

CE Prothèse d'épaule - ED3 – semestre1 2025-2026
PROJET : Analyse cinématique angulaire de l'Humérus par rapport à la Scapula

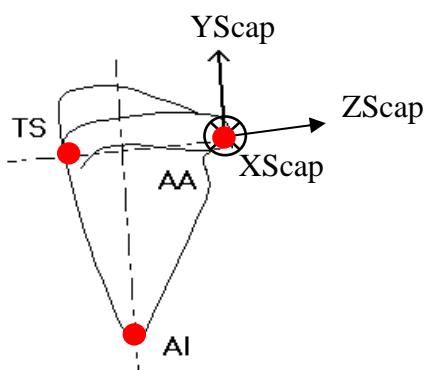
PARTIE 2 : RENDU PAR GROUPES de 2 ou 3 étudiants

I- Présentation de l'étude

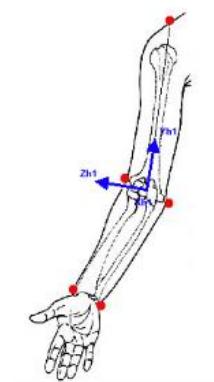
Dans le cadre de la conception d'une prothèse glénoïdienne, nous souhaitons connaître la position angulaire de l'humérus par rapport à la scapula pour des positions de bras données chez des sujets non prothésés.

Les points et axes anatomiques des deux os sont les suivants :

Pour la Scapula (vue postérieure):



Pour l'Humérus (vue antérieure):



Le repère anatomique de l'Humérus est défini à partir des points anatomiques (Bord Antérieur de l'Acromion, Epicondyle Externe, Epicondyle Interne), l'axe Yh1 devant aller du milieu des points Epicondyle Externe, Epicondyle Interne vers le point Acromion, l'axe Xh1 devant aller vers l'avant. [Pour information, dans Octave, le produit vectoriel est représenté par la fonction **cross**].

Le repère anatomique de la Scapula est défini à partir des points (AA ou Angle Acromial, AI ou Angle Inférieur, TS ou Trigonom Spinae). L'axe Zscap va de TS vers AA. L'axe Xscap va vers l'avant.

Pour calculer les angles, nous choisissons une séquence de 3 rotations successives autour d'axes mobiles selon l'ordre « Xscap, Z', Y ». La matrice de rotation ainsi définie est exprimée dans le repère scapulaire (voir l'expression de cette matrice ci-dessous).

Le bras droit est étudié.

Lors de la séance de TP, vous avez réalisé un protocole expérimental cinématique et vous avez effectué des mesures afin de pouvoir étudier la position angulaire de l'humérus par rapport à la scapula pour un mouvement du bras donné.

II- Travail à réaliser (par groupe de 2 ou 3 étudiants):

Dans le cadre de ce travail, vous devrez :

1) Fournir un rapport :

- Qui présente de manière claire le protocole expérimental réalisé lors de votre séance de TP (objectif et justifications de votre protocole, mouvements demandés aux sujets, positionnement des capteurs sur le sujet, numéros des voies de mesure des capteurs branchés, étapes effectuées, ordre de palpation des points anatomiques...)
- Qui présente et détaille la méthodologie que vous utilisez pour calculer les 3 angles nécessaires (autour de Xscap (Elévation), autour de Z', autour de Y'') (Yhumerus) (Rotation interne-extérieure)).

- Qui présente et analyse les résultats que vous aurez trouvés. Vous essaierez d'illustrer vos résultats sous forme de graphes et/ou de tableaux. Vous pourrez notamment analyser vos résultats en termes de reproductibilité intrasession, intersession, en termes de mobilités maximales ...

Ce rapport devra faire apparaître une introduction et une conclusion/discussion.

- 2) Ecrire les programmes sous Octave vous permettant de réaliser les calculs cinématiques et de sauvegarder vos résultats sous forme de graphe et de valeurs numériques.

Vous devrez me rendre, le mercredi 22 octobre 2025 à 18h :

- **le rapport**
- **les programmes de calcul** réalisés sous *Octave* (en format *Octave* avec l'extension « .m »)
- **les fichiers de données utilisés.**

Ces rendus sont à faire **par groupes de 2 ou 3 étudiants.**

INFO: Définition des matrices de passage du repère Emetteur aux repères « Capteur » à partir des fichiers issus du système électromagnétique:

Les colonnes 5 à 13 correspondent aux termes des matrices de passage du repère Emetteur à chaque repère Capteur. Pour la ligne n, la matrice de passage du repère émetteur au repère capteur (correspondant à la ligne n) vaut :

$$[P_{RemRcapt}\{n\}] = \begin{bmatrix} C(n, 5) & C(n, 6) & C(n, 7) \\ C(n, 8) & C(n, 9) & C(n, 10) \\ C(n, 11) & C(n, 12) & C(n, 13) \end{bmatrix}$$

MEMO :

$$\left[P_{R_1 R_2} \right] = \begin{bmatrix} \left(\vec{i}_1 \right)_{R_2} \\ \left(\vec{j}_1 \right)_{R_2} \\ \left(\vec{k}_1 \right)_{R_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\vec{i}_2 \right)_{R_1} & \left(\vec{j}_2 \right)_{R_1} & \left(\vec{k}_2 \right)_{R_1} \end{bmatrix}$$

Dans le cas d'une séquence de rotation autour d'axes mobiles selon l'ordre « XScap, Z', Y " », la matrice de rotation définie dans le repère Scapula vaut :

$$\left[R(\vec{i}_{Scap}, \vec{k}', \vec{j}'')_{R_{Scap}} \right] = [A][C][B] = \begin{bmatrix} c2c3 & -s3 & s2c3 \\ s1s2 + c1c2s3 & c1c3 & -s1c2 + c1s2s3 \\ s1c2s3 - c1s2 & s1c3 & s1s2s3 + c1c2 \end{bmatrix} = \left[P_{RScap_RHum} \right]$$

Avec $c_i = \cos(a_i)$; $s_i = \sin(a_i)$ avec a_1 angle de rotation autour de \vec{i}_{Scap} , a_2 angle de rotation autour de \vec{j}'' , a_3 angle de rotation autour de \vec{k}' .

Compte Rendu REPCE

*DUMERIL Clément, LABESSE Louis,
EMERY Nicodème*

20 octobre 2025

TABLE DES MATIERES

Compte Rendu REPCE	1
I) Introduction	3
II) Protocole expérimental	3
1) Objectifs	3
2) Mise en place	3
3) Pointage et calibrage	4
4) Mouvements	4
5) Acquisition des données	5
III) Théorie calculatoire	6
IV) Exploitation des données.....	9
1) Utilisation d'Octave et importation des données.....	9
2) Déterminations des vecteurs des repères techniques	9
a. Repère technique omoplate	9
b. Repère technique omoplate	10
3) Détermination des angles et analyse des résultats	10
V). Conclusion :.....	16

I) Introduction

Dans le cadre de L'UEi REPCE qui consiste en la conception d'une prothèse glénoïdienne nous avons réalisé un TP consistant en la capture de la cinématique du bras afin d'étudier la cinématique de la scapula par rapport à l'humérus.

