEUR

L'architecture globale du contrôle de robot est présentée sur la figure 3.3.:

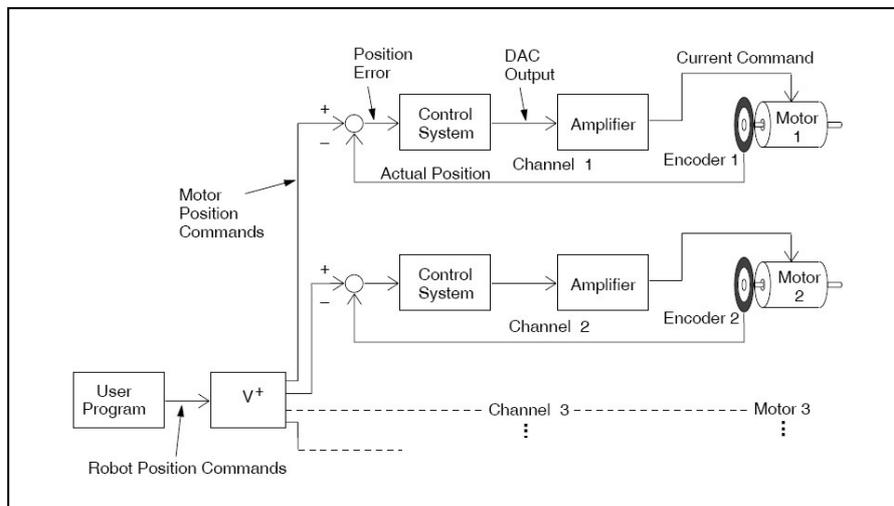


Figure 3.3 : Contrôle de position des quatre articulations (Extrait de Adept VME Developer's Guide)

La boucle de contrôle utilisée dans les robots Adept est représentée sur la figure 3.4.

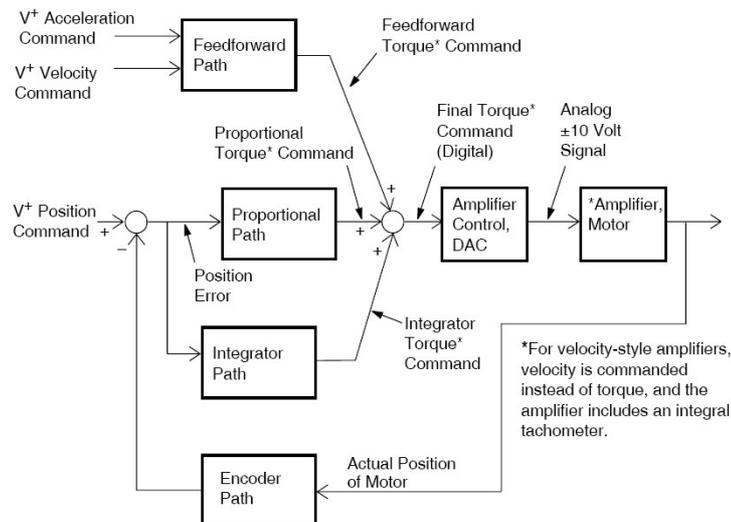


Figure 3.4 : Schéma bloc du correcteur (extrait Doc. VME Adept)

Dans notre cas, nous n'utilisons pas l'action intégrale, mais seulement l'action proportionnelle-dérivée dont le schéma est détaillé ci-dessous :

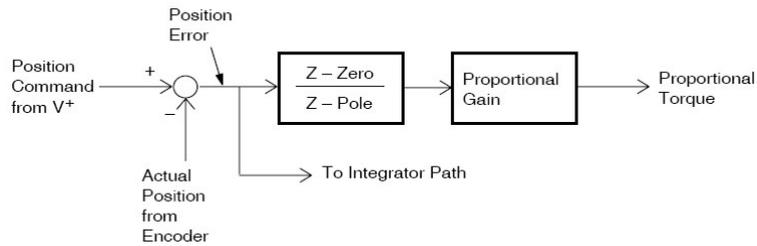


Figure 3.5 : Schéma bloc du correcteur P.D.(extrait Doc. VME Adept)

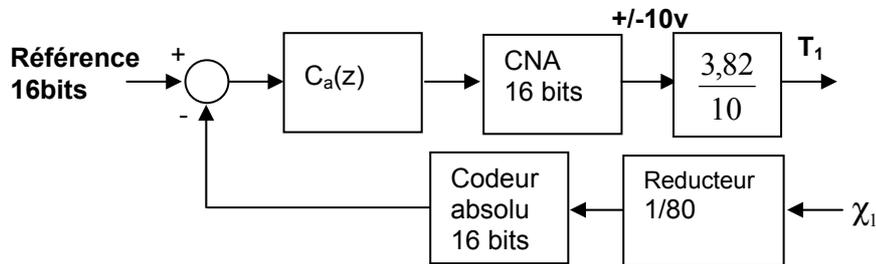
On suppose que la fréquence d'échantillonnage est de $F_e=1\text{kHz}$. On souhaite numériser le correcteur $C_a(p)$ en utilisant la méthode bilinéaire : $p \mid \frac{2}{T_e} \frac{14z^{41}}{12z^{41}}$

Q3.15 A partir de la transformation bilinéaire de $C_a(p)$, mettre le correcteur numérisé

sous la forme $C_a(z) \mid k_z \frac{z^4 c_{1z}}{z^4 c_{2z}}$. Exprimer c_{1z} et c_{2z} en fonction de K_p , a , ϑ_1 et T_e .

Q3.16 Calculer les valeurs numériques de k_z , c_{1z} et c_{2z} .

Q3.17 Donner la nouvelle valeur de k_z en tenant compte du schéma suivant :



Q3.18 Afin de réduire la vitesse de l'axe 1, on utilise un réducteur appelé "Harmonic drive" de rapport 1:80. Quels sont le principe de fonctionnement et les avantages de ce réducteur ?

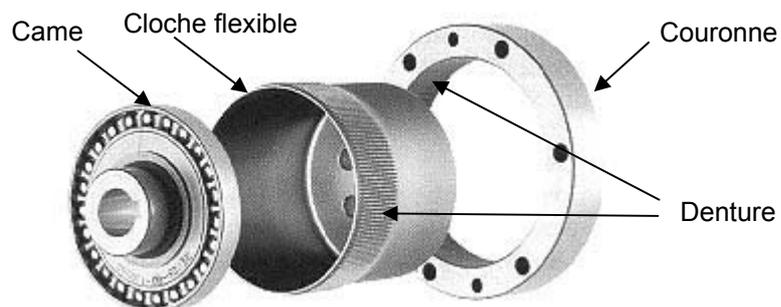


Figure 3.6 : Harmonic Drive

Sur la figure 3.4., vous pouvez distinguer l'action dite "feedforward path" qui est détaillée ci-dessous :

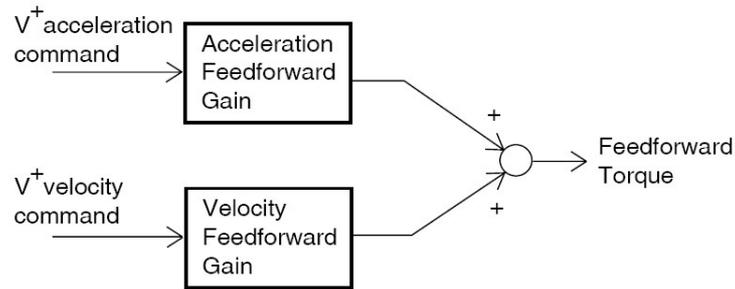


Figure 3.7 : Schéma bloc "feedforward path" Doc. VME Adept

Q3.19 Donner des exemples d'utilisations de ces actions et leurs influences sur le système bouclé.

3.3 MODELISATION COMPLETE DU ROBOT

3.3.1 REPRESENTATION D'ETAT

Dans un fonctionnement normal du robot, il est difficile de négliger les forces centrifuges et de Coriolis, les forces de gravités et les influences mutuelles entre les axes.

Dans ce cas, voici les équations pour les trois premiers axes du robot :

$$\begin{cases} (i_1 + 2i_2 C_2 + i_3) \ddot{\chi}_1 + (i_2 C_2 + i_3) \ddot{\chi}_2 + 2i_2 S_2 (\dot{\chi}_1 \dot{\chi}_2 + \dot{\chi}_2^2) + F_v \dot{\chi}_1 = T_1 \\ (i_2 C_2 + i_3) \ddot{\chi}_1 + i_3 \ddot{\chi}_2 + 4i_2 S_2 (\dot{\chi}_1^2) + F_v \dot{\chi}_2 = T_2 \\ m_3 \ddot{q}_3 + m_3 g + F_v \dot{q}_3 = T_3 \end{cases}$$

Avec $i_1 = \frac{m_1}{3} + m_2 + m_3$, $i_2 = \frac{2m_2}{3} + 2m_3$, $C_2 = \cos(\chi_2)$, $i_3 = \frac{m_2}{3} + m_3$, $S_2 = \sin(\chi_2)$ et $g=9,81 \text{ m.s}^{-2}$.

