

SESSION 2014

AGRÉGATION CONCOURS EXTERNE

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

**Option : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR
ET INGÉNIERIE ÉLECTRIQUE**

**MODÉLISATION D'UN SYSTÈME, D'UN PROCÉDÉ
OU D'UNE ORGANISATION**

Durée : 6 heures

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

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 : 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.

A. MISE EN SITUATION

Contexte de l'étude et introduction

Depuis plusieurs années déjà se développent dans le monde, et en particulier en France, des thérapies destinées à restaurer, au moins partiellement, une activité visuelle dans le cas de pathologies rétinienne. En effet, de nombreuses cécités résultent d'une dégénérescence des photorécepteurs de la rétine, lesquels sont les cellules sensibles aux rayons lumineux. Une stratégie possible de réhabilitation concerne la mise en œuvre d'implants rétiniens.

Dans l'œil, la lumière qui atteint la rétine est transformée en signaux électriques par les photorécepteurs (cônes et bâtonnets). Ensuite, un réseau neuronal assez complexe va traiter ces signaux électriques pour transmettre au cerveau, au niveau du cortex visuel, des informations concernant la luminosité, le contraste, la couleur, le mouvement, etc... Le principe des implants rétiniens consiste à remplacer les photorécepteurs et neurones dégénérés de la rétine par une matrice de micro-électrodes implantée dans l'œil, qui va ainsi recevoir des courants de stimulation électrique, reconstruisant le monde extérieur via une caméra externe. En effet, cette caméra, généralement logée sur la monture de lunettes du patient, va filmer les données visuelles pour les transmettre à un microprocesseur qui les convertit en impulsions électriques. La transmission des données du microprocesseur vers l'œil peut se faire avec ou sans fil selon les types d'implants.

Cette solution thérapeutique d'implant permet une vision grossière et pixellisée du monde environnant après une phase d'apprentissage.

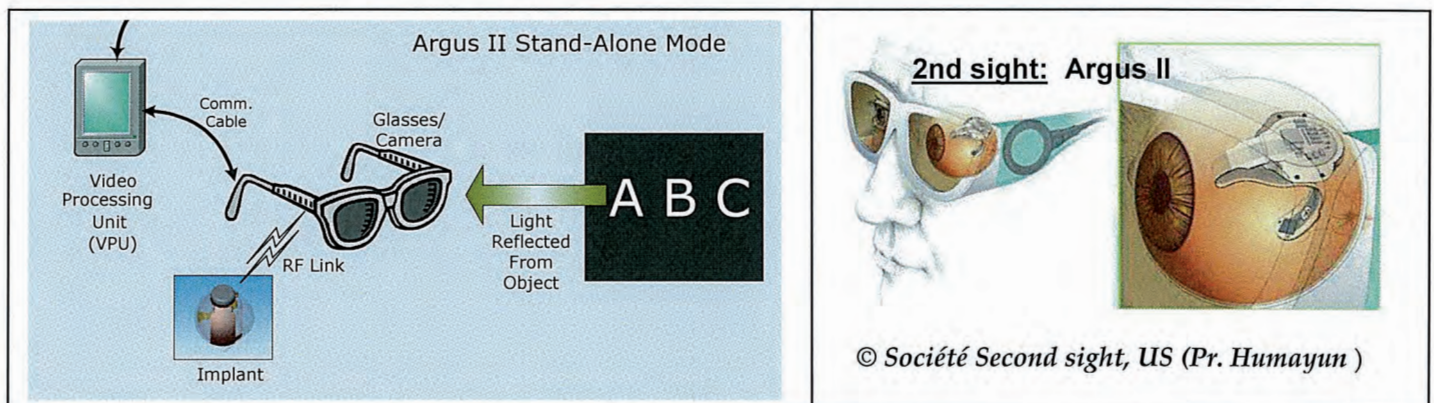


Figure 1. Principe général d'un implant rétinien

Le sujet proposé ici se divise en **4 parties totalement indépendantes**, qui peuvent être traitées dans un ordre quelconque et qui portent sur les principaux éléments de ces neuro-prothèses visuelles :

- la caméra et l'acquisition du signal vidéo (I) ;
- le suivi des mouvements de l'œil à l'aide d'un accéléromètre (II) ;
- la liaison par couplage magnétique entre les lunettes et la partie de l'implant positionnée sur le globe oculaire (III) ;
- la matrice de microélectrodes et les signaux de stimulation électrique associés (IV).