Pour ce faire nous allons utiliser un appareil électromagnétique composé d'un émetteur et de capteurs dont un stylet. Cette méthode peu onéreuse nécessite un appareil sans trop de perturbations électromagnétiques. Chaque récepteur est composé de 3 bobines se qui constitue 3 points et donc un repère. Nous allons donc faire un protocole de mouvement que nous allons répéter plusieurs fois avec plusieurs sujets.

II) Protocole expérimental



1) Objectifs

L'objectif de ce TP est d'avoir la cinématique de la scapula par rapport à l'humérus, on souhaite obtenir plus particulièrement la matrice de rotation de la scapula par rapport à l'humérus. En effet cette matrice de rotation est l'image des trois angles de rotations entre le repère anatomique de la scapula et de l'humérus.

2) Mise en place

Cette méthode nécessite un protocole de calibration concernant la position du sujet, en effet on compare la cinématique de la scapula par rapport à l'humérus sur un même mouvement répété plusieurs fois.

Aussi nous avions choisi de placer le sujet sur une chaise à une distance d'un bras tendu du tableau, le bras étant tendu au maximum et faisant un angle de 90° par rapport à l'abdomen. Puis on a placé un support à la droite du sujet distant lui aussi d'un bras tendu.

De ce fait la position des différents éléments de calibration dépendent de la morphologie du sujet.

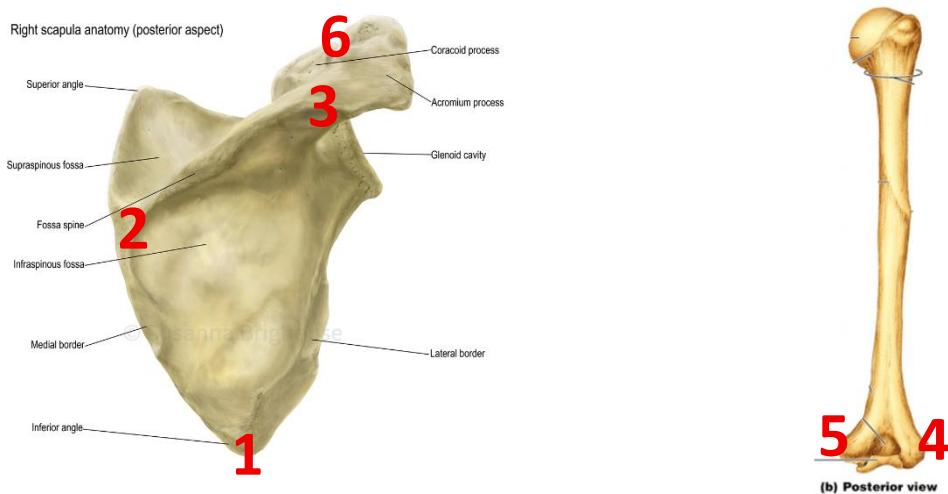
3) Pointage et calibrage

Après avoir placé précisément le sujet il faut placer sur celui 2 différents capteurs.

Chacun de ces capteurs étant composé de 3 bobines, il représente chacun un repère technique.

Pour le placement on en place un au niveau de la partie inférieure de l'humérus, ce capteur représente le repère technique de l'humérus. On en place au niveau de la scapula, on avait le choix d'utilisé deux méthodes, un scapula locator ou un capteur que l'on fixe. Pour ne pas faire une mesure quasi statique on choisi de fixer le capteur de la scapula sur la partie haute et plane supérieure de la scapula, ce capteur représentant le repère technique de la scapula

De plus pour calibrer les repères anatomiques on a utilisé un stylet afin de palper des points anatomiques



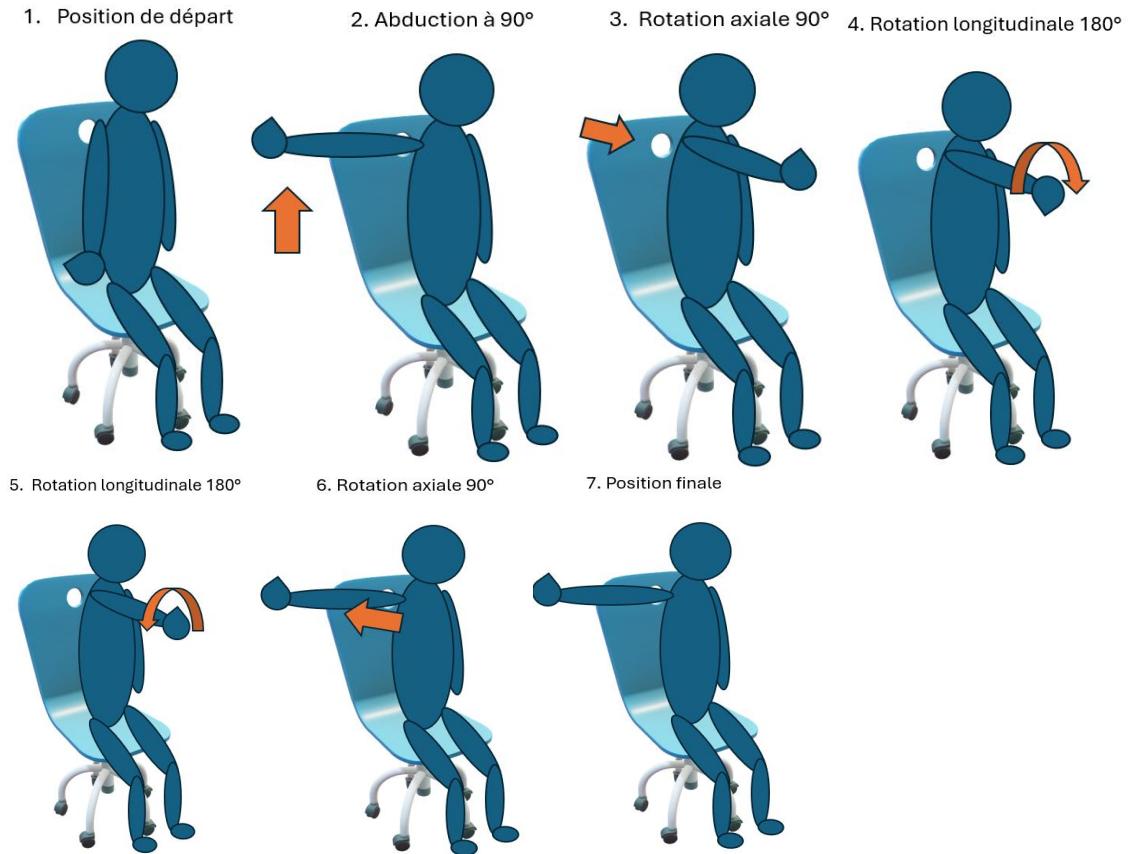
Cette calibration permet d'obtenir les points afin de construire les repères anatomiques de l'humérus et de la scapula. Pendant la calibration le sujet ne doit pas bouger ses bras, on considérera par la suite que la matrice de passage entre les repères anatomiques et techniques sont fixes.

A noté que l'on palpe un point de l'humérus en haut de l'akromion car on fait l'approximation pour une faible amplitude de mouvement que le point 6 et le milieu du segment [54] sont perpendiculaire au segment [54].