On note Ψ_{β} et Ψ_{β} les vecteurs des entrées et des sorties et Ψ_{β} le vecteur d'état tels que :

$$\Psi_{\beta} = \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{pmatrix}, \quad \Psi_{\beta} = \begin{pmatrix} \chi_1 \\ \chi_2 \\ q_3 \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad \Psi_{\beta} = \begin{pmatrix} \dot{\chi}_1 \\ \dot{\chi}_2 \\ \dot{q}_3 \\ \chi_1 \\ \chi_2 \\ q_3 \end{pmatrix}$$

Q3.20 Montrer que la représentation d'état du robot peut se mettre sous la forme suivante (un formulaire de calcul matriciel est fourni en annexe 2.2) :

$$\begin{aligned}
 & \Psi \beta_1 \quad \Psi \beta_2 \quad \Psi \beta_3 \quad \Psi \beta_4 \\
 & \Psi \beta_1 \quad \Psi \beta_2 \quad \Psi \beta_3
 \end{aligned}$$

Avec

$$\Psi \beta_1 \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ m_{21} & m_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad \Psi \beta_2 \begin{pmatrix} 4 F_v & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4 F_v & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 F_v & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \Psi \beta_3 \begin{pmatrix} b_1 & 0 & 0 \\ 0 & b_2 & 0 \\ 0 & 0 & b_3 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$\Psi \beta_4 \begin{pmatrix} 4 i_2 S_2 (\dot{\chi}_1 \dot{\chi}_2 + 2 \dot{\chi}_2^2) \\ i_2 S_2 (\dot{\chi}_1^2) \\ 4 m_3 g \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \Psi \beta_5 \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad \Psi \beta_6 \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Donner $b_1, b_2, b_3, m_{11}, m_{12}, m_{21}, m_{22}$ et m_{33} en fonction de i_1, i_2, i_3, m_3 et C_2 .

Pour trouver une représentation d'état conventionnelle, il suffira d'inverser la matrice $\Psi \beta$.

3.3.2 LINEARISATION DU MODELE ET DECOUPLAGE DES AXES

Le système d'équation qui régit les dynamiques du robot fait apparaître des relations non linéaires ($[P]$) et des termes de couplage entre les différentes articulations. Ces termes sont essentiellement dus aux forces centrifuges et aux variations de l'inertie en fonction de la position du robot.

Pour des raisons de compacité, en notant $q = \begin{pmatrix} \chi_1 \\ \chi_2 \end{pmatrix}$, $\Psi \beta_1 = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix}$ et \bar{P} les deux premières lignes de P ; le schéma bloc correspondant au modèle du robot devient (figure 3.8):

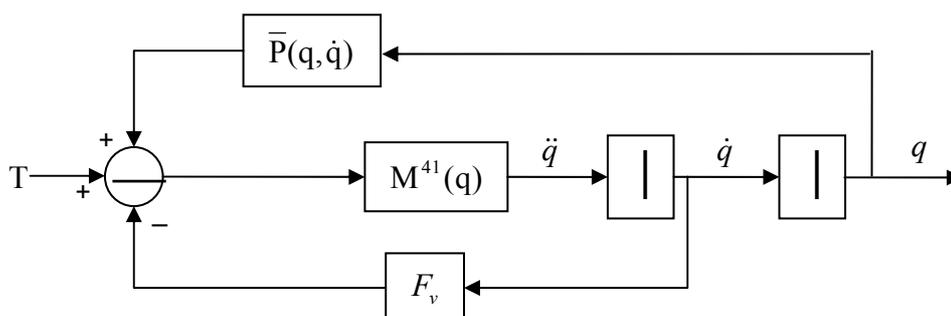


Figure 3.8 : Modèle dynamique du robot

Afin d'obtenir des performances dynamiques en boucle fermée plus importantes que les

techniques développées auparavant, on procède à un premier bouclage qui permet de linéariser et de découpler les dynamiques du robot. Le schéma est fourni sur la figure 3.9.

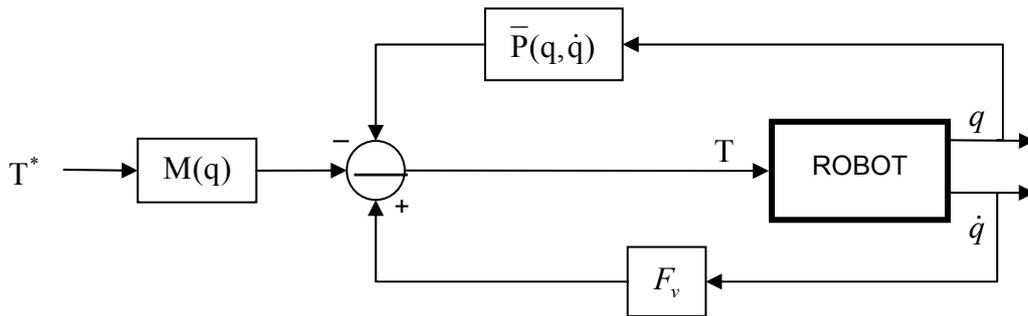


Figure 3.9 : Bouclage linéarisant

Q3.21 Donner la fonction de transfert $H^*(p)$ du système (figure 3.9) $\frac{q}{T^*} | H^*(p)$.

Nous avons donc montré, que dans ce cas, le système en boucle fermée est linéaire. Le correcteur sera plus facile à déterminer.

3.4 ETUDE DE LA GENERATION DE TRAJECTOIRE

La génération de trajectoire sur un robot est primordiale pour assurer les objectifs de contrôle du robot. Il s'agit de calculer les positions articulaires du robot en fonction du temps, de manière à effectuer un déplacement le plus rapide possible. Il faut garantir que l'ensemble des trajectoires des quatre axes commencent et finissent en même temps. Il existe différents types de trajectoires, l'une des plus utilisées est donnée figure 3.10.

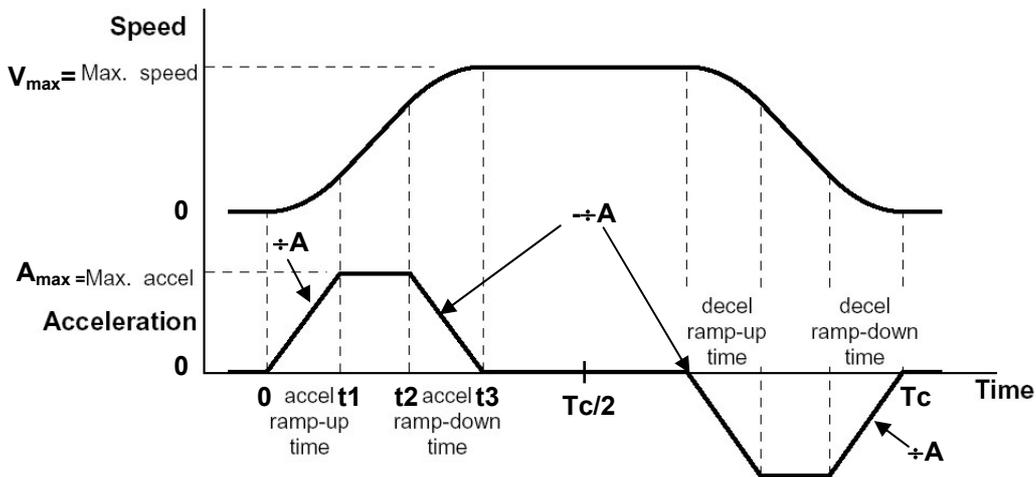


Figure 3.10 : Trajectoire du robot Adept

L'avantage de ce profil d'accélération trapézoïdal est le contrôle à tout moment des dynamiques de l'accélération. A l'opposé, les trajectoires rectangulaires d'accélération peuvent provoquer des dynamiques très importantes. Ces dynamiques élevées peuvent causer des vibrations mécaniques. La minimisation de ces vibrations de structure est primordiale au niveau de la partie terminale du robot. Cela peut affecter le temps de réponse et donc le temps de cycle du robot. Cependant, les trajectoires rectangulaires, pour des structures robustes aux vibrations, donnent des temps de cycle, en général, plus court.

On propose de calculer les temps t_1 , t_2 , t_3 et le temps de cycle indiqués sur la figure 3.8. Cette trajectoire sera générée pour chacun des axes. On définit A_{\max} comme l'accélération maximale, V_{\max} la vitesse maximale, $\div A$ la pente maximale de l'accélération. L'ensemble de la trajectoire est symétrique par rapport à $T_c/2$. Nous raisonnerons sur cette demi-période.