Les questions sont numérotées **de Q1 à Q62** et apparaissent **en italique dans le texte**.

Dans l'énoncé, les grandeurs statiques seront notées en majuscules (courant continu I, tension continue V) et les grandeurs dynamiques en minuscules (courant alternatif i, tension alternative v). Enfin, si $x(t)$ représente une grandeur instantanée, $X(p)$ représentera sa transformée de Laplace et $X(j\omega)$, sa transformée de Fourier dans le domaine fréquentiel, avec par défaut $\omega = 2\pi f$.

B. QUESTIONNEMENT

Partie I. Caméra et Acquisition du signal vidéo (Q1 à Q12)

Afin d'obtenir une image exploitable, il est nécessaire d'acquérir l'image en niveaux de gris (image de luminance) à l'aide d'une caméra CCD, puis de la mettre en forme pour un encodage adapté au système d'électrostimulation implanté sur le patient. Cette première partie du sujet décrit la séquence des opérations à effectuer pour acquérir l'image en niveaux de gris et la filtrer, figure 2, puis on s'intéresse aux performances d'une caméra commerciale proche du capteur CCD étudié.

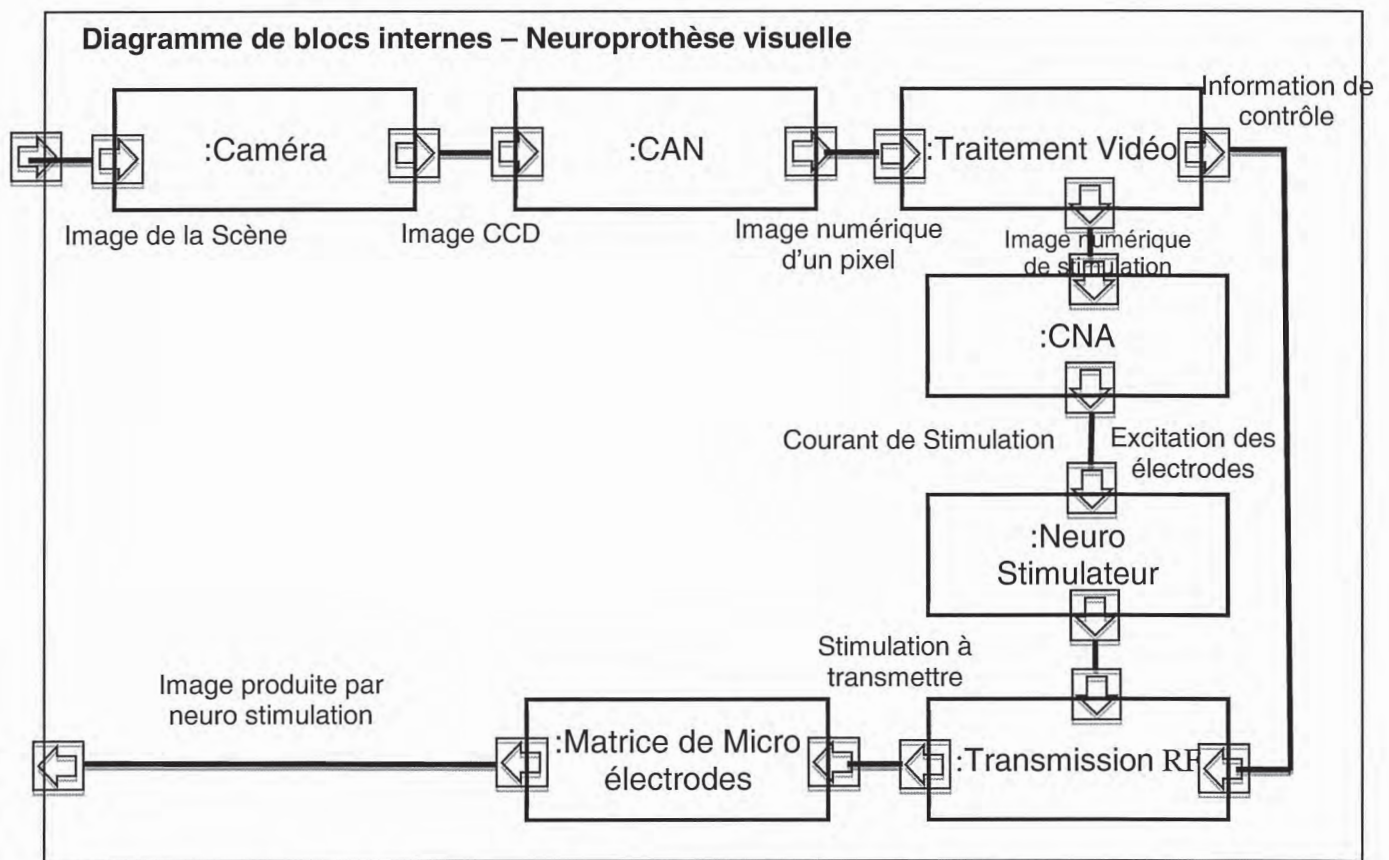


Figure 2. Diagramme de blocs internes SysML du système.