4) Mouvements

Les mouvements réalisés par toutes les personnes assises seront les mêmes, pour avoir des résultats communs exploitables. On a réalisé des mouvements divers pour observer le plus de données concernant des gestes habituels de personnes âgées. La suite de mouvements décrit une personne qui lève un récipient, le renverse et le pose.

Cette suite est listée de la manière suivante :



5) Acquisition des données

L'acquisition des données s'effectue en 2 étapes.

Etape 1 : Palpation

On cherche à déterminer la position des 3 points anatomiques permettant de construire la base anatomique de chaque élément, soit un total de 6 points pour nos 2 éléments.

Pour cela on travaille avec un sujet fixe.

La mesure de chaque point s'effectue avec un palpeur. Ce palpeur est relié à une voie analogique de l'émetteur, lui-même relié à un système informatique permettant de lancer l'acquisition et de sauvegarder la mesure du point obtenue. Il s'agit d'une acquisition ponctuelle puisqu'un seul point est tiré de cette manipulation. On effectue une acquisition différente par point, soit 6 acquisitions.

Etape 2 : Mouvement.

Pour cela on place un ensemble de 2 capteurs également reliés à 2 voix de l'émetteur qui est toujours relié au système informatique. Le système permet de lancer une acquisition en continue qui va enregistrer les coordonnées temporelles de chaque point au cours du mouvement.

L'acquisition de ce mouvement est fonction du nombre de capteurs simultanément sollicités. Dans notre cas nous avions 3 capteurs (humérus, scapula, palpeur) pour un maximum d'acquisition de 120Hz ce qui aboutit à 40 points par seconde par capteur.

Etape 3 : format de stockage

Le fichier de points est stocké sous la forme d'un fichier texte qui regroupe 13 colonnes dont 9 correspondent aux coordonnées des vecteurs de la base du capteur dans celle de l'émetteur, dont 3 correspondent aux coordonnées de l'origine du capteur, et 1 indique la voix considérée.

III) Théorie calculatoire

Détaillons la méthodologie de calcul employé pour traiter les résultats obtenus post expérimentations. Après l'expérience nous avions obtenues ces différents fichiers txt.

Nom	Type	Taille compressée	Protégé pa...	Taille	Ratio	Modifié le
Essai2_0_Palpation.TXT	Fichier TXT	1 Ko	Non	3 Ko	62 %	13/10/2025 18:04
Essai2_1_Mouvement.TXT	Fichier TXT	22 Ko	Non	127 Ko	83 %	13/10/2025 18:07
Essai2_2_Mouvement.TXT	Fichier TXT	18 Ko	Non	100 Ko	83 %	13/10/2025 18:07
Essai2_3_Mouvement.TXT	Fichier TXT	18 Ko	Non	97 Ko	82 %	13/10/2025 18:08
Essai4_0_Palpation.TXT	Fichier TXT	1 Ko	Non	3 Ko	63 %	13/10/2025 18:14
Essai4_1_Mouvement.TXT	Fichier TXT	20 Ko	Non	97 Ko	80 %	13/10/2025 18:15
Essai4_2_Mouvement.TXT	Fichier TXT	21 Ko	Non	107 Ko	81 %	13/10/2025 18:15
Essai4_3_Mouvement.TXT	Fichier TXT	16 Ko	Non	80 Ko	81 %	13/10/2025 18:17
Essai6_0_Palpation.TXT	Fichier TXT	1 Ko	Non	3 Ko	64 %	13/10/2025 18:20
Essai6_1_Mouvement.TXT	Fichier TXT	22 Ko	Non	104 Ko	80 %	13/10/2025 18:21
Essai6_2_Mouvement.TXT	Fichier TXT	20 Ko	Non	94 Ko	80 %	13/10/2025 18:21
Essai6_3_Mouvement.TXT	Fichier TXT	21 Ko	Non	102 Ko	81 %	13/10/2025 18:22

Pour bien comprendre, il faut se rappeler que l'on a répliqué l'expérience 3 fois avec 2 sujets différents et chaque expérience se composait d'une palpation pour avoir le repère anatomique et puis de 3 protocoles répétés.

Un fichier texte se compose de la façon suivante :

01	81.61	-39.27	-17.55	-0.5708	0.7967	-0.1988	-0.7856	-0.4594	0.4145	0.2389	0.3928	0.8880
02	77.10	-41.31	13.42	-0.6512	-0.4565	-0.6062	-0.6718	-0.0248	0.7403	-0.3530	0.8894	-0.2905
03	0.50	-29.89	-2.84	-0.0635	-0.0955	0.9934	0.0099	-0.9954	-0.0951	0.9979	0.0038	0.0642
04	-0.11	33.66	-0.51	-0.0820	0.7864	0.6122	-0.1498	-0.6171	0.7725	0.9853	-0.0283	0.1684
01	81.60	-39.27	-17.54	-0.5707	0.7967	-0.1990	-0.7856	-0.4592	0.4147	0.2390	0.3930	0.8879
02	77.09	-41.32	13.43	-0.6513	-0.4565	-0.6061	-0.6718	-0.0245	0.7404	-0.3528	0.8894	-0.2907
03	0.50	-29.89	-2.84	-0.0635	-0.0955	0.9934	0.0099	-0.9954	-0.0951	0.9979	0.0038	0.0642
04	-0.11	33.66	-0.52	-0.0820	0.7864	0.6122	-0.1497	-0.6171	0.7725	0.9853	-0.0283	0.1684
01	81.61	-39.24	-17.53	-0.5701	0.7970	-0.1995	-0.7861	-0.4586	0.4145	0.2388	0.3931	0.8879
02	77.08	-41.33	13.45	-0.6512	-0.4569	-0.6060	-0.6719	-0.0243	0.7403	-0.3530	0.8892	-0.2912
03	0.50	-29.89	-2.84	-0.0635	-0.0955	0.9934	0.0100	-0.9954	-0.0951	0.9979	0.0038	0.0642
04	-0.11	33.66	-0.52	-0.0820	0.7864	0.6123	-0.1497	-0.6171	0.7725	0.9853	-0.0283	0.1684
01	81.60	-39.24	-17.51	-0.5702	0.7969	-0.1995	-0.7860	-0.4586	0.4146	0.2389	0.3933	0.8879
02	77.09	-41.30	13.44	-0.6510	-0.4565	-0.6065	-0.6722	-0.0245	0.7400	-0.3526	0.8894	-0.2909
03	0.50	-29.89	-2.84	-0.0635	-0.0955	0.9934	0.0099	-0.9954	-0.0951	0.9979	0.0038	0.0642
04	-0.11	33.66	-0.52	-0.0820	0.7864	0.6123	-0.1497	-0.6171	0.7725	0.9853	-0.0283	0.1684
01	81.59	-39.26	-17.51	-0.5704	0.7969	-0.1990	-0.7858	-0.4588	0.4147	0.2392	0.3929	0.8879
02	77.08	-41.31	13.43	-0.6513	-0.4560	-0.6065	-0.6720	-0.0246	0.7402	-0.3525	0.8896	-0.2904
03	0.50	-29.89	-2.84	-0.0635	-0.0955	0.9934	0.0099	-0.9954	-0.0951	0.9979	0.0038	0.0642
04	-0.11	33.66	-0.51	-0.0820	0.7864	0.6123	-0.1498	-0.6171	0.7725	0.9853	-0.0283	0.1684
01	81.59	-39.26	-17.50	-0.5704	0.7969	-0.1992	-0.7858	-0.4587	0.4148	0.2392	0.3931	0.8878
02	77.09	-41.30	13.42	-0.6512	-0.4556	-0.6069	-0.6723	-0.0247	0.7399	-0.3521	0.8898	-0.2902
03	0.50	-29.89	-2.84	-0.0635	-0.0955	0.9934	0.0099	-0.9954	-0.0951	0.9979	0.0038	0.0642
04	-0.11	33.66	-0.51	-0.0820	0.7864	0.6123	-0.1497	-0.6171	0.7725	0.9853	-0.0283	0.1684