Q3.22 Exprimer t_1 en fonction de A_{\max} et $\div A$.

Q3.23 Déterminer t_2 en fonction de A_{\max} et V_{\max} .

Q3.24 Etablir la relation suivante $t_3 \mid \frac{A_{\max}}{\div A} \ 2 \ \frac{V_{\max}}{A_{\max}}$

Q3.25 Donner la distance parcourue d_{int} au temps t_3 en fonction de A_{\max} , V_{\max} et $\div A$.

On suppose que l'on a atteint la distance finale d_f au temps T_c (temps de cycle).

Q3.26 Exprimer le temps de cycle T_c en fonction de d_f , d_{int} , A_{\max} , V_{\max} et $\div A$.

Q3.27 Soient $d_f = 105^\circ$, $V_{\max} = 360^\circ/\text{s}$, $A_{\max} = 1280^\circ/\text{s}^2$ et $\div A = A_{\max} / 0,01\text{s}$, calculer la valeur de T_c pour une rotation sur l'axe 1.

Le calcul effectué ci-dessus est valable pour chacun des axes. On définit le temps cycle le plus long comme étant le maximum des temps de cycle. Enfin, on impose la valeur de ce temps de cycle à tous les axes. Pour cela, on ajuste les paramètres A_{\max} et/ou V_{\max} et/ou $\div A$.

Q3.28 Exprimer le temps de cycle minimum T_{cmin} en fonction de d_f , A_{\max} , V_{\max} et $\div A$ lorsque l'on obtient une trajectoire triangulaire pour l'accélération.

PARTIE 4 TRAITEMENT D'IMAGES ET COMMUNICATION ETHERNET

4.1 POSITIONNEMENT PAR CAMERA

Dans cette ligne de conditionnement, il y a une camera pour deux robots. La chaîne de conditionnement dispose donc de six caméras. Il s'agit de caméras CCD DVT535C de la société Cognex (les caractéristiques sont fournies en annexe 4.1).

Chaque caméra est disposée en amont de la baie de chaque robot. La caméra a préalablement appris que la couleur du tapis de convoyage est bleu (couleur du fond). Ensuite, après la détection d'une présence de gâteaux par seuillage, la prise de vue est effectuée. La caméra utilise la fonction interne "Blob" qui permet de trier et de filtrer les formes de gâteaux en fonction de leur surface. Cette fonction permet d'obtenir le nombre et le type de gâteaux présents devant la caméra, avec leurs coordonnées (X,Y, τ) dans le repère de la caméra. Ces informations sont ensuite envoyées par réseau Ethernet au contrôleur du robot.

Q4.1 Que signifie le sigle CCD ?

La matrice CCD se présente comme une grille où chaque rectangle élémentaire est un pixel (voir figure 4.1).

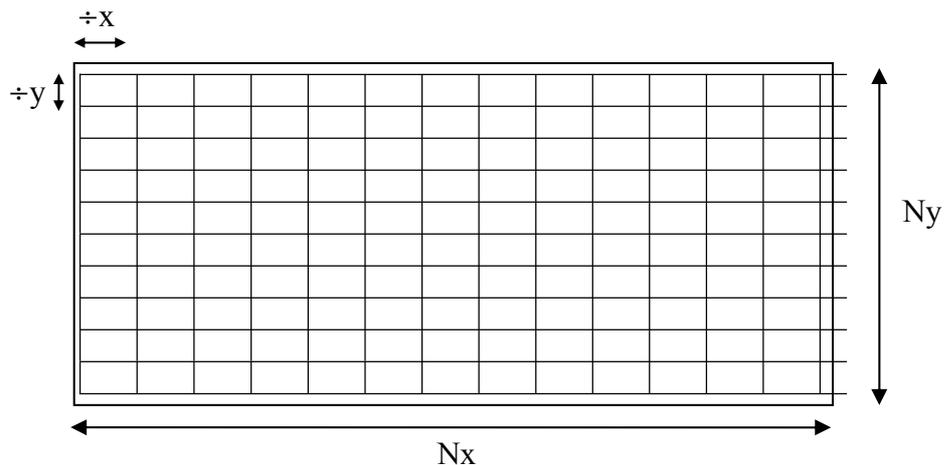


Figure 4.1 : Modèle d'une matrice CCD

La zone à visionner (plan de l'image) sur la caméra représente une surface de 800x400 mm et est situé à 1 mètre. Cette zone correspond à la surface contenant une rangée d'au maximum six gâteaux. Les relations entre les coordonnées dans le repère de la caméra et ceux de la scène sont les suivantes :

$$X_p \mid G_x \frac{x}{z}$$

$$Y_p \mid G_y \frac{y}{z}$$

où X_p et Y_p sont les coordonnées dans le repère de la caméra en pixels. x est la largeur, y la hauteur et z la distance entre le capteur CCD et le tapis.

Q4.2 En utilisant l'annexe 4.1, donner les valeurs numériques de G_x et G_y représentant les agrandissements suivant l'axe x et l'axe y.

Avec ces deux données et la position de la caméra, après quelques translations et rotations comme cela est traité dans la partie 2, on est capable de fournir au robot la position du gâteau dans le référentiel de base du robot.

4.2 TRAITEMENT D'IMAGES

Chaque image est numérisée et l'on obtient une valeur numérique proportionnelle au flux lumineux pour chaque pixel. Dans le cas d'images couleurs, la plupart du temps, on numérise chaque pixel selon les composante RVB (Rouge-Vert-Bleu). Pour des raisons de simplicité, nous traiterons uniquement une zone de l'image de 7X5 pixels (imagerie) en niveau de gris. Le tapis est alors considéré comme noir. Dans ce cas, chaque pixel de coordonnées (x,y) sera défini par une intensité notée $I(x,y)$.

$I(x,y)$ vaut zéro pour le noir et 255 pour le blanc.

La première étape de traitement de l'image est la détection des contours afin d'extraire l'image de chaque gâteau. On applique en premier une méthode du Gradient afin d'extraire les arrêtes du contour. La sortie du filtre est égale à cette relation :

$$I_{gx}(x,y) = I(x,y) - I(x-1,y)$$

Cette relation correspond au gradient en x.

On supposera que les pixels situés en dehors de l'imagerie sont noirs.

Q4.3 Effectuer le traitement par la méthode du gradient en x sur l'image du document réponse DR4.1. et indiquer le résultat sur le document réponse DR4.2.

Q4.4 Déduire la relation pour calculer le gradient en y, noté $I_{gy}(x,y)$. Appliquer le gradient en y sur l'image du document réponse DR4.1 et indiquer le résultat sur le document réponse DR4.3.

Le traitement suivant consiste à déterminer si les pixels appartiennent au contour de l'objet. Ce traitement se fait par seuillage. Le pixel courant appartient au contour si $|I_{gx}(x,y)|$ ou $|I_{gy}(x,y)| \geq \text{seuil}$. Le résultat du seuillage est alors le suivant:

$$\langle S(x,y)=255 \text{ si } |I_{gx}(x,y)| \text{ ou } |I_{gy}(x,y)| \geq \text{seuil} .$$

$$\langle S(x,y)=0 \text{ sinon.}$$

Q4.5 Le seuil est fixé à la valeur 70, indiquer la valeur de l'intensité des pixels après l'opération de seuillage sur le document réponse D.R.4.4.

Afin de fournir le type de gâteau et ses coordonnées, il faut ensuite calculer la surface du gâteau et son barycentre.

Q4.6 Comment calculer la surface du gâteau en pixels ?

Q4.7 Donner les formules des positions x_G et y_G (en pixels) du barycentre G en fonction n_p le nombre total de pixels, x_i la position du pixel i en x , y_i la position du pixel i en y et I_i l'intensité du pixel i .

Q4.8 Appliquer ces formules à l'image après seuillage du document réponse D.R.4.4 et donner la position du barycentre.

4.3 RESEAU ETHERNET

La gestion de l'ensemble de l'installation est effectuée par un automate siemens de type CPU 315DP. Cet automate est associé à un coupleur Ethernet CP314-1, une interface réseau Profibus et une passerelle Profibus DP/Asi. L'ensemble de l'installation est représenté sur l'annexe 4.2.

L'automate se charge d'envoyer les trames Ethernet aux robots. Onze trames sont nécessaires pour l'envoi des coordonnées et du type de gâteau. On peut alors gérer jusqu'à 50 gâteaux simultanément. Une trame indique les paramètres de la campagne et le nombre de rangées de gâteaux. Une dernière trame indique aux robots, le nombre de cartons de conditionnement et le nombre de gâteaux par carton.

Le contrôleur du robot dispose d'une interface de communication Ethernet. La caméra dispose d'une interface Ethernet intégrée. Toutes les interfaces Ethernet d'une baie de robot sont reliées ensemble au niveau de chaque baie. Ensuite, chaque baie de robot est connectée avec les autres baies comme indiquées en annexe 4.3.