Les données sont transmises depuis la cellule CCD comme une suite de tensions analogiques évoluant dans la plage de 0 à 1 V, ensuite converties à l'aide d'un convertisseur analogique/numérique 8 bits à une période qu'il s'agit de déterminer. L'octet encodant chaque pixel apparaît à un rythme fixé par un signal d'horloge H.

Pour ce faire, on utilise un capteur CCD possédant une matrice de 640 colonnes sur 480 lignes. L'extraction des données se fait ligne par ligne de manière sérielle.

Les données numériques brutes délivrées par le CAN doivent être ordonnées dans un tableau à deux dimensions *img_in*, c'est le rôle de la méthode *extract_CCD_img()* de remplir ce tableau à partir des signaux issus de chaque capteur. Cette méthode est exécutée dans un processus indépendant.

On souhaite obtenir un flux vidéo en niveaux de gris filtré à une cadence de 24 images par secondes.

Le diagramme de classe simplifié de la classe CCD est proposé sur la figure 3:

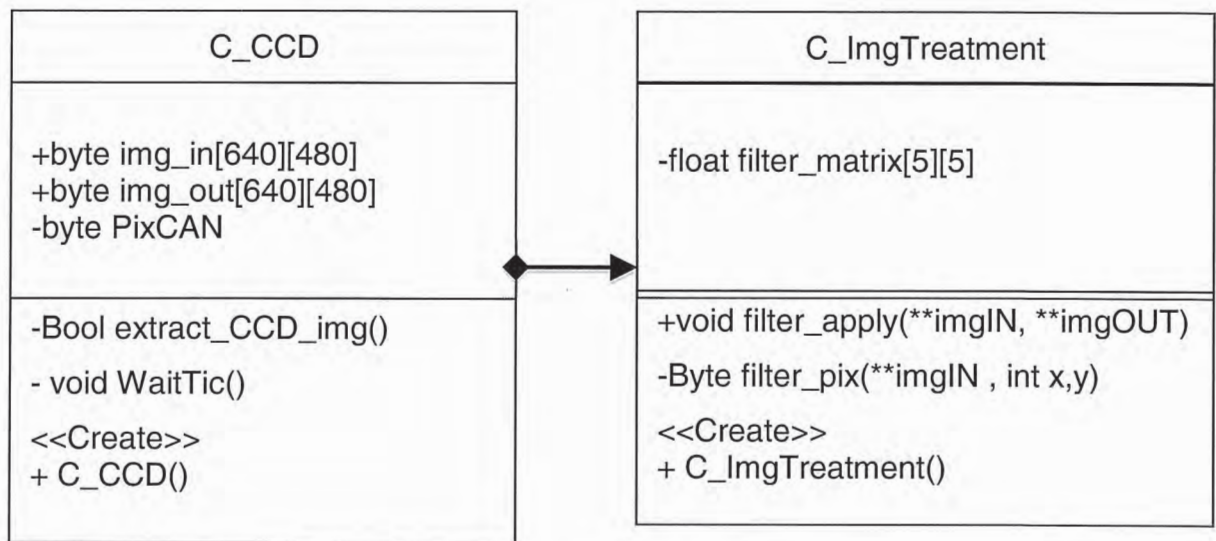


Figure 3. Diagramme de classe simplifié

Q1 – Calculer la fréquence du signal d’horloge cadencant l’extraction des pixels.

Q2 – Quel bloc interne de la Figure 2 intégrerait le logiciel exploitant les classes C_CCD et C_ImgTreatment ?

Nous nous intéressons à la création de l’image source **img_in**.

Une méthode **WaitTic()** a pour fonction d’attendre le front d’horloge issu du CAN pour stocker la valeur d’un pixel contenu dans l’octet **PixCAN** dans le tableau.

