

Prothèse de main myoélectrique

(Extrait de concours S2I 2015 Concours Centrale-Supélec)

L'amputation d'un membre est une intervention chirurgicale lourde qui consiste à enlever tout ou partie d'un membre. Les causes d'une amputation sont multiples :

- les affections traumatiques (83%), accidents de la route, du travail, domestiques, ainsi que les brûlures, les gelures... ;
- les affections médicales (9%), irrigation sanguine insuffisante, infections osseuses ou des tissus, tumeurs...;
- les affections congénitales (6%) ;
- ...

Bien que l'amputation puisse être associée à des causes très différentes, celle-ci est toujours vécue comme un drame humain pour l'amputé. Elle le touche en effet dans son intégrité physique et elle bouleverse sa manière de vivre dans son activité quotidienne, ses études, son métier ou ses loisirs, modifiant ainsi ses aptitudes physiques. Les amputations du ou des membres supérieurs (un doigt, une main, un avant-bras ou un bras) représentent environ 14% des amputations en France, soit environ 8 000 à 10 000 amputations par an. Un cinquième des amputations des membres supérieurs sont des amputations cubitales, c'est-à-dire comprises entre le coude et le poignet. Afin de limiter les conséquences d'une amputation, le patient peut recourir à l'usage d'une main artificielle appelée dans la suite « prothèse ».

Il existe actuellement de nombreuses technologies de prothèse de main, parmi lesquelles les prothèses esthétiques, les prothèses passives et les prothèses myoélectriques. Les prothèses esthétiques sont visuellement proches d'une main réelle mais ont des possibilités fonctionnelles limitées (soutenir des objets, porter un sac...). Les prothèses myoélectriques (**figure 1a**), qui représentent la dernière génération, fonctionnent grâce aux contractions musculaires du membre amputé restant, à la suite des demandes du cortex frontal, qui sont acquises par des électrodes EMG (ElectroMyoGraphe) placées au contact de la peau. Ces électrodes délivrent des signaux électriques à un microprocesseur, qui après traitement, fournit les ordres de commande à un ou plusieurs actionneurs électromécaniques (**figure 1b**). Un gant esthétique recouvre l'ensemble de la prothèse.

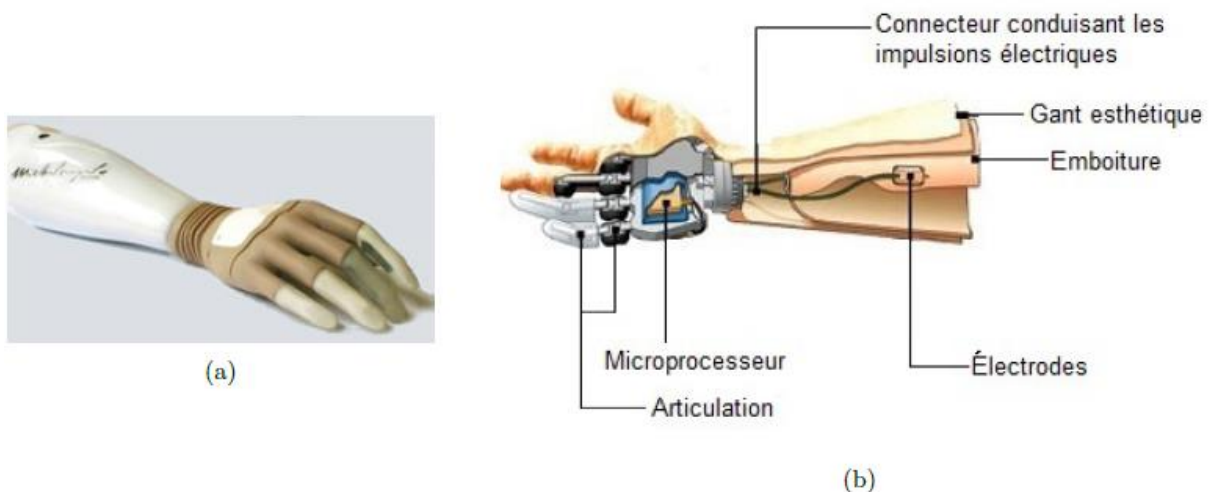


Figure 1 : (a) Photographie d'une prothèse myoélectrique ; (b) Constitution d'une prothèse myoélectrique

Ce sujet s'intéresse à une prothèse de main myoélectrique actuellement en phase de développement et dont la mise en vente est prévue en 2016.

Objectif

L'objet de l'étude est d'évaluer la capacité de cette prothèse à effectuer des gestes de la vie courante, en particulier saisir un verre à eau sans le casser.