Q4.9 Sur un réseau Ethernet, quelles différences existe-t-il entre un concentrateur (hub), un pont (bridge) et un commutateur (switch).

Q4.10 Indiquer le type et le nombre d'éléments nécessaires à la connexion des appareils communicants Ethernet. On indiquera pour chacun le nombre de voies.

Q4.11 Donner le type de connecteurs utilisés pour relier les câbles et les interfaces réseaux.

Les interfaces réseaux des éléments communicants sont du type 10/100 Mb/s. La dimension totale de la chaîne est de 20 mètres. Le local technique (automate) est situé au milieu de la chaîne.

**Q4.12 Indiquer la catégorie et la classe de câbles utilisables sur cette installation ?
Voir annexe 4.4 pour un extrait des normes sur les câbles.**

Q4.13 Lister l'ensemble des adresses IP de ce réseau.

Q4.14 A quelle classe appartiennent ces adresses de réseau ?

Dans tout réseau de communication Ethernet (hors adressage dynamique), il faut configurer au minimum l'adresse IP et le masque de sous réseaux.

Q4.15 Quelle est l'utilité de ce masque de sous réseau ?

Ce masque de sous réseau est constitué de quatre octets.

Q4.16 En analysant les adresses IP choisies pour ce réseau, indiquer la valeur la plus basse possible du masque de sous réseau.

ANNEXE 1.1 : Documentation moteur synchrone Yaskawa

Table 3-1. Yaskawa Sigma I Motor Specification

Adept Part Number	100W 43405-00100	200W 43405-00200	400W 43405-00400	750W 43405-752	Units
Rated Power	100	200	400	600	W
Rated Torque	0.318	0.637	1.27	2.39	N-m
Peak Torque	0.96	1.91	3.82	5.1	N-m
Continuous Current	0.87	2	2.6	4.4	Amp rms
Max Current	2.8	6.2	8	10	Amp rms
Rated Speed	3000	3000	3000	3000	rpm
Max Speed	4500	4500	4500	4500	rpm
Torque Constant	0.408	0.355	0.533	0.590	N*m/Amp rms
Moment of Inertia	0.04	0.123	0.191	0.671	kg*m ² x 0.0001
Weight w/Encoder	0.5	1.1	1.7	3.5	kg
Weight w/Encoder/Brake	0.5	1.6	2.2	4.5	kg
Radial Load Rating	78	245	245	343	N
Thrust Load Rating	54	74	74	98	N
Shaft Diameter	8	14	14	16	mm
Mounting Flange	40	60	60	80	mm
Length	98	100	128	166	mm
Length w/Brake	138.5	139.5	167.5	210.5	mm
Operating Temp	0 to 40	0 to 40	0 to 40	0 to 40	deg C
Winding Class	B	B	B	B	
Max Winding Temp	130	130	130	130	deg C
Elec Time Constant	1.9	5.4	6.4	13	ms
Mech Time Constant	0.5	0.4	0.3	0.3	ms
Power Rate	25.4	32.8	84.6	85.1	kW/s
Resistance	6.99	1.34	1.23	0.45	Ohms/phase (@ 120C)
Inductance	13.2	7.2	7.9	5.7	mH/phase (@ 1kHz)