En rouge cela correspond à une prise de mesure sur le logiciel d'acquisition,
Chaque ligne correspond à une voie d'acquisition,

Voie 4 : stylet

Voie 2 : humérus

Voie 1 : omoplate

En vert on a le centre du récepteur

En bleu on a les composants de la matrice de passage de l'émetteur dans le repère du récepteur.
Correspondant à cette matrice

$$[P_{RemRcapt\{n\}}] = \begin{bmatrix} C(n, 5) & C(n, 6) & C(n, 7) \\ C(n, 8) & C(n, 9) & C(n, 10) \\ C(n, 11) & C(n, 12) & C(n, 13) \end{bmatrix}$$

Aussi, on souhaite obtenir la matrice suivante

$$\begin{aligned} P_{omoplate \text{anatomique}/humérus \text{anatomique}} \\ = P_{omoplate \text{anatomique}/omoplate \text{technique}} \\ \times P_{omoplate \text{technique}/humérus \text{technique}} \\ \times P_{humérus \text{technique}/humérus \text{anatomique}} \end{aligned}$$

Cependant comme expliqué dans l'énoncé on a directement dans le fichier d'acquisition

$$P_E/\text{récepteur technique}$$

Aussi on doit décomposer l'équation 1 :

$$\begin{aligned}
P_{\text{omoplate anatomique}/\text{omoplate technique}} &= P_{\text{omoplate anatomique}/E} \times P_{E/\text{omoplate technique}} \\
P_{\text{humérus technique}/\text{humérus anatomique}} &= P_{\text{humérus technique}/E} \times P_{E/\text{humérus anatomique}} \\
P_{\text{omoplate technique}/\text{humérus technique}} &= P_{\text{omoplate technique}/E} \times P_{E/\text{humérus technique}}
\end{aligned}$$

Maintenant pour obtenir les matrices de passage avec un repère anatomique il faut utiliser les coordonnées des centres du stylet présent dans les fichiers palpations.

Avec ces 6 coordonnées on a 3 points pour la scapula et pour l'humérus, puis on orthogonalise la base par le procédé de Gramschmitt (Détaillé en Partie IV), on obtient donc un repère pour l'humérus anatomique et un repère pour la scapula anatomique.

Cependant ces points ne sont valide qu'à t=0, donc pour les matrices de passages liées au repère anatomiques on considère qu'elles sont constantes et on prends leurs valeurs à t=0.

Concrètement, on transforme le fichier texte en matrice, (on fait ctrl H et on remplace les – par espace -) puis on calcule pour chaque t

$$P_{\text{omoplate technique}/\text{humérus technique}}$$

Enfin on se retrouve avec t matrice de passage anatomique entre omoplate et humérus, on identifie alors avec

$$\left[R(\vec{i}_{\text{Scap}}, \vec{k}', \vec{j}'') \right]_{\text{R}_{\text{Scap}}} = [A][C][B] = \begin{bmatrix} c_2c_3 & -s_3 & s_2c_3 \\ s_1s_2 + c_1c_2s_3 & c_1c_3 & -s_1c_2 + c_1s_2s_3 \\ s_1c_2s_3 - c_1s_2 & s_1c_3 & s_1s_2s_3 + c_1c_2 \end{bmatrix} = \left[P_{R\text{Scap}_R\text{Hum}} \right]$$

Pour retrouver les angles à chaque instant.

$$R = R(\alpha)_i R(\beta)_k R(\gamma)_{j''}$$

Et

$$\gamma = -\sin^{-1} r_{12}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{r_{22}}{r_{23}}$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{r_{11}}{r_{13}}$$

IV) Exploitation des données

1) Utilisation d'Octave et importation des données

Pour calculer les matrices pour aboutir aux angles, nous allons utiliser le logiciel Octave.

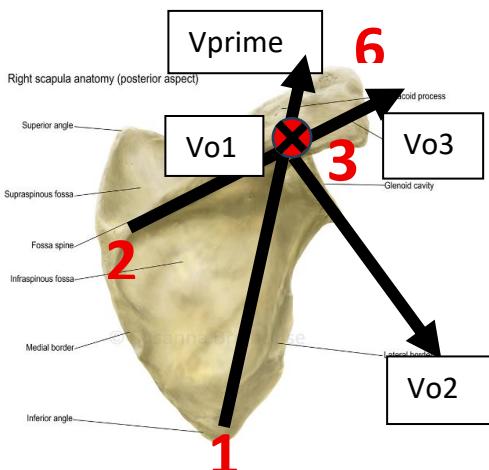
Pour importer les données des expériences, stockées sous forme de fichiers textes nous allons utiliser une fonction « load », en faisant attention au chemin des fichiers utilisés, première source d'erreurs. Nous stockons nos données dans des Matrices.

2) Déterminations des vecteurs des repères techniques

a. Repère technique omoplate

Le repère technique de l'omoplate est composé de 3 vecteurs Vo1, Vo2 et Vo3 :

Nous utiliserons alors les coordonnées des 3 points suivants (schéma ci-dessous), que nous stockerons dans les matrices « Palpation » et « MatCoords » :



- Pour déterminer Vo3 on définit le vecteur passant par 2 et 3 puis on le divise par sa norme.

$$Vo3 = \frac{\left(\begin{pmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix} \right)}{\text{norme} \left(\begin{pmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix} \right)}$$

- Pour déterminer Vo1 on définit le vecteur Vprime passant par 1 et 3, puis on fait un produit vectoriel entre Vprime et Vo3 pour obtenir un vecteur orthogonal aux plan défini par les 3 points. On le divise par sa norme.

$$V_{prime} = \left(\begin{pmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} \right); V_{o1} = \frac{V_{prime} \wedge V_{o3}}{\text{norme}(V_{prime} \wedge V_{o3})}$$

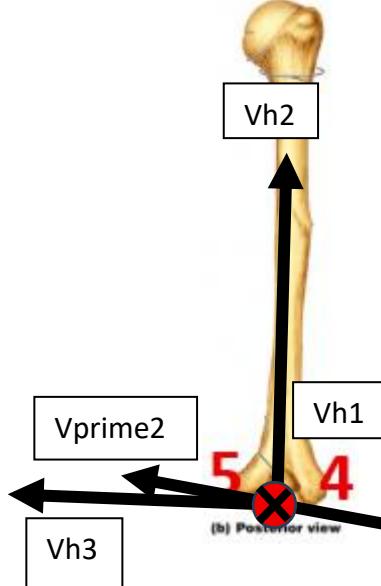
- Pour déterminer V_{o2} on réalise un produit vectoriel entre V_{o3} et V_{o1}

$$V_{o1} = \frac{V_{o3} \wedge V_{o1}}{\text{norme}(V_{o3} \wedge V_{o1})}$$

On obtient alors la matrice de passage $P_{\text{omoplate}} \text{anatomique}/E$

b. Repère technique omoplate

- Pour obtenir V_{h2} , on prend le vecteur passant par le milieu entre 4 et 5 et par 6, puis on le divise par sa norme.