Le **tableau 1** regroupe quelques verres de référence devant être saisis par une telle prothèse.

Modèle	Verre 1	Verre 2	Verre 3	Verre 4	Gobelet plastique
Dénomination	V1	V2	V3	V4	G
					
Contenance	33 cl	32 cl	42 cl	52 cl	20 cl
Diamètre mini	48 mm	61 mm	76 mm	94 mm	42 mm
Masse	175 g	310 g	340 g	200 g	3,3 g

Tableau 1 Paramètres des différents modèles de verre à eau

Les besoins du patient s'expriment en termes d'exigences décrites dans le diagramme de la **figure 2**.

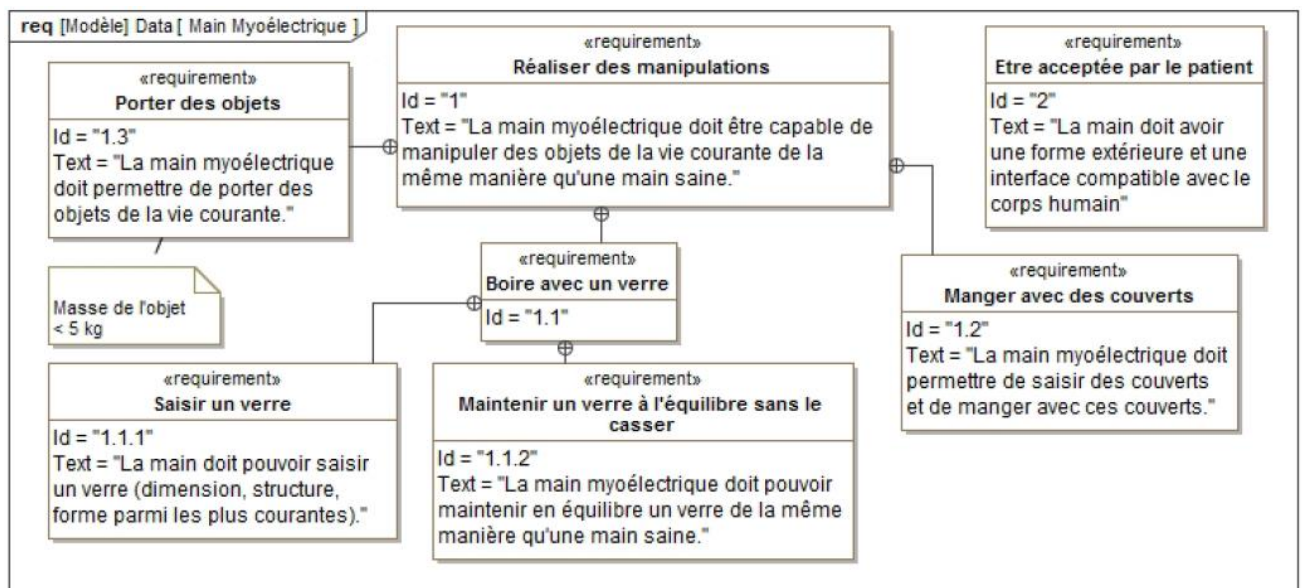


Figure 2 : Diagramme partiel des exigences de la prothèse de main

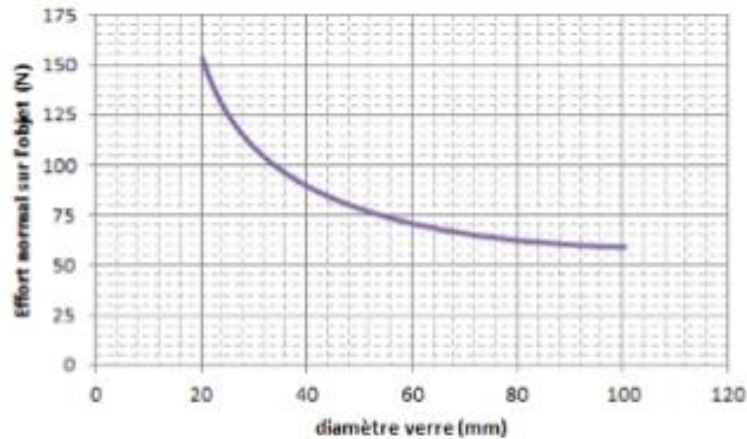


Figure 8 Évolution de l'effort normal exercé par l'index sur le verre en fonction du diamètre du verre

Le **tableau 2** décrit la qualification des exigences relatives à la fonction « Boire avec un verre ».