ANNEXE 2.1 (page 1/3) : Documentation Robot Adept partie 2

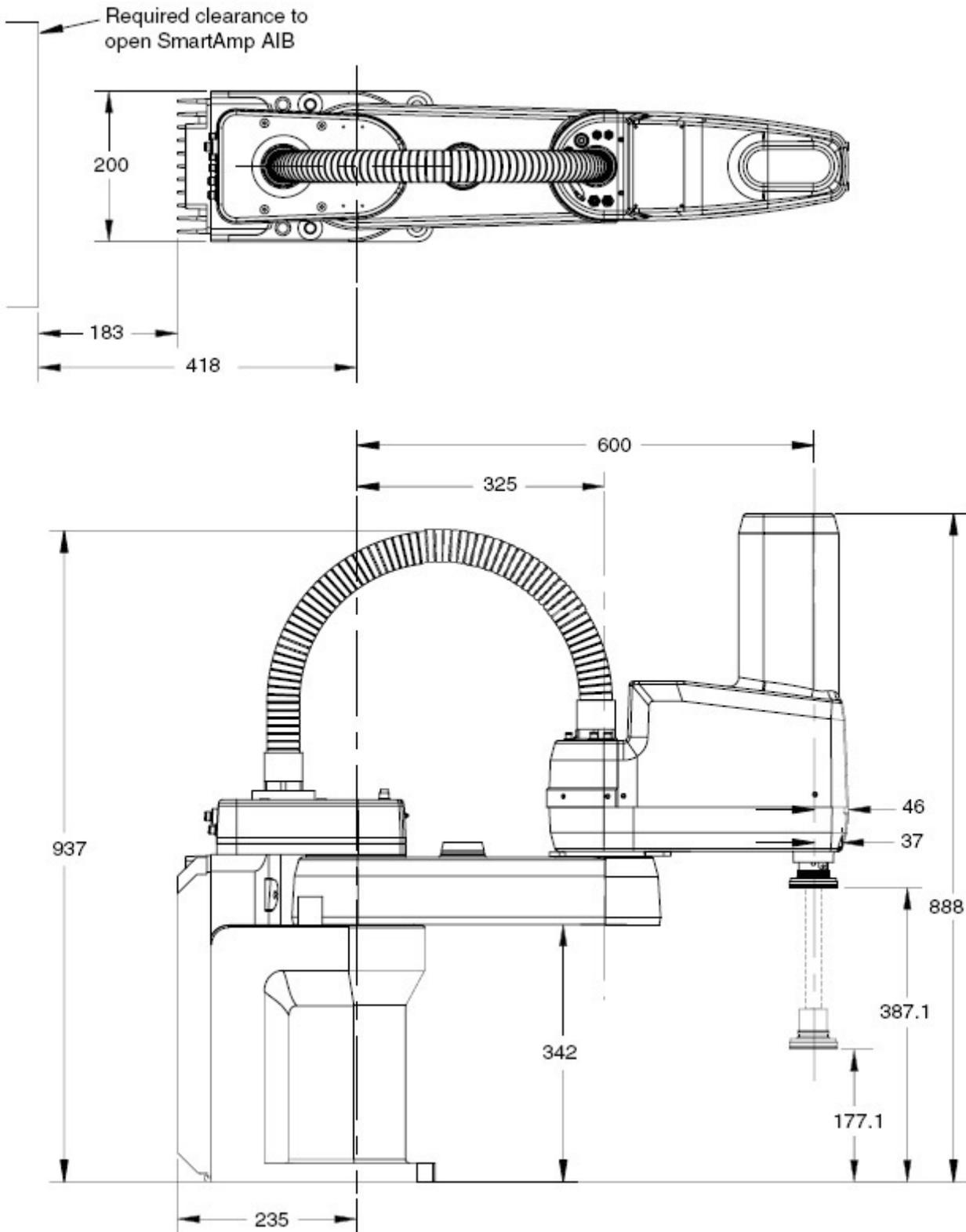


Figure 8-1. Adept Cobra s600 Robot Top and Side Dimensions

ANNEXE 2.1 (page 2/3) : Documentation Robot Adept partie 2

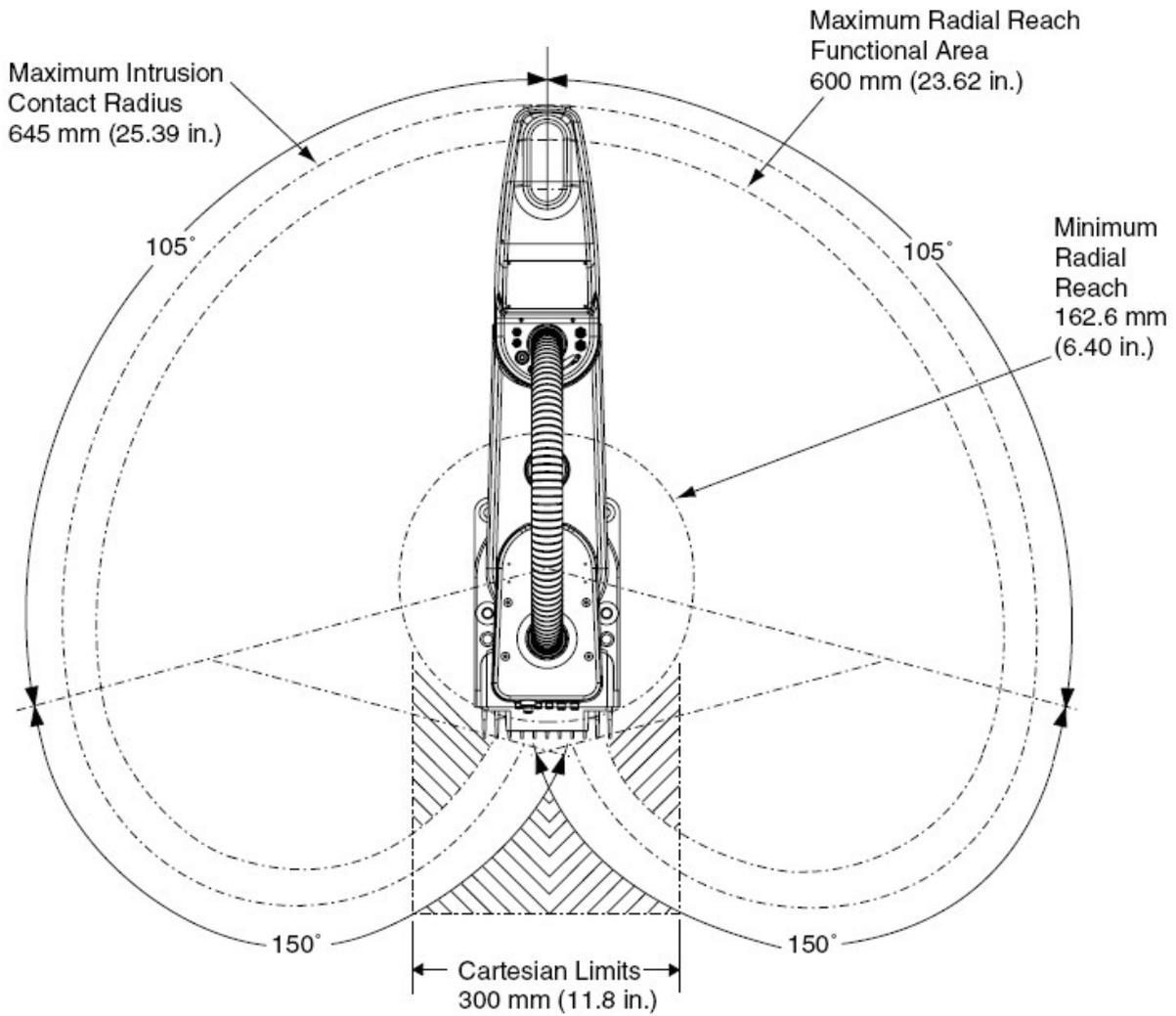


Figure 8-7. Adept Cobra s600 Robot Working Envelope

ANNEXE 2.1 (page 3/3) : Documentation Robot Adept partie 2

Table 8-1. Adept Cobra s600 Mechanical Specifications

Reach	600 mm (23.6")
Footprint	272mm (10.7 in) x 200 mm (7.9 in)
Payload	2.0 kg (4.4 lb) - rated
	5.5 kg (12.1 lb) - maximum
Moment of Inertia	Joint 4 - 450 kg-cm ² (150 lb-in ²) - max
Downward Push Force (no load)	35 kg (77 lb) - maximum
Adept Cycle - Burst (no J4 rotation) ^a	0 kg - 0.42 sec
	2 kg - 0.42 sec
	5.5 kg - 0.54 sec
Adept Cycle - Burst (180° J4 rotation)	0 kg - 0.42 sec
	2 kg - 0.42 sec
	5.5 kg - 0.59 sec
Adept Cycle - Sustained ^a (no J4 rotation)	0 kg - 0.42 sec at 20°C, 0.48 sec at 40°C
	2 kg - 0.45 sec at 20°C, 0.51 sec at 40°C
	5.5 kg - 0.57 sec at 20°C, 0.64 sec at 40°C
Adept Cycle - Sustained (180° J4 rotation)	0 kg - 0.42 sec at 20°C, 0.48 sec at 40°C
	2 kg - 0.45 sec at 20°C, 0.51 sec at 40°C
	5.5 kg - 0.80 sec at 20°C, 0.86 sec at 40°C
Repeatability	(x, y): ±0.017 mm (±0.00067")
	(z): ±0.003 mm (±0.00012")
	Theta: ±0.019°
Joint Range	Joint 1: ±105°
	Joint 2: ±150°
	Joint 3: 210 mm (8.3")
	Joint 4: ±360°
Joint Speed (maximum)	Joint 1: 360°/sec
	Joint 2: 672°/sec
	Joint 3: 1,100mm/sec (43 in/sec)
	Joint 4: 1200°/sec
Encoder type	Absolute
Robot Brakes	Joints 1, 2, and 3: Dynamic
	Joint 4: Electric
Airline pass-through (quantity)	6 mm diameter (2), 4 mm diameter (3)

ANNEXE 2.2 : ELEMENTS DE CALCUL MATRICIEL

Produit d'un vecteur et d'une matrice

$$\begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ax + by + cz \\ dx + ey + fz \\ gx + hy + iz \end{pmatrix}$$

ex : $\begin{pmatrix} 1 & 3 & 9 \\ 5 & 7 & 6 \\ 10 & 41 & 48 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 2 \\ 4 \\ 8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 86 \\ 86 \\ 448 \end{pmatrix}$

Produit de deux matrices

$$\begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & 9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1a + 2b + 3c & 2a + 5b + 8c & 3a + 6b + 9c \\ 1d + 2e + 3f & 2d + 5e + 8f & 3d + 6e + 9f \\ 1g + 2h + 3i & 2g + 5h + 8i & 3g + 6h + 9i \end{pmatrix}$$

ex : $\begin{pmatrix} 1 & 3 & 9 \\ 5 & 7 & 6 \\ 10 & 41 & 48 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 5 & 2 \\ 5 & 7 & 6 \\ 0 & 41 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 16 & 17 & 29 \\ 40 & 68 & 58 \\ 5 & 51 & 6 \end{pmatrix}$

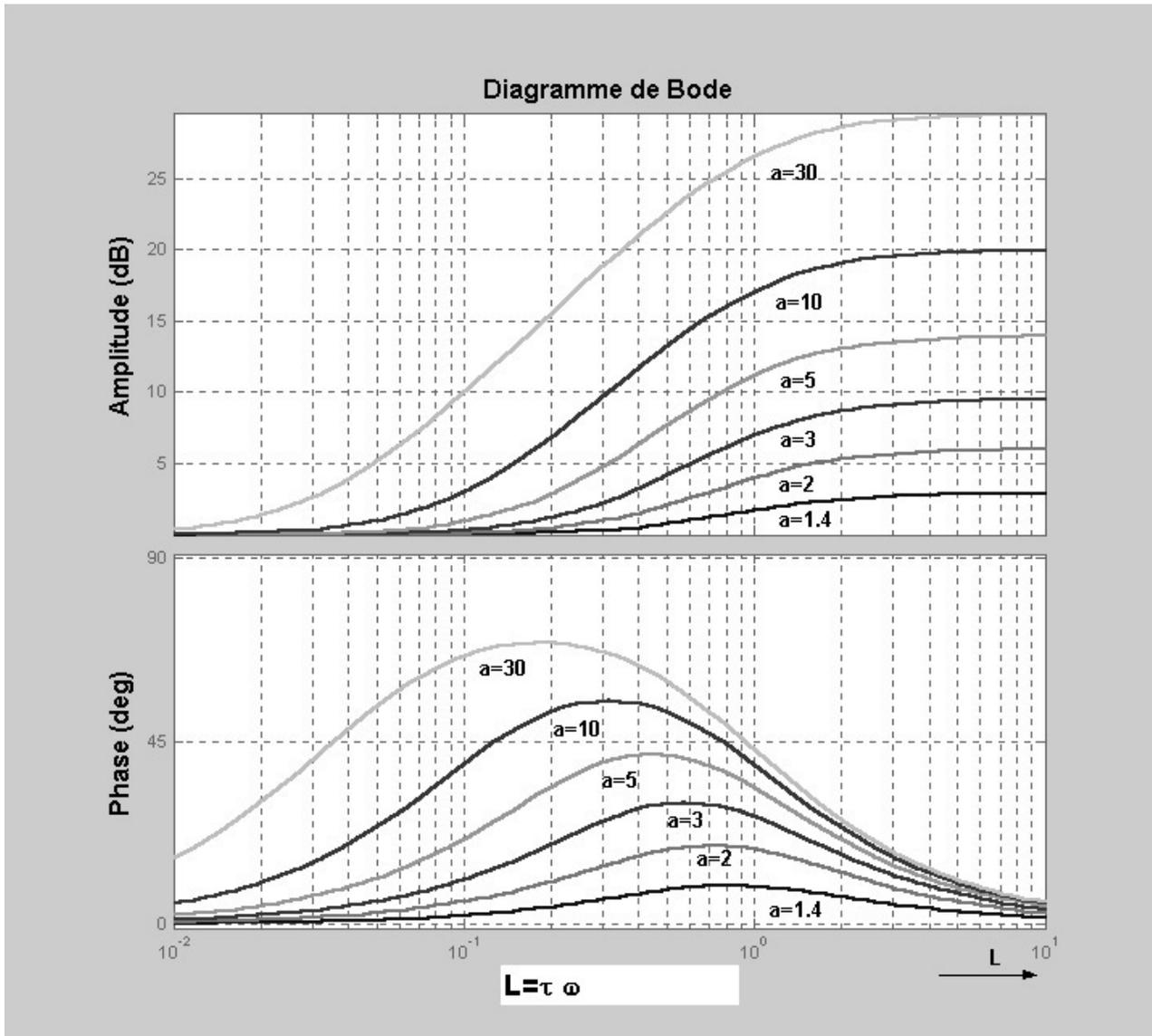
Produit de plusieurs matrices :

$$\Psi \beta \beta \beta \beta \Psi \beta \beta \beta \beta$$

ANNEXE 3.1 : Courbes de gain et de phase du correcteur à avance de phase.