Q3 – Compléter le code C++ ci-dessous que vous trouverez dans le document réponse **DR1**, correspondant à la méthode **extract_CCD_img()** de la classe CCD en faisant apparaître l’appel à cette fonction de synchronisation.

```

Bool C_CCD ::extract_CCD_img(void)
{
    int x,y ;

    for (x=0 ;x<640 ; x++)
    {
        for (y=0 ; y<480 ; y++)
        {
            ...
            img_in[...][...]=...
        } ;
    } ;
    return TRUE ;
}
  
```


Q4 – Rappeler la signification des signes + et – précédant les méthodes et attributs des classes, ainsi que celle de la liaison reliant les deux classes.

Q5 – Justifier l'utilisation du type byte pour encoder la valeur de luminance d'un pixel, puis donner le quantum du convertisseur ainsi que sa fréquence d'échantillonnage. En déduire la technologie la plus appropriée pour ce convertisseur.

Voici la séquence des opérations qui doivent être effectuées pour produire l'image sans bruit, **img_out** :

- extraire l'image source et la stocker dans **img_in** ;
- appliquer le filtre de "débruitage" par appel de la méthode **filter_apply**.

Q6 – Produire le diagramme de séquence UML associé.

Le filtre appliqué est un filtre Gaussien 2D défini par un masque convolué avec l'image source **img_in**. L'image filtrée est stockée dans le tableau **img_out**.

Voici le masque de "débruitage" noté h qui sera stocké dans le tableau **filter_matrix** au moment de l'appel du constructeur de la classe **C_ImgTreatment**.

$$h = \frac{1}{159} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix}$$

Q7 – Quelle(s) propriété(s) pouvez-vous observer sur h ?

La méthode **filter_pix(**imgIN, int x,y)** permet de calculer la valeur d'un pixel de coordonnées (x,y) à l'aide du masque de convolution proposé. La valeur de ce pixel est retournée par cette fonction.

On veillera à faire apparaître les fonctions de transtypage nécessaires pour les calculs à virgule flottante.

Q8 – Produire le pseudo-code de cette méthode **filter_pix(**imgIN, int x,y)** qui doit fonctionner pour n'importe quel pixel de l'image source, sachant que pour le calcul des pixels en bordure d'images, on considère les pixels inexistant intervenant dans le calcul de la convolution comme ayant une valeur nulle.

On souhaite implémenter la fonction **void filter_apply(byte **imgIN, byte **imgOUT)**

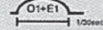
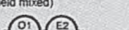
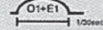
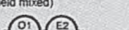
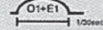
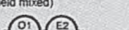
Q9 – Produire un diagramme d'état-transition correspondant à cette méthode.

Q10 – Produire le pseudo code associé à cette méthode dont l'image source est fournie par le double pointeur **imgIN** et l'image filtrée par le double pointeur **imgOUT**.

Q11 – Proposer le détail du bloc **CAN** que l'on trouverait dans le diagramme de bloc SysML du système de neuroprothèse visuelle proposé Figure 2.

On s'intéresse maintenant rapidement aux performances d'une caméra commerciale SONY XC-55BB-CHU proche du capteur CCD étudié dans cette partie.

Quelques extraits de la documentation constructeur de la caméra CCD XC-55BB-CHU sont donnés ci-dessous.