$$V_{h2} = \frac{\left(\begin{pmatrix} x_6 \\ y_6 \\ z_6 \end{pmatrix} - \frac{1}{2} \left(\begin{pmatrix} x_5 \\ y_5 \\ z_5 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_4 \\ y_4 \\ z_4 \end{pmatrix} \right) \right)}{\text{norme} \left(\begin{pmatrix} x_6 \\ y_6 \\ z_6 \end{pmatrix} - \frac{1}{2} \left(\begin{pmatrix} x_5 \\ y_5 \\ z_5 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_4 \\ y_4 \\ z_4 \end{pmatrix} \right) \right)}$$

- Pour obtenir V_{h1} , on place V_{prime2} , passant par 4 et 5. On réalise un produit vectoriel entre V_{h2} et V_{prime2} pour placer V_{h1} , qu'on divisera par sa norme.

$$- V_{prime2} = \left(\begin{pmatrix} x_5 \\ y_5 \\ z_5 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_4 \\ y_4 \\ z_4 \end{pmatrix} \right); V_{h1} = \frac{V_{prime2} \wedge V_{h2}}{\text{norme}(V_{prime2} \wedge V_{h2})}$$

- Pour obtenir V_{h3} est obtenu avec le produit vectoriel entre V_{h1} et V_{h2} .

$$V_{h3} = \frac{V_{h1} \wedge V_{h2}}{\text{norme}(V_{h1} \wedge V_{h2})}$$

Sur le logiciel octave, les données précédemment stockées seront alors utilisées pour réaliser les calculs, en utilisant des fonctions telles que « cross » pour le produit vectoriel.

Des vérifications sont faites à chaque étape en utilisant les fonctions « norm » pour vérifier que les vecteurs soient unitaires et « sum($V_{o2} \cdot V_{o3}$) » pour vérifier que le produit scalaire est bien nul.

On obtient alors la matrice de passage $P_E/humérus \text{anatomique}$

3) Détermination des angles et analyse des résultats

Après avoir traduit le protocole théorique en partie III sous code dans le logiciel « Octave », on obtient les différents angles de rotations α , β et γ à l'aide des fonctions « plot ».