Caractéristiques pour un correcteur à avance de phase :

$$C(p) \mid \frac{12 a \tau p}{12 \tau p} \quad \text{avec} \quad \tau \omega \mid L$$



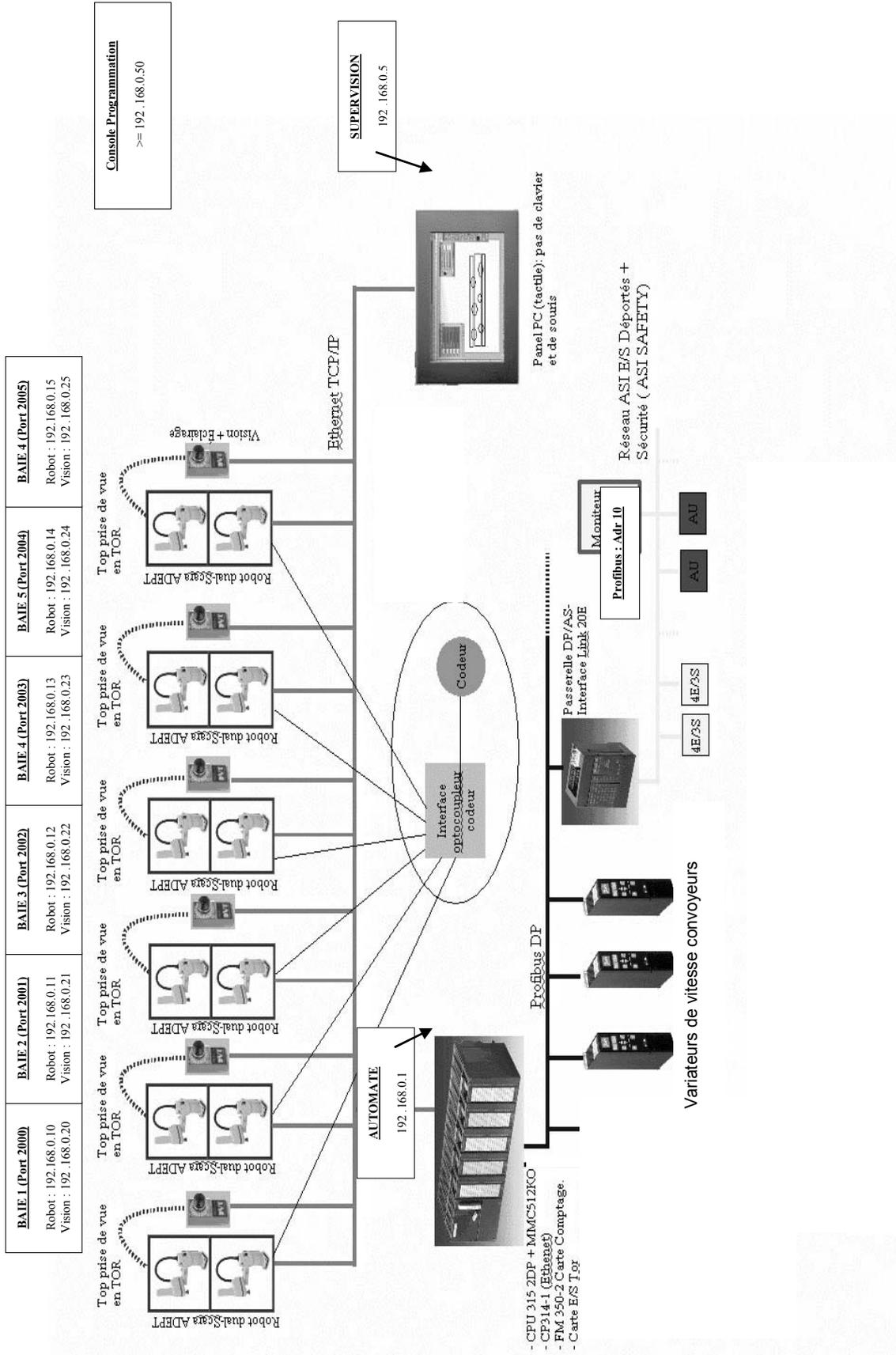
ANNEXE 4.1. : caractéristiques caméra DVT 535C