Description générale	Type de sortie vidéo																				
OUTLINE The ultra-compact XC-55 and XC-55BB monochrome camera which has a progressive scan CCD to provide full frame images. The XC-55BB is a remote head camera module of the XC-55. The square remote head of the XC-55BB has a precisely installed CCD to ensure accurate alignment and the miniature size allow access to very contained spaces. The CCD uses square pixels most suitable for machine vision. The square pixels of the CCD ensure resolution in equal in both horizontal and vertical axis and negates the use of dimension correction for image processing. The XC-55 and XC-55BB models are more compact and lightweight than conventional cameras and can be used in a wide range of image processing applications. MAJOR FEATURES ● 1/3" IT Progressive Scan CCD ● Square Pixel : 7.4µm x 7.4µm ● Progressive Scan Format 1l: 2:1 Interlaced ● 1N: Non-Interlaced ● Frame Shutter ● Normal (1/100 to 1/8,000 sec) ● E-DONPISHA II (1/4 to 1/100,000 sec) ● Sensitivity : 400lx (F5.6) ● Minimum illumination : 0.5lx (AGC, F1.4) ● S/N ratio : 56dB ● GAIN : AGC, FIX (0dB), MAN (0 to 18dB) ● Sync System : Internal / External (HD / VD)	<table border="1"> <tr> <td>1N : 1-line Output (Non-Interlaced)</td><td></td><td></td><td></td><td>A frame image is obtained by one output (1/30 sec.)</td></tr> <tr> <td>VIDEO OUT </td><td>O</td><td>O</td><td></td><td></td></tr> <tr> <td>1l : 1-line Output (2 : 1 Interlaced) CCD 2-line readout (field mixed)</td><td></td><td></td><td></td><td>High-sensitivity mode where the 2-line read image of a CCD is obtained from one output (1/30 sec.) by interlacing.</td></tr> <tr> <td>VIDEO OUT </td><td>—</td><td>O</td><td></td><td></td></tr> </table>	1N : 1-line Output (Non-Interlaced)				A frame image is obtained by one output (1/30 sec.)	VIDEO OUT 	O	O			1l : 1-line Output (2 : 1 Interlaced) CCD 2-line readout (field mixed)				High-sensitivity mode where the 2-line read image of a CCD is obtained from one output (1/30 sec.) by interlacing.	VIDEO OUT 	—	O		
1N : 1-line Output (Non-Interlaced)				A frame image is obtained by one output (1/30 sec.)																	
VIDEO OUT 	O	O																			
1l : 1-line Output (2 : 1 Interlaced) CCD 2-line readout (field mixed)				High-sensitivity mode where the 2-line read image of a CCD is obtained from one output (1/30 sec.) by interlacing.																	
VIDEO OUT 	—	O																			

SONY XC-55BB

⑥ SIGNAL SWITCH

1N	1/30 Non-Interlaced
1l	1/60 Interlaced

⑦ GAIN SWITCH

A	AUTO GAIN
F	FIXED GAIN
M	MANUAL GAIN

④ 12Pin Multiconnector





Rear Panel
XC-55/55BB

SPECIFICATIONS

	XC-55	XC-55BB
Pick up device	1/3-inch Interline transfer Progressive Scan CCD	
Effective picture elements	659(H) x 494(V)	
Cell size	7.4μm x 7.4μm	
CCD horizontal drive frequency	12.2727MHz	
Signal systems	EIA/Progressive Scan	
Number of video output pixels	646(H) x 485(V)	
Lens mount	C mount	NF mount
Flange back	17.526mm	12.0mm
Horizontal frequency	15.734kHz	
Vertical frequency	59.94Hz/30Hz	
Sync System	Internal/External(auto)	
External sync system	HD/VD(2 to 5Vp-p)	
External sync allowance	Horizontal sync frequency±1%	
Jitter	less than ±50n sec.	
Output modes	1I: 2:1 Interlaced(1/60 sec.x2) 1N: Non-Interlaced(1/30 sec.)	
Horizontal resolution	500 TV lines	
Sensitivity	400lx, F5.6 (0dB)	
Minimum illumination	0.5lx (AGC, F1.4)	
S/N ratio	56dB	
Gain	AGC(0 to 18dB)/ FIX(0dB)/Manual(0 to 18dB)factory setting : fixed same level	
Gamma	ON(γ=0.45)/OFF(γ=1)(Internal switch selection•factory setting:OFF)	
Normal shutter	1/100, 1/250, 1/500, 1/1,000, 1/2,000, 1/4,000, 1/8,000 sec.	
Trigger shutter (E-DONPISHA II)	1/4 to 1/100,000sec. HD/VD(2 to 5Vp-p)	
Power requirements	DC+12V(+10.5 to +15V)	
Power consumptions	1.8W	2.2W
Weight	110g	CHU:40g / CCU:100g
Operating temp./mois.	-5 to +45°C/20 to 80%	
Storage temp./mois.	-25 to +60°C/20 to 95%	
Vibration resistance	10G(XYZ directions)	
Shock resistance	70G	
MTBF	98,600Hrs	94,900Hrs
Regulations	UL1492, FCC Class A Digital Device, CE(EN50081-1+EN50082-1), AS4251.1	
Supplied accessories	Lens mount cap(1), Operating Instructions(1), Clamp filter(1)	

Tableau 1. Extraits de la documentation constructeur du la caméra CCD XC-55BB-CHU

Q12 – Calculer la résolution en mégapixels du capteur de cette caméra et la comparer à celle d'équipements grand public (appareils photos, smartphones, ...).