Id	Exigences	Caractérisation du service rendu	Critères				
			V1	V2	V3	V4	G
1.1.1	Saisir un verre	Très satisfaisant	■	■	■	■	■
		Satisfaisant	■	■	■	□	■
		Moyen	■	■	□	□	■
		Non conforme	Dans les autres cas				
1.1.2	Maintenir un verre à l'équilibre sans le casser	Très satisfaisant	■	■	■	■	■
		Satisfaisant	■	■	■	□	□
		Non conforme	Dans les autres cas				

Tableau 2 Caractérisation des exigences

L'objectif du sujet est de proposer quelques évolutions au prototype de prothèse déjà réalisé. Ce dernier est organisé structurellement tel qu'indiqué sur la **figure 3** (batterie non représentée).

Les électrodes positionnées sur les muscles de l'avant-bras délivrent des informations (impulsions électriques) traitées par le microprocesseur. Celui-ci élabore les ordres de commande pour les modulateurs d'énergie qui transfèrent la quantité d'énergie adaptée de la batterie aux actionneurs mettant en mouvement les phalanges de la prothèse.

La première partie permet de s'approprier la problématique à l'aide d'une analyse des différences entre une main humaine et une prothèse myoélectrique. Dans un premier temps, le contrôle de la position des doigts de la main prothétique n'est pas exigé. Les ordres de commande sont donc la demande d'une flexion ou d'une extension complète des doigts. Dans les parties II et III, des propositions d'évolutions du prototype de la prothèse myoélectrique sont étudiées afin que l'ensemble des services rendus du **tableau 2** soient très satisfaisants. Dans un second temps (partie IV), l'étude porte partiellement sur le contrôle de la position des doigts de la prothèse.

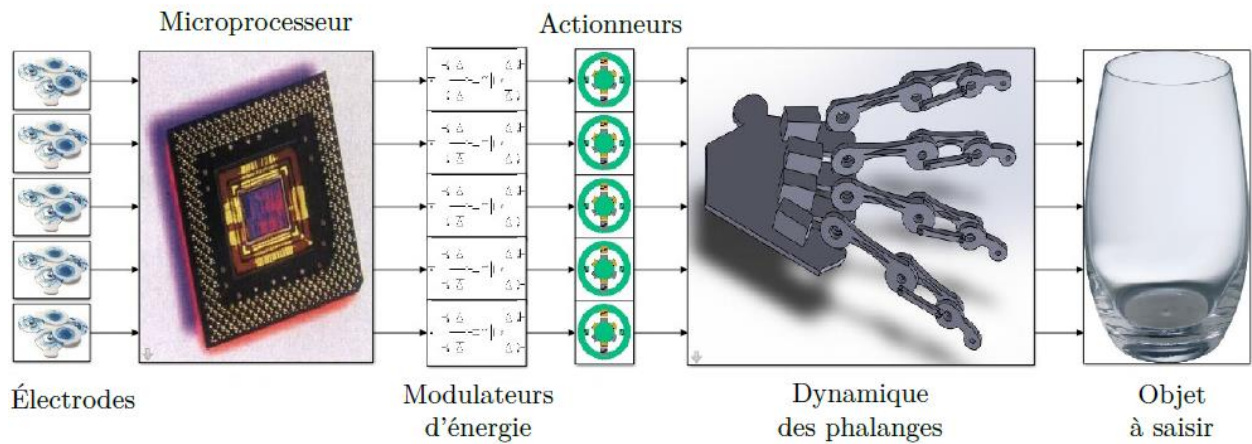


Figure 3 Organisation structurelle du prototype de prothèse myoélectrique

La prothèse myoélectrique, comme la main humaine, est composée de 5 doigts mus par 5 actionneurs (un pour chaque doigt). Chacun des doigts est composé de 3 phalanges, à l'exception du pouce constitué seulement de 2 phalanges. Les études étant identiques pour chaque doigt composé de 3 phalanges, seule celle de l'index est mise en œuvre.

La **figure 4** décrit sous forme simplifiée les constituants réalisant l'index d'une main gauche prothétique (gant esthétique non représenté). On retrouve notamment la paume (0), la phalange (3) associée à la biellette (4), la phalangine (5) associée à la biellette (6) et la phalangette (7). La bielle (2) permet la mise en mouvement de la phalange (3) à partir du mouvement de l'arbre de l'actionneur (1).

En raison d'un encombrement limité, les ingénieurs ont proposé, sur le prototype de la prothèse, que la rotation du pouce soit réalisée dans un plan perpendiculaire à celui de l'index. *La prise d'un objet se fait donc par pincement entre la phalangette (7) de l'index et la paume de la main (0). Le pouce de la main prothétique n'enroule donc pas l'objet.* Pour la saisie d'un verre, seule l'action de l'index est donc étudiée. À contrario, une main humaine enroule l'objet avec tous les doigts, pouce compris, et permet de saisir des objets de plus grandes dimensions.