Color Vision Sensors

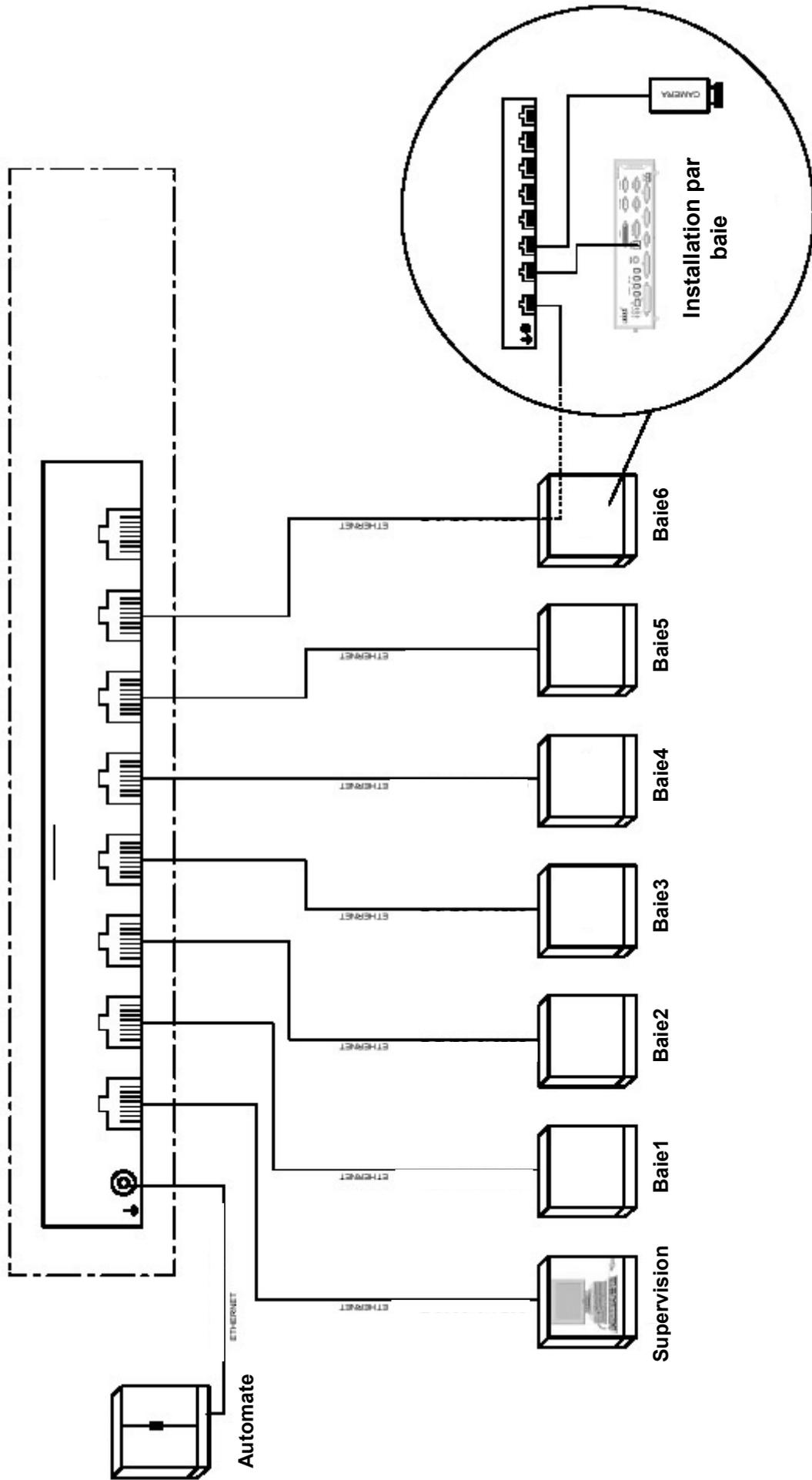


		STANDARD RESOLUTION (INCREASING ORDER OF PERFORMANCE)		HIGH RESOLUTION	ID READER	LINE SCAN
		535C	545C	554C	XS	LS
Performance Multiplier	Average overall performance vs. a Model 535C	1X	4X	4X	6X	6X
Memory	Firmware & Job Storage	16MB	16MB	16MB	16MB	16MB
Camera	Resolution	640 x 480	640 x 480	1280 x 1024	640 x 480	2048 x 1
	Imager Size	1/3-inch CCD	1/4-inch CCD	1/2-inch CCD	1/3-inch CCD	1-inch CMOS
	Color	Yes	Yes	Yes	No	No
	Acquisition Rate (frames per second)	23fps	30fps	8fps	75fps	18k line per sec
	Partial Image Acquisition	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Protection Rating	IP51	IP51	IP51	IP51	IP51
Display Options	SmartLink to VGA	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
I/O Options	Trigger/No. of High-speed Outputs	8	8	8	8	8
	I/O Breakout/Expansion Modules	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Ethernet I/O Support (up to 512in/ 512out)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Communication Options	Ethernet & RS232 (with optional Ethernet to serial converter CON-ETS)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Lighting	Integrated LED Lighting Available	Yes	Yes	Yes	Yes	No
Application Development	Intellect 1.3 or higher required	Yes ³	No	No	No	Required for continuous mode operation
	Compatible with FrameWork	Yes	Yes	Yes	Yes	No
Lens Mount	C or CS	Both	Both	Both	Both	Both
Vision Tool Support	Preprocessing	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Positioning	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Counting	Yes	Yes	Yes	No	Yes
	Measurement	Yes	Yes	Yes	No	Yes
	Identification (modeling)	Yes	Yes	Yes	No	Yes
	Readers (1D, 2D, OCR/OCV) ¹	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Flaw Detection	Yes	Yes	Yes	No	Yes
	Script	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Application Specific	Yes	Yes	Yes	No	Yes
Power Consumption	Voltage Requirement	24VDC+/-10%	24VDC+/-10%	24VDC+/-10%	24VDC+/-10%	24VDC+/-10%
	Maximum Current (Not including lighting)	300mA	300mA	300mA	300mA	300mA
Max Oper.Temp.	Camera	45 deg C	45 deg C	45 deg C	45 deg C	45 deg C
Approvals	CE, RoHS	CE, RoHS	CE ²	CE ²	CE ²	CE ²

ANNEXE 4.2 : mise en réseau de l'ensemble de l'installation



ANNEXE 4.3 : Connexion du réseau Ethernet



ANNEXE 4.4 (page 1/3) : Extrait des normes de câblage

Normalisation des câblages

NORME ISO IS 11801 - STANDARD EIA/TIA568

Câblage et normalisation

Europe	USA	International
EN 50173	EIA/TIA 568 SP 2840	ISO/CEI 11801

L'EIA/TIA a défini le standard EIA/ TIA 568, composé de bulletins techniques, définissant les composants à utiliser:

- TSB 36A : câbles à paires torsadées 100Ω UTP et FTP
- TSB 40A : connectique RJ45, raccordement par contacts CAD
- TSB 53 : câbles blindés 150Ω et connecteur hermaphrodite.

Les paramètres principaux pris en compte sont : Impédance, Paradiaphonie, Atténuation et ACR (Ratio Signal/Bruit).

- **Catégorie 3** : Utilisation jusqu'à 16 MHz. Ethernet 10Mbit/s, Token Ring 4 Mbit/s, Localtalk, téléphonie, etc.
- **Catégorie 4** : Utilisation jusqu'à 20 MHz. Ethernet 10Mbit/s, Token Ring 4 et 16 Mbit/s, Localtalk, téléphonie.
- **Catégorie 5** : Utilisation jusqu'à 100 MHz. Ethernet 10 et 100Mbit/s, Token Ring 4/16 Mbit/s, ATM 155Mbit/s.

Norme ISO/IEC 11801

L'ISO/IEC a voté en juillet 94 la norme IS 11801 qui définit une installation complète (composants et liens) et valide les câbles 100Ω ou 120Ω, ainsi que le 150Ω.

L'ISO 11801 reprend les catégories de l'EIA/TIA mais avec des valeurs d'impédance, de paradiaphonie et d'atténuation qui sont différentes suivant les types de câbles. L'ISO 11801 définit également des classes d'applications.

Différences entre ISO 11801 et EIA/TIA 568 :

Standard	Câbles	Prise	Brassage défini*	Fibre optique	Connecteur optique	Classes d'applications
EIA/TIA 568 TSB 36/ TSB 40/ TSB 53	100Ω 150Ω	RJ45 Data	CAD+ RJ45	50/125μ 62,5/125μ	ST et SC	
ISO/IEC IS 11801	100Ω 120Ω 150Ω	RJ45 Data	CAD+ RJ45	50/125μ 62,5/125μ	ST et SC	A, B, C, D, optique

* seul le brassage par RJ45 est défini dans l'EIA/TIA 568 et dans ISO 11801. Les modules et sucettes ne sont pas définies.

Médias recommandés pour le précâblage

Horizontal : paire torsadée, fibre optique si nécessaire.

Bâtiment (rocade) : paire torsadée pour la téléphonie et les données bas débit (RS 232, etc.), fibre optique pour les données moyens et hauts débits.

Campus : fibre optique pour l'ensemble des applications, paire torsadée pour la téléphonie, GTB, etc. L'utilisation du connecteur RJ45 (ISO 8877) est définie par l'ISO IS 11801 et l'EIA/TIA 568 TSB 40.

Les 4 paires d'un câble doivent être connectées sur la même prise.

L'affectation des paires par rapport aux pins du connecteur RJ45 fait l'objet de deux définitions : T568A et T568B.

Un rayon de courbure au moins égal à 4 fois le diamètre du câble doit être maintenu pendant la pose.

Une fois posé, le rayon de courbure doit être d'au moins 8 fois le diamètre du câble.

Les torsades doivent être maintenues jusqu'à 13 mm du point de raccordement pour une connexion Cat.5 .

ANNEXE 4.4 (page 2/3) : Extrait des normes de câblage

Normalisation des câblages

Certification INDEPENDANTE !

L'utilisateur doit exiger que le produit qu'il achète soit certifié par un organisme indépendant reconnu, équipé pour pouvoir effectuer l'ensemble des tests définis par l'ISO.

La préférence doit être accordée à des produits certifiés par des organismes tels que DELTA-EC, UL, ETL, 3P ou SGS dont les certifications sont internationalement reconnues.

Classification des applications

Quatre classes d'applications ont été identifiées pour la définition de l'ISO 11801.

Classes	Applications
Classe A	Applications voix et basse fréquence jusqu'à 100 kHz
Classe B	Applications Data à faible débit jusqu'à 1MHz
Classe C	Applications Data haut débit jusqu'à 16 MHz
Classe D	Applications Data très haut débit jusqu'à 100 MHz

NB : ne pas confondre Classe d'Application et Catégorie de produit ! Il n'y a pas de corrélation directe entre MHz et Mbit/s.

Liens et classes d'applications

La norme ISO 11801, définit la distance maximum (sans introduction de répéteurs, amplificateurs de signal, etc.) en fonction du média utilisé pour le lien et de la classe d'application :

Répartiteur Campus	<----->	répartiteur bâtiment	<----->	répartiteur étage	<----->	poste
	Rocade FO Rocade Cuivre 1500m maxi		Rocade FO Rocade Cuivre 500m maxi		Liaison Cuivre 90m maxi	

Catégorie du média	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Lien Optique
Catégorie 3	2km	500m	100m*		
Catégorie 4	3km	600m	150m		
Catégorie 5	3km	700m	160m	100m*	
Paire Torsadée 150Ω	3km	1km	250m	150m	
FO Multimode	ND	ND	ND	ND	2km
FO Monomode	ND	ND	ND	ND	3km

* 100 m = 90 m de câble horizontal + 10m de cordons de liaison et brassage de la même catégorie

Composants, liens et installations Catégorie 5

L'EIA/TIA 568 définit une installation Cat 5 comme étant constituée exclusivement de composants Cat 5.

L'ISO 11801 définit des produits Cat 5 et des liens Classe D.

Un lien Classe D est composé de composants catégorie 5, installés suivant les spécifications ISO, et ayant après installation les caractéristiques définies dans l'ISO 11801.

Avant de valider un lien classe D, ou une installation, il est indispensable de s'assurer que chaque composant est catégorie 5.