Puis indiquer à quoi correspondent les termes suivants : « horizontal frequency », « vertical frequency », « minimum illumination », « S/N ratio » ?

Partie II. Suivi des mouvements de l'œil à l'aide d'un accéléromètre (Q13 à Q26)

Cette partie s'intéresse aux caractéristiques d'un accéléromètre LIS331DLH (ST) utilisé pour détecter les mouvements du globe oculaire, et par la suite effectuer une correction éventuelle sur les images captées (rotation principalement) pour tenir compte de la position réelle de l'implant dans l'œil. La partie concernant cette correction d'image ne sera pas traitée ici. L'intérêt de ce capteur réside dans sa taille extrêmement miniaturisée.

On souhaite déterminer les trois accélérations axiales selon X_C , Y_C , et Z_C , comme illustré sur la Figure 4 qui donne le sens positif des accélérations mesurées.

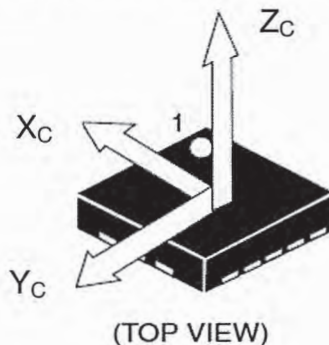


Figure 4. Sens positif des accélérations mesurées par l'accéléromètre.

Q13 – Cocher dans le tableau du document réponse **DR2** les valeurs des accélérations axiales mesurées sur chacun des axes en fonction de la position de l'accéléromètre, en partant de l'exemple de la première ligne. L'accéléromètre est considéré comme immobile et ne mesure donc que la force de gravité.

Les angles « *pitch* » et « *roll* » définis sur la Figure 5 caractérisent l'inclinaison de l'accéléromètre par rapport à l'axe terrestre servant de référence.

Le « *pitch* » (α) est défini comme l'angle existant entre l'axe X_C et le plan horizontal. Sa valeur est comprise entre 0° et $179,9^\circ$ lorsque l'on tourne autour de l'axe Y_C avec un axe X_{C+} qui part de l'horizontale pour monter à une position verticale ($+90^\circ$) puis redescendre à une position horizontale. Sa valeur est comprise entre 0° et -180° en sens de rotation inverse.

Le « *roll* » (β) est défini comme l'angle existant entre l'axe Y_C et le plan horizontal. Sa valeur est comprise entre 0° et $179,9^\circ$ lorsque l'on tourne autour de l'axe X_C avec un axe Y_{C+} qui part de l'horizontale pour monter à une position verticale ($+90^\circ$) puis redescendre à une position horizontale. Sa valeur est comprise entre 0° et -180° en sens de rotation inverse.

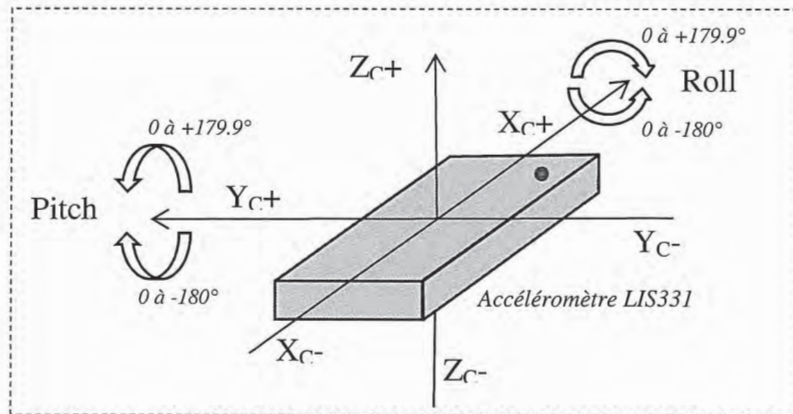


Figure 5. Illustration des définitions du « pitch » et du « roll ».

Q14 – Justifier la relation qui donne le « pitch » en fonction de la valeur de l'accélération A_x mesurée sur l'axe X : $\alpha (^{\circ}) = \text{Arcsin}(A_x)$. Représenter cette fonction sur le document réponse **DR2**.

Q15 – Quelle étendue de mesure permet cette méthode ? Est-elle suffisante pour l'application visée ?