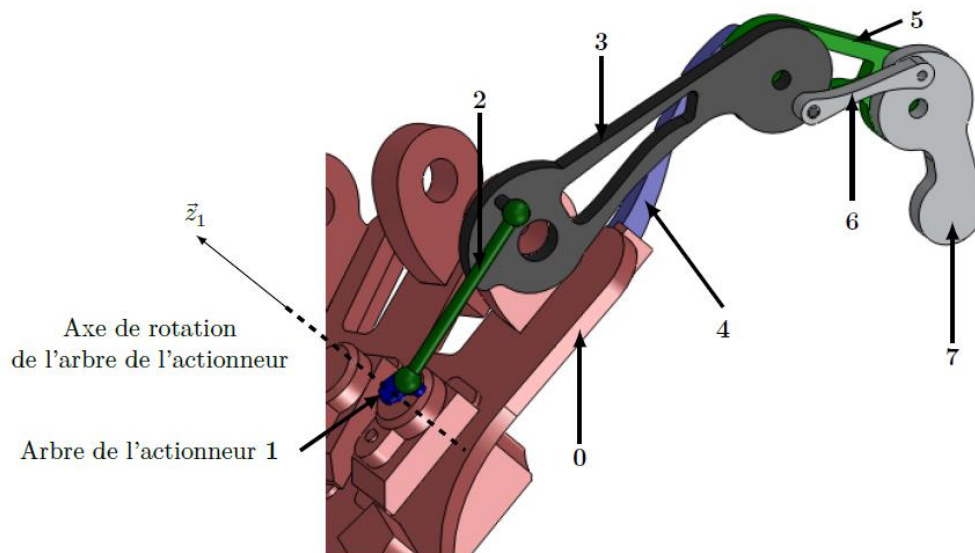


Figure 4 Description des constituants associés aux mouvements de l'index

I. Comparatif des structures de commande des mouvements des doigts

Objectif

Mettre en évidence les différences fonctionnelles entre une prothèse myoélectrique et une main humaine saine.

Les organes du corps humain intervenant dans la commande des doigts humains sont listés ci-dessous :

- l'appareil digestif transforme les aliments en nutriments et assure également leur passage dans le sang ;
- le sang transporte les nutriments à tous les organes, notamment aux muscles ;
- les muscles actionnent le squelette osseux articulé via des tendons ;
- les capteurs sensoriels contenus dans la peau acquièrent des informations sensorielles telles que la température, la pression, la douleur... ;
- la moelle épinière et les nerfs sensitifs transmettent les informations au cortex pariétal supérieur ;
- le cortex pariétal postérieur capte les informations sensorielles ;
- le cortex frontal traite, décide et élabore les ordres de commande ;
- la moelle épinière et les nerfs moteurs transmettent les informations du cortex frontal aux muscles.

Les fonctions remplies par ces organes du corps humain peuvent être rapprochées de celles remplies par les constituants de tout système complexe, à savoir, l'actionneur, le capteur, le conditionneur de signaux issus de capteurs, l'effecteur, l'interface de traitement, l'interface de puissance, le pré-actionneur, le transmetteur et l'unité de traitement.

Q 4. – Compléter le diagramme chaîne d'énergie-chaîne d'information du document réponse DR1 en indiquant les organes du corps humain intervenant dans le fonctionnement d'une main humaine.

Q 5. Compléter le diagramme chaîne d'énergie-chaîne d'information de la prothèse myoélectrique sur le document réponse DR2. Toutes les fonctions ne sont pas forcément assurées par un système. Par ailleurs, certaines fonctions présentent dans le DR1 n'existent pas dans une chaîne fonctionnelle des systèmes industriels, c'est le cas de la fonction Transporter.

Des essais expérimentaux sur les 5 types de verres à eau du **tableau 1** ont été réalisés à l'aide d'une machine de traction-compression afin de déterminer la valeur de l'effort de rupture ou d'écrasement. Les résultats moyennés sur 10 mesures sont répertoriés dans le **tableau 3**.

Modèle	Verre 1	Verre 2	Verre 3	Verre 4	Gobelet plastique
Effort (N)	532	437	461	233	12
Déformation	Rupture	Rupture	Rupture	Rupture	Écrasement

Tableau 3 Efforts normaux provoquant la rupture ou l'écrasement des verres

Q 6. À partir des tableaux et des figures fournis, indiquer le degré de satisfaction (très satisfaisant, satisfaisant ou non conforme) du service rendu par la prothèse pour l'exigence 1.1.2.