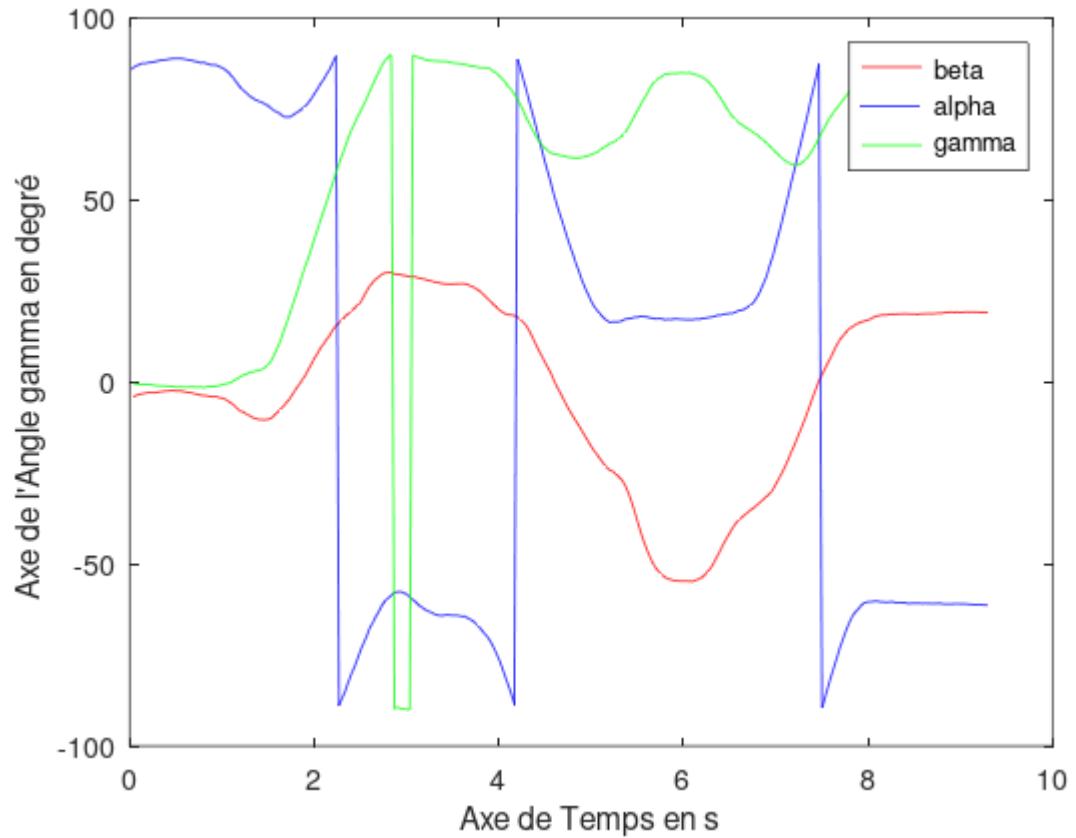


Figure 1 clément 1

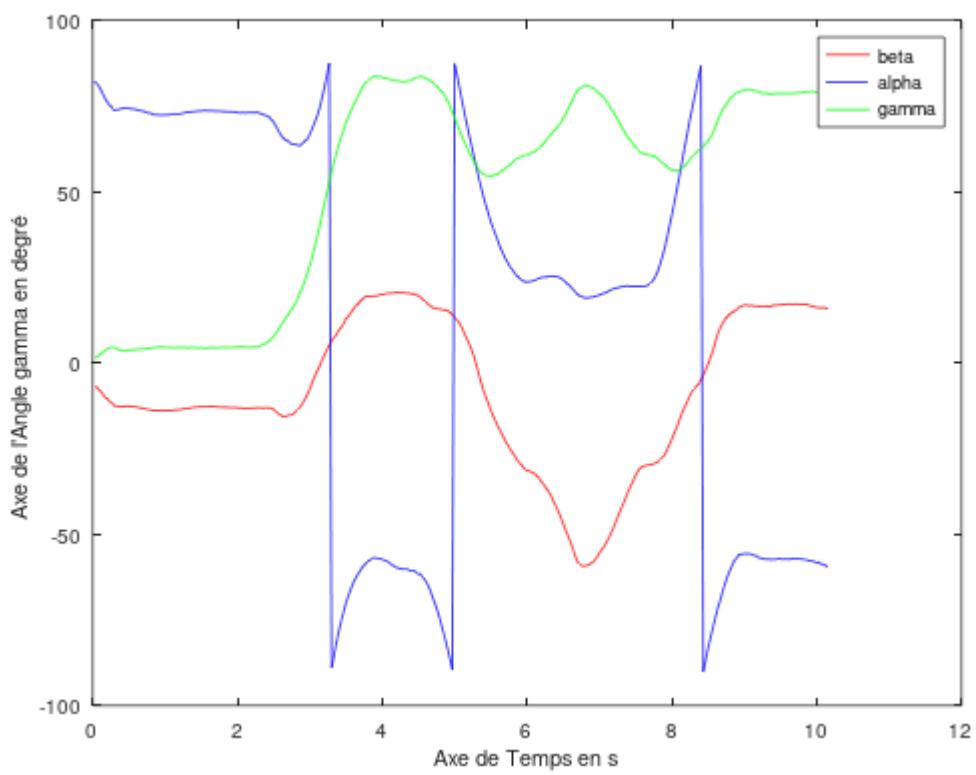


Figure 2 clément 2

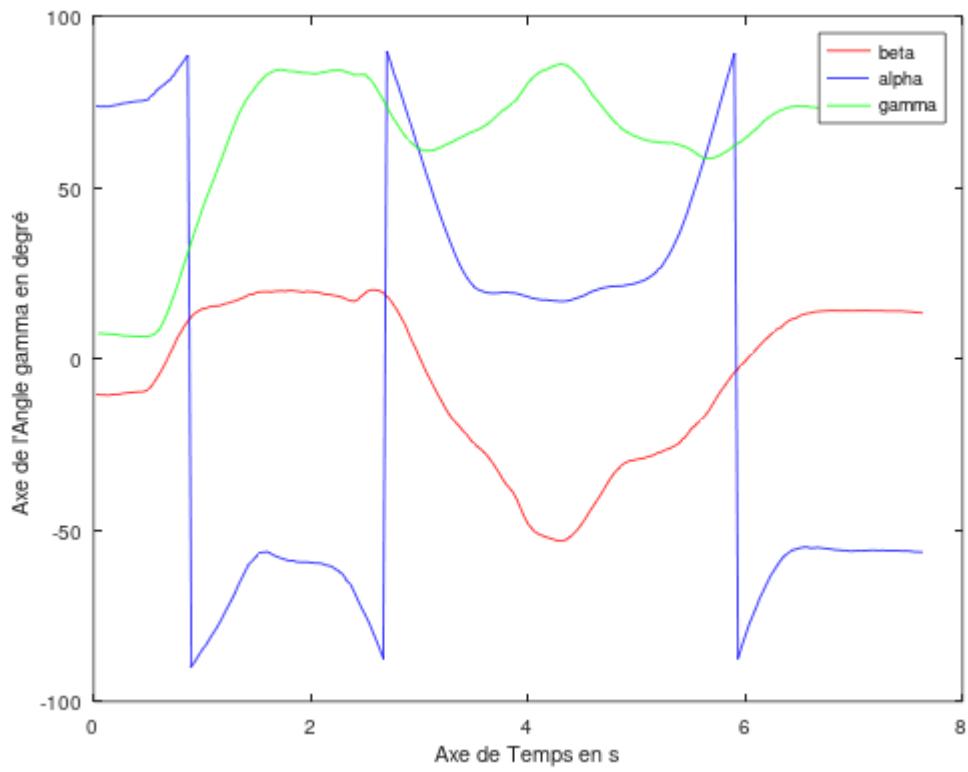


Figure 3 clément 3

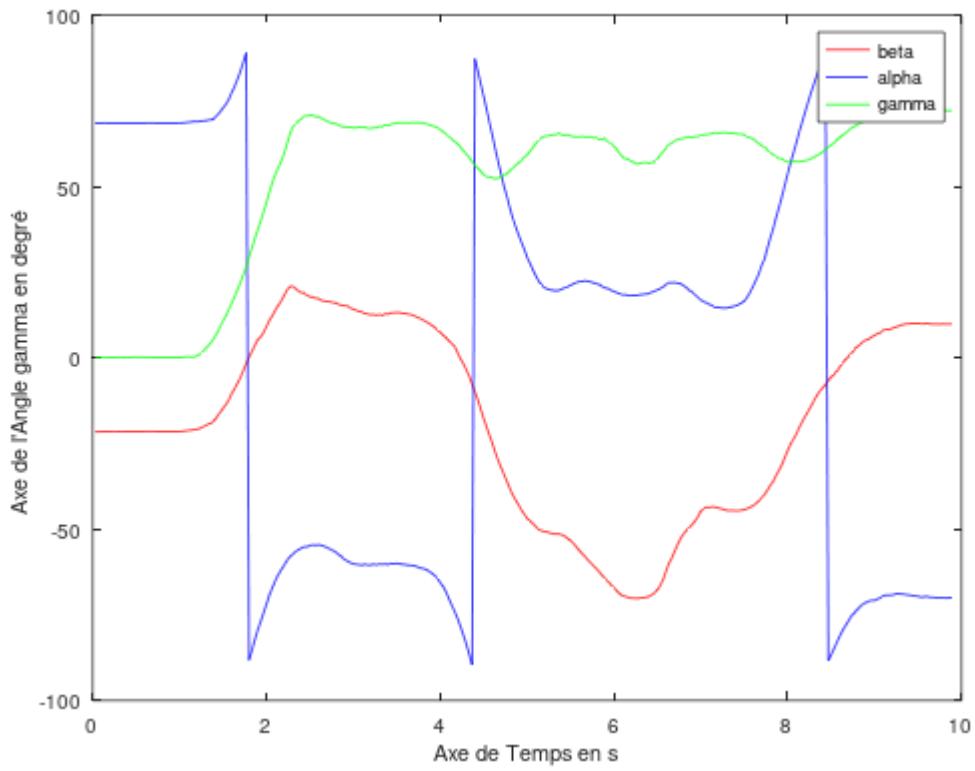


Figure 4 nicodème 2_1

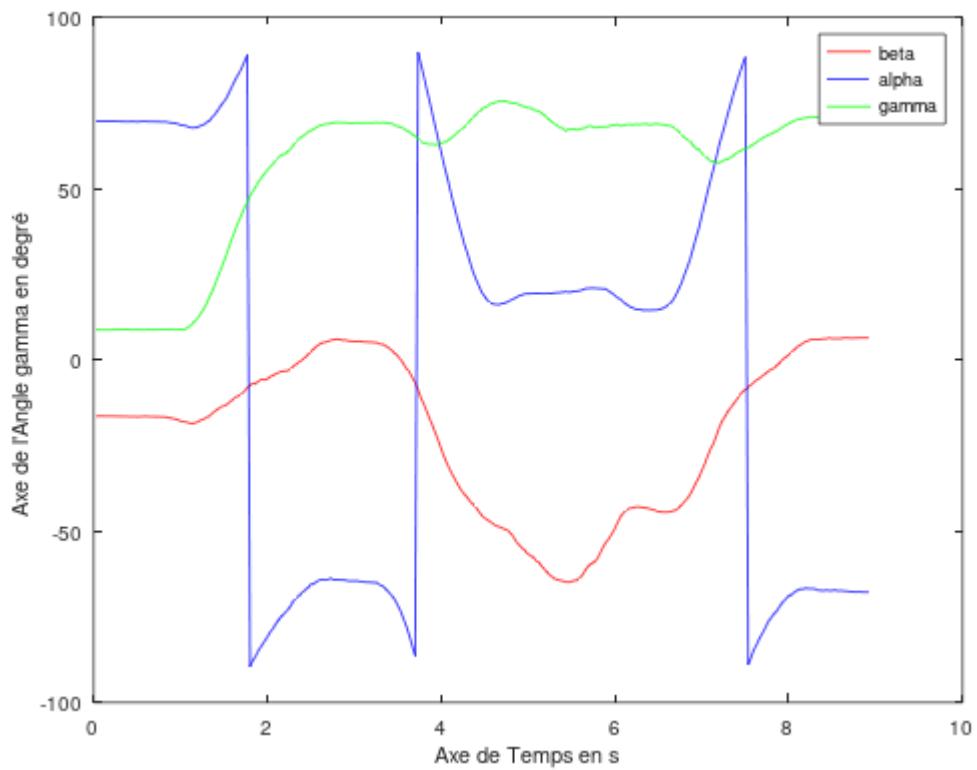


Figure 5 nicodème 2_2

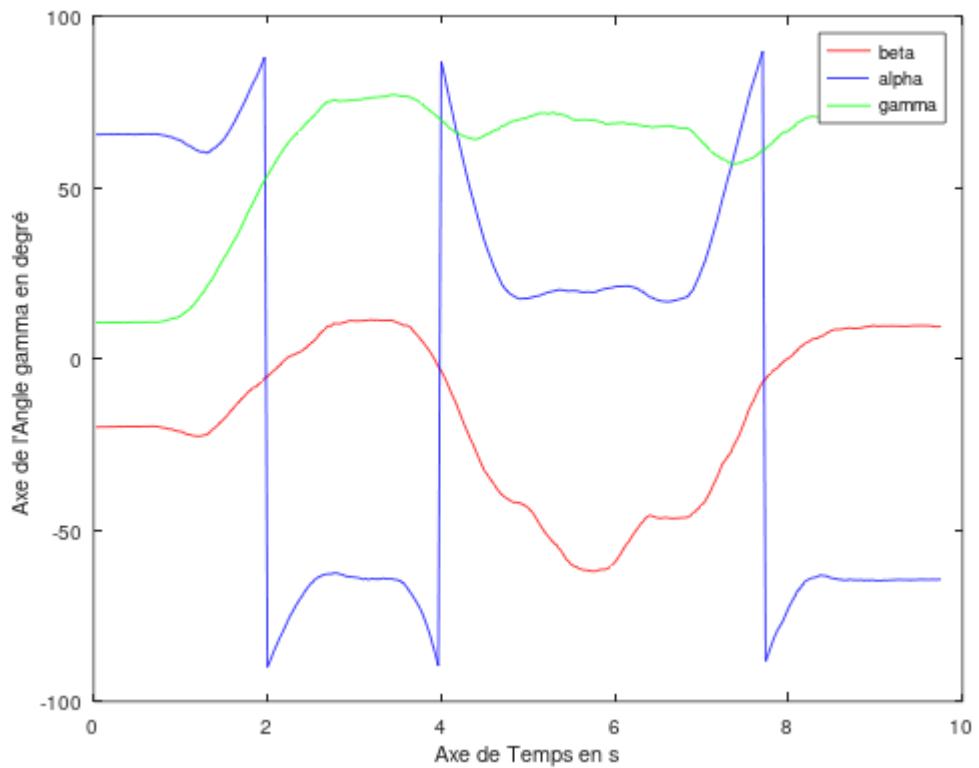


Figure 6 nicodème 2_3

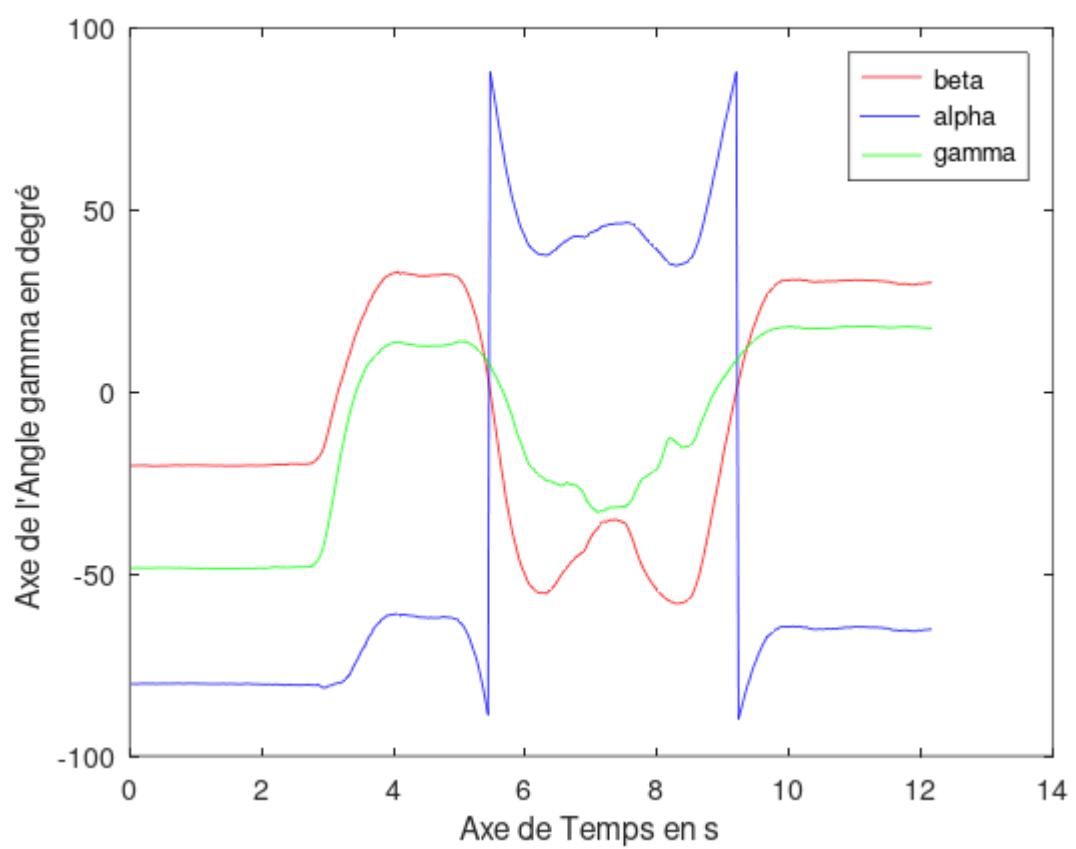


Figure 7 nicodème1_1

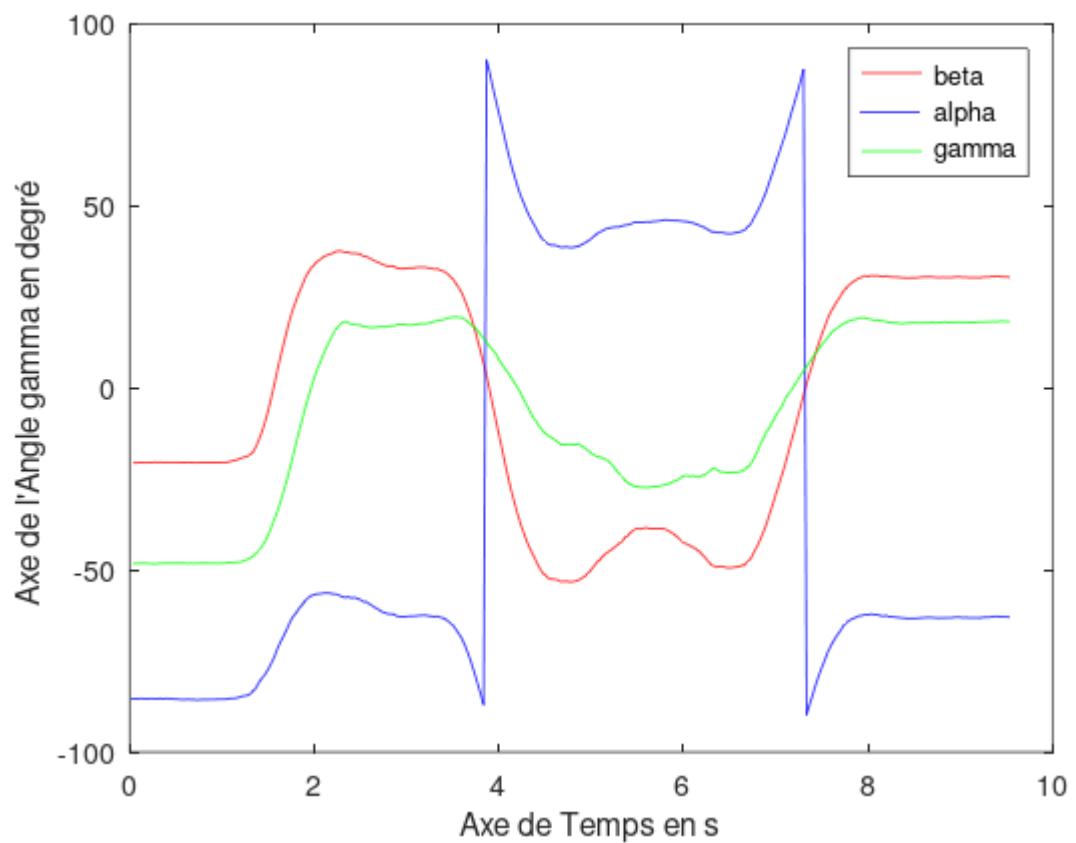


Figure 8 nicodème 1_2

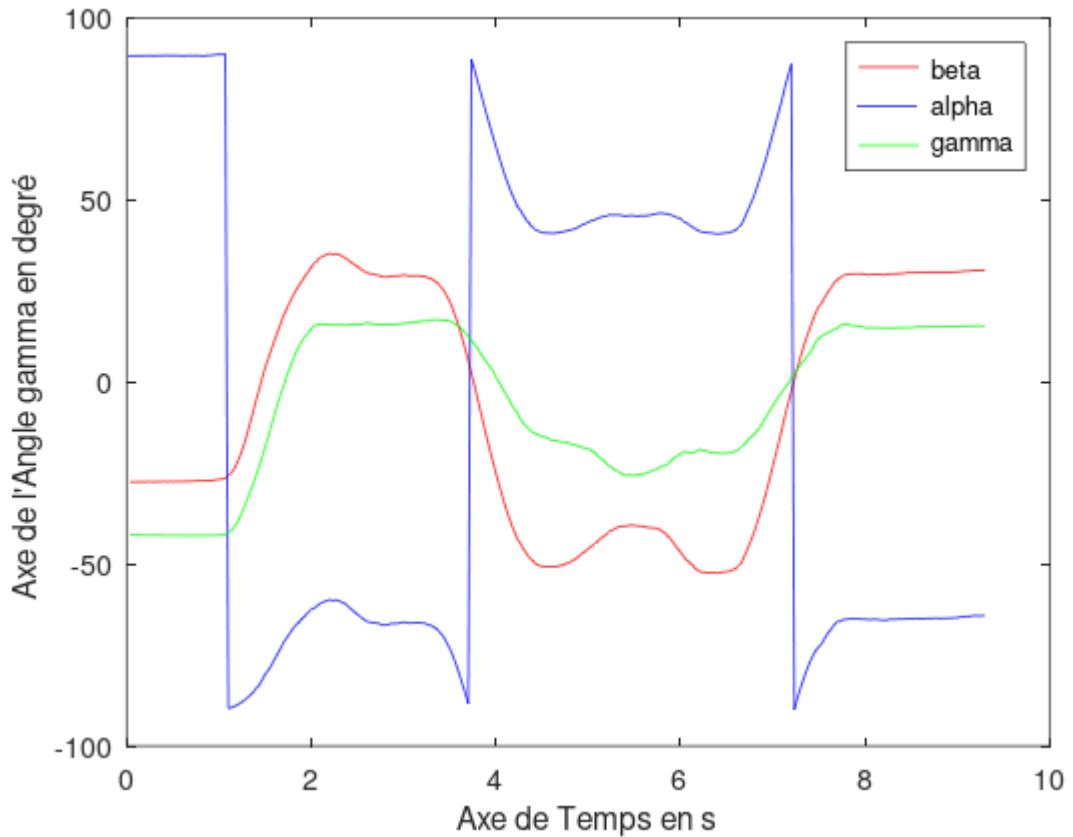


Figure 9 nicodème 1_3

De manière général on observe une bonne répétabilité intra session avec les mêmes valeurs approximatives atteintes suivant les 3 angles.