Q16 – Calculer la sensibilité du « pitch » par rapport à cette valeur d'accélération A_x .

Q17 – Dédurre deux limites liées à l'évaluation du « pitch » par la lecture d'un seul axe.

En pratique, il faut utiliser une lecture des accélérations sur les trois axes pour lever ces limites, mais ce point ne sera pas traité dans ce problème. On souhaite à présent utiliser des extraits de la documentation constructeur de l'accéléromètre LIS331DLH fournis en **annexe A1** pour estimer les performances de cet accéléromètre.

Le format de sortie des accélérations mesurées sur les axes X_c , Y_c et Z_c est codé en complément à 2 avec une représentation sur 16 bits.

Q18 – Compléter le tableau 2 ci-dessous que vous trouverez sur le document réponse **DR3**, représentant les valeurs stockées dans l'accéléromètre en fonction de sa position, en choisissant une **résolution typique**.

Valeurs d'accélération sur axe X_c	Valeur de FS1..0	OUT_X_H (hexa)	OUT_X_L (hexa)
0g	00		
350mg	00		
1g	00		
-350mg	00		
-1g	11		

Tableau 2. Valeurs stockées dans l'accéléromètre

L'accéléromètre LIS331DLH peut communiquer avec un microcontrôleur à l'aide d'une liaison série de type SPI ou I2C. On s'intéresse alors au câblage permettant le dialogue entre l'accéléromètre et le microcontrôleur selon les deux protocoles.

Q19 – Compléter sur le document réponse **DR4** le schéma d'interconnexion en mode SPI.

Q20 – Compléter sur le document réponse **DR4** le schéma d'interconnexion en mode I2C.

Q21 – Expliquer succinctement le principe de sélection de l'accéléromètre sur le bus pour les deux protocoles définis précédemment.

Q22 – D'après la description de la procédure de lecture de l'accélération A_x sur la liaison SPI fournie en **annexe A1**, compléter sur le document réponse **DR4** le chronogramme correspondant à une lecture de OUT_X_L et OUT_X_H , lorsque l'accéléromètre mesure une accélération de $+350mg$ sur l'axe X_C avec $FS1..0 = 00$.

Il apparaît nécessaire d'effectuer un étalonnage de l'accéléromètre pour s'affranchir des dispersions liées à leur fabrication industrielle, en particulier si l'on souhaite des précisions importantes sur le « pitch » et le « roll » (valeurs inférieures à 1°).

La relation liant l'accélération réelle sur les 3 axes aux valeurs mesurées et stockées dans les registres de l'accéléromètre peut être exprimée par une équation matricielle :

$$\begin{bmatrix} AX_{réelle} \\ AY_{réelle} \\ AZ_{réelle} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A11 & A12 & A13 \\ A21 & A22 & A23 \\ A31 & A32 & A33 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} AX_{mesurée} \\ AY_{mesurée} \\ AZ_{mesurée} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A10 \\ A20 \\ A30 \end{bmatrix}$$

Q23 – Identifier dans cette relation matricielle la matrice correspondant à la sensibilité et au désalignement de l'accéléromètre, et celle correspondant au décalage par rapport au niveau 0g.

On peut aussi écrire la relation matricielle précédente sous la forme :

$$\begin{bmatrix} AX_{réelle} & AY_{réelle} & AZ_{réelle} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} AX_{mesurée} & AY_{mesurée} & AZ_{mesurée} & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X \end{bmatrix}.$$

Q24 – Ecrire la matrice $[X]$ en fonction des paramètres définis dans l'équation initiale.

Q25 – Quelle sera la valeur de $[X]$ dans le cas d'un fonctionnement idéal de l'accéléromètre avec $FS1..0 = 00$ (et sensibilités typiques, pas d'erreur d'alignement ni de décalage) ?

Lors d'un étalonnage de l'accéléromètre, on obtient la matrice $[X]$ suivante :

$$[X] = \begin{bmatrix} 0,0010 & 0,0000 & -0,0001 \\ 0,0000 & 0,0010 & 0,0000 \\ 0,0000 & 0,0000 & 0,0010 \\ -0,0299 & -0,0280 & -0,0086 \end{bmatrix}$$

Q26 – Etablir les valeurs de l'accélération réelle $[AX_{réelle} \ AY_{réelle} \ AZ_{réelle}]$ si les valeurs mesurées lues sur les trois axes X_C , Y_C , et Z_C sont respectivement 230, 400 et 50mg.