Norme Européenne EN50173

La norme européenne EN 50173 est dérivée de l'ISO 11801, dont elle reprend les aspects essentiels.

Certification d'un Câblage Catégorie 5

L'EIA/TIA a publié TSB 67 sur la mesure des installations à base de paires torsadées.

Le TSB67 spécifie pour la mesure du lien de base et le canal, les paramètres à mesurer sur chantier et les niveaux de précision des instruments utilisés.

Les mesures doivent être faites aux deux extrémités du lien, si possible avec un testeur bidirectionnel (bi-next, two-way, etc).

La connectique du testeur, ne doit pas être prise en compte dans la chaîne de mesure.

ANNEXE 4.4 (page 3/3) : Extrait des normes de câblage

Normalisation des câblages

L'impédance et le return-loss ne sont pas pris en compte pour la certification du lien. Les testeurs de chantier actuels ne permettent pas une mesure fiable de ces paramètres**.

Par ailleurs, la mesure des liens courts (- de 15m) pose des problèmes** aux testeurs actuels. Un standard concernant la mesure des liens courts et des cordons de brassage est en préparation à l'EIA/TIA.

** Ceci peut conduire à déclarer 'MAUVAIS' un lien qui est 'BON' alors que la mesure est inexacte.

ATM 155 : ATM à 155 Mbit/s utilise une bande passante d' environ 62,5 MHz. Il ne faut pas faire d'amalgame entre MHz et Mbit/s. Le test des liens pour ATM ne pose donc aucun problème aux testeurs Cat5 disponibles sur le marché.

Il n'existe pas encore de standard définissant les paramètres à mesurer ni les caractéristiques des appareils de test au delà de 100MHz.

Nouveaux paramètres à mesurer

L'EIA/TIA TSB 67 a défini en 1997 de nouveaux paramètres à mesurer, lors de la certification d'un câblage

- Temps de propagation
- Ecart de temps de propagation des signaux sur les quatre paires d'un câble (Skew Delay).
- Paradiaphonie Power Sum

Ces paramètres ont une très grande importance lorsque l'on évolue vers les réseaux hauts débits (100BaseT4, Gigabit Ethernet ou ATM) transmettant sur 2, 3 ou 4 paires.

Paradiaphonie Power Sum : valeur de paradiaphonie prenant en compte la diaphonie générée par l'ensemble des paires d'un câble. Auparavant on caractérisait un câble par la valeur mesurée entre la plus mauvaise combinaison de paires sans tenir compte des paires adjacentes.

CATEGORIES 6 & 7 - GIGABIT

Le SC25/WG3 de l'ISO a entrepris, en septembre 97 la révision de la norme 11801 pour les fréquences au-delà de 100MHz autour de deux nouvelles catégories de composants et de classes d'installation. La publication du premier projet(draft) est envisageable dans le cours de l'année 1998. Des produits Cat6 à 200MHz et Cat7 à 500MHz permettront la réalisation de liens Classe E et F. Pour la catégorie 6/Classe E, le connecteur retenu pour l'ensemble des applications est le RJ45. Pour la catégorie 7/Classe F, un nouveau connecteur doit être spécifié. Si les composants connectique doivent être combinés, le couple "plug+prise" doit offrir la performance minimum. Parmi les solutions envisagées pour la catégorie 7 on envisage l'utilisation d'un nouveau connecteur à 4 chambres (blindées).

On prévoit que le câble spécifié sera un câble 100Ω :

- pour la catégorie 6 : UTP, FTP ou STP.
- pour la catégorie 7 : câble blindé par paires (PIMF).

Les spécifications envisagées pour la catégorie 6 et 7 sont bien plus sévères que les caractéristiques des produits ayant pris la désignation commerciale 'Gigabit...'.

En absence de normes, qualifier certains produits de Catégorie 6 et Catégorie 7 est abusif.

Cependant, certains de ces produits constituent d'ores et déjà un bon choix pour un câblage Classe D, car ils offrent entre 1 et 100MHZ un niveau d'ACR supérieur aux minis définis pour la Catégorie 5 ou la classe D.

Les Catégorie 6 et 7 sont-elles prévues pour supporter Gigabit Ethernet ?

L'objectif est que les nouvelles catégories aient une compatibilité descendante.

Gigabit Ethernet (IEEE 802.3ab) est clairement positionné pour fonctionner sur des liens Cat5 ou Classe D, sur 4 paires. Si le comité chargé de définir l'IEEE 802.3ab atteint ses objectifs, Gigabit Ethernet fonctionnera donc sur les Catégories 5, 6 et 7.

CABLAGE 568 A ET B

EIA 568A		EIA 568B	
1 - T3 - Blanc-Vert	5 - T1 - Blanc-Bleu	1 - T2 - Blanc-Orange	5 - T1 - Blanc-Bleu
2 - R3 - Vert	6 - R2 - Orange	2 - R2 - Orange	6 - R3 - Vert
3 - T2 - Blanc-Orange	7 - T4 - Blanc-Marron	3 - T3 - Blanc-Vert	7 - T4 - Blanc-Marron
4 - R1 - Bleu	8 - R4 - Marron	4 - R1 - Bleu	8 - R4 - Marron

Académie : _____ Session : _____
 Concours : _____ Spécialité/option : _____ Repère de l'épreuve : _____
 Intitulé de l'épreuve : _____
 NOM : _____ Prénoms : _____ N° du candidat : _____
(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

A12-6N

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

Document réponse partie 1

Documents réponses partie 4

D.R.4.1: Image originale en niveau de gris

$I(x,y)$	1	2	3	4	5	6	7	x
1	1	2	5	6	6	7	2	
2	4	9	70	74	65	9	3	
3	2	66	245	250	235	65	5	
4	6	55	249	255	242	52	7	
5	5	11	101	140	140	8	4	
	y							

D.R.4.2: Image traitée par gradient en X

$I_{gx}(x,y)$	1	2	3	4	5	6	7	x
1								
2								
3								
4								
5								
	y							

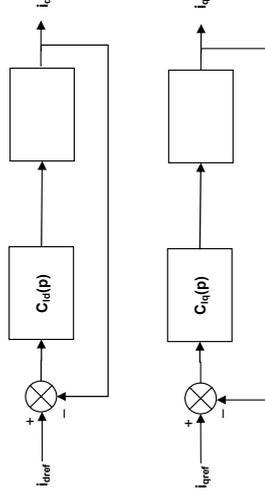
D.R.4.3: Image traitée par gradient en Y

$I_{gy}(x,y)$	1	2	3	4	5	6	7	x
1								
2								
3								
4								
5								
	y							

D.R.4.4: Décision de contour

$S(x,y)$	1	2	3	4	5	6	7	x
1								
2								
3								
4								
5								
	y							

D.R. 1.1 : Schémas blocs du contrôle vectoriel de i_d et de i_q



NE RIEN ÉCRIRE

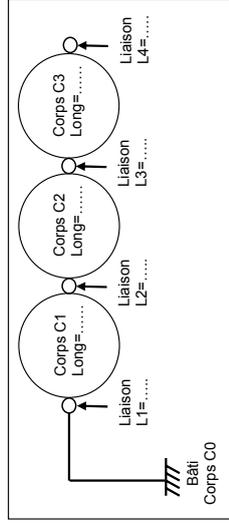
DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

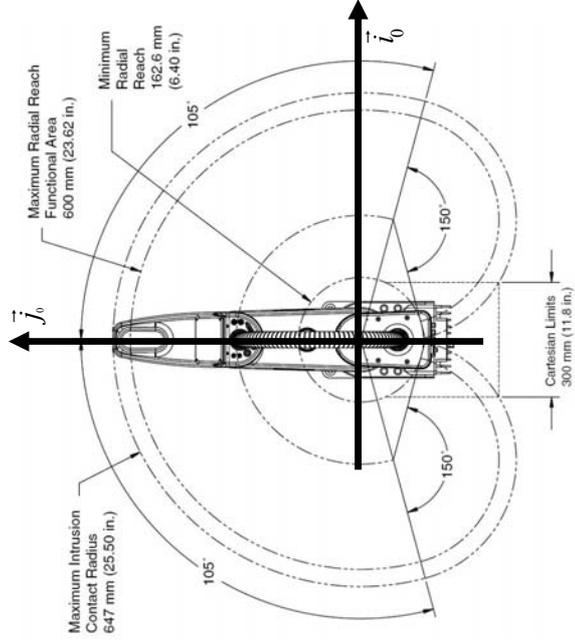
DANS CE CADRE

Documents réponses partie 2

D.R. 2.1 : Chaîne cinématique du bras manipulateur SCARA



D.R. 2.2 : Modèle inverse du robot SCARA



Document réponse partie 3

D.R. 3.1 : Diagramme de Bode de la boucle ouverte $H(p)$