Néanmoins la reproductibilité extra session est discutable car malgré des comportements similaires, on observe des amplitudes angulaires différentes entre les 3 sessions.

Ainsi, on peut s'interroger sur la précision de la consigne de notre mouvement qui bien que simple, n'a jamais été parfaitement reproduit selon l'essai et les individus. De plus, la méthode de fixation de nos repères fixe est sans doute discutable car elle détermine largement la nature du mouvement expérimental.

Concernant l'analyse brut des mesures on retrouve bien le mouvement d'abduction lié à l'angle alpha, avec un abaissement du bras au milieu de l'expérience lors de l'activation de la rotation gamma du poignet.

Par ailleurs, on a du mal à clairement observer l'évolution des angles associés à chaque mouvement, notamment au niveau de l'évolution de beta. Enfin, l'utilisation de la fonction Arctan dans la résolution conduit à l'apparition d'asymptote verticales car certains angles atteignent la valeur critique de $\pi/2$

Enfin, nous avons été limités en rotation gamma autour de k'' à cause du capteur fixé sur la scapula ce qui est observable sur le relevé de mesure.

V. Conclusion :

Cette étude nous a permis d'établir un protocole expérimental et de l'analyser au moyen d'un modèle théorique qui nous a permis de critiquer nos résultats. Nous avons compris l'importance de définir un cadre clair d'expérimentation qui permette aussi bien d'identifier les variables mesurées que de produire des consignes claires au service des patients. Enfin l'analyse mathématiques des mesures souligne la complexité associée à des mouvements que nous pensions simples et la difficulté liée à leur analyse.