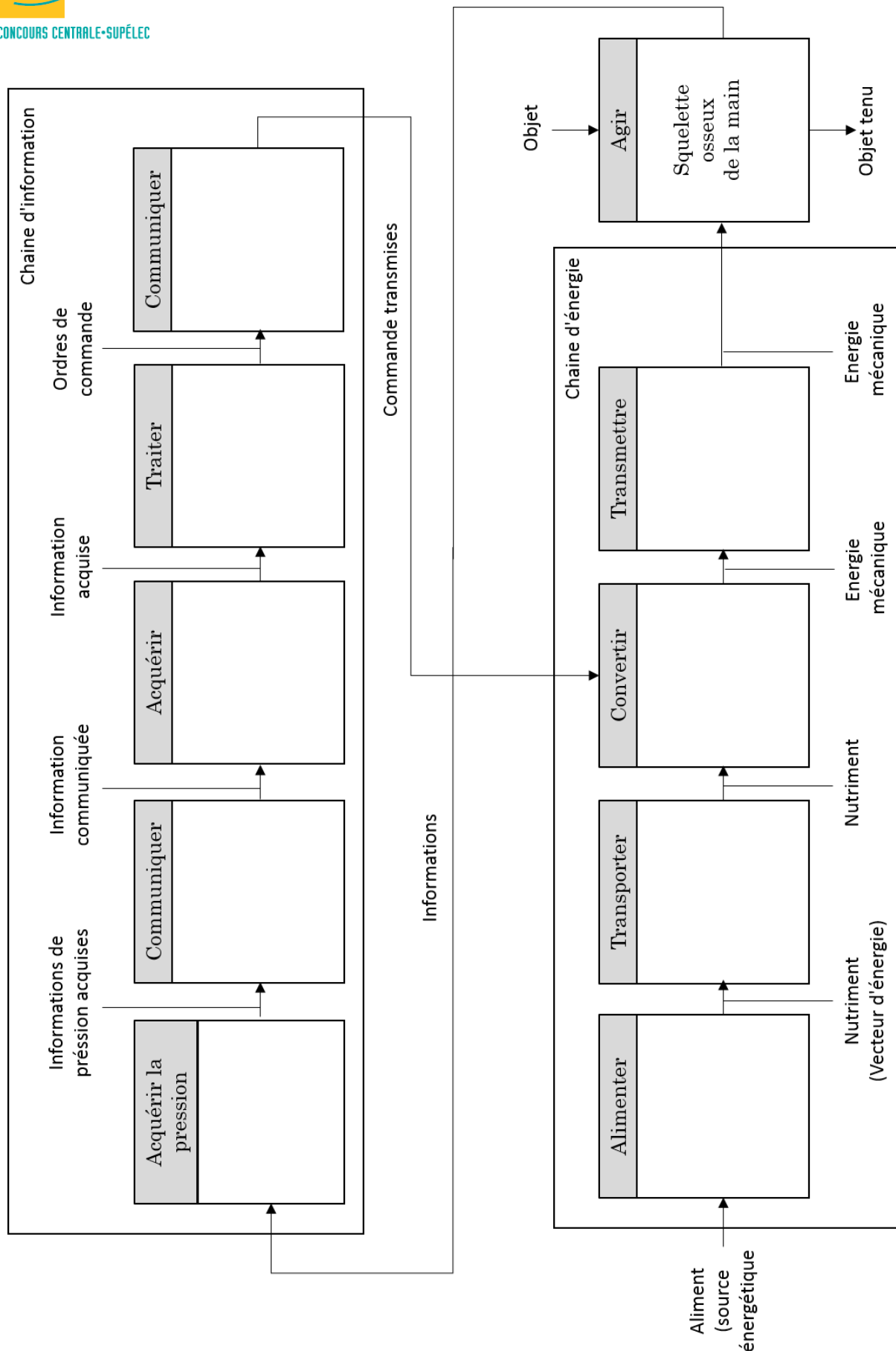
Q 7. Parmi les organes listés précédemment, préciser celui qui manque dans la chaîne d'information chez la personne amputée. Indiquer la différence de comportement lors de la prise d'un objet entre une main saine et une main amputée équipée.

Remarque 1 : Les questions en grisé sont directement issues du sujet de concours.

Remarque 2 : Le système proposé est dit à commande en chaîne directe. Son amélioration passe par un comportement de type asservissement (étudié par la suite dans le sujet de concours), une commande en chaîne fermée (voir le cours sur les systèmes de commande SLCD).



DR1 : chaîne d'énergie - chaîne d'information



DR2 : chaîne
d'énergie -
chaîne
d'information

