

Technologies de Compensation et Suppléance Motrice

Samuel POUPLIN , Ergothérapeute PhD

Plate-Forme Nouvelles Technologies

Directeur Unité de Recherche ERPHAN, Université Versailles Saint Quentin

Hôpital Raymond Poincaré - Garches

Tel : 01.47.10.70.61

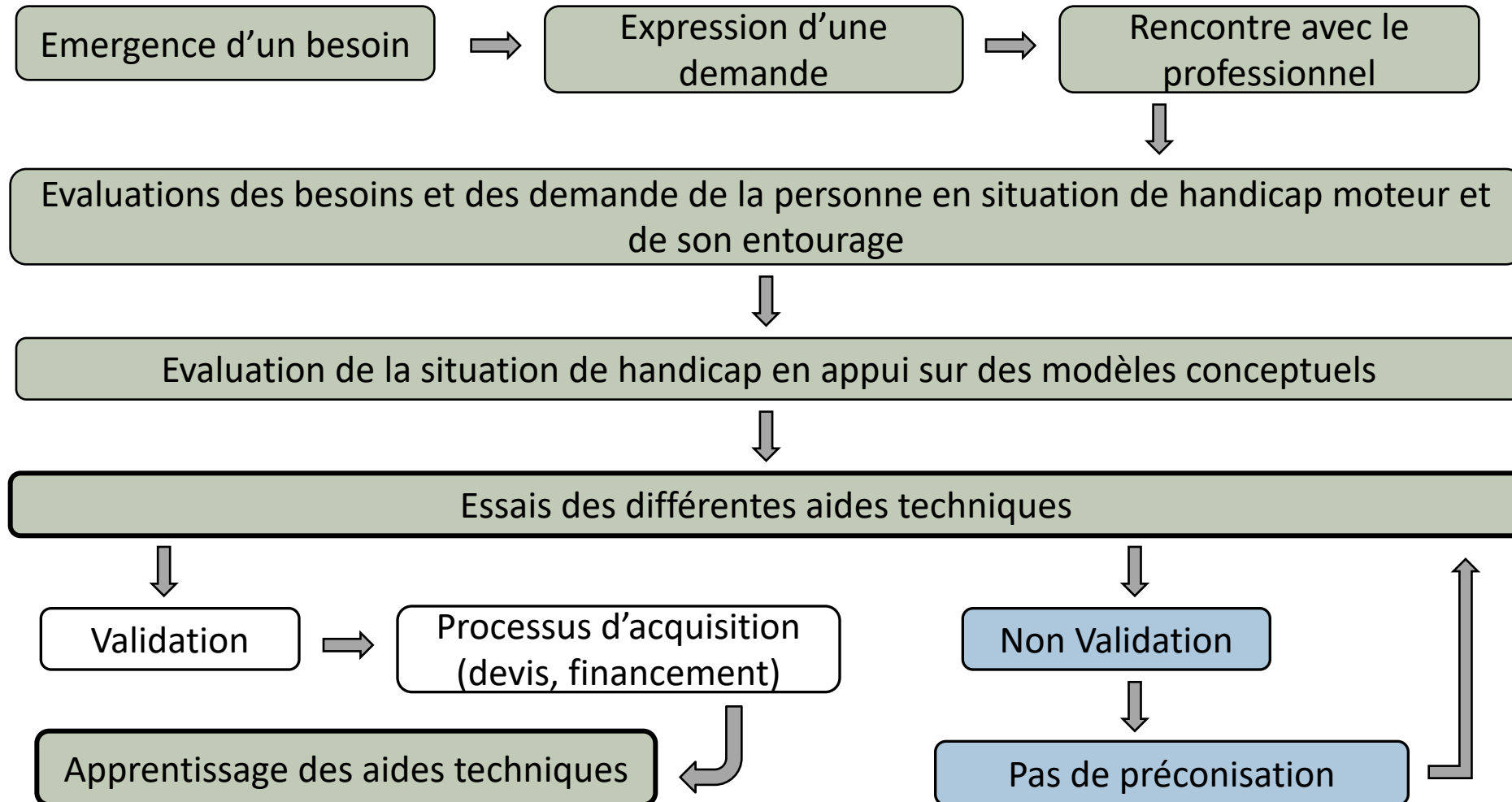
Email : samuel.pouplin@aphp.fr

Introduction

- Les Technologies de compensation et de suppléance motrice font appel au domaine des aides techniques.
- Champ très large regroupant des problématiques très diverses.
- Pouvant aller d'une solution simple aux solutions technologiques les plus complexes.
- Problématique du financement (LPPR, MDPH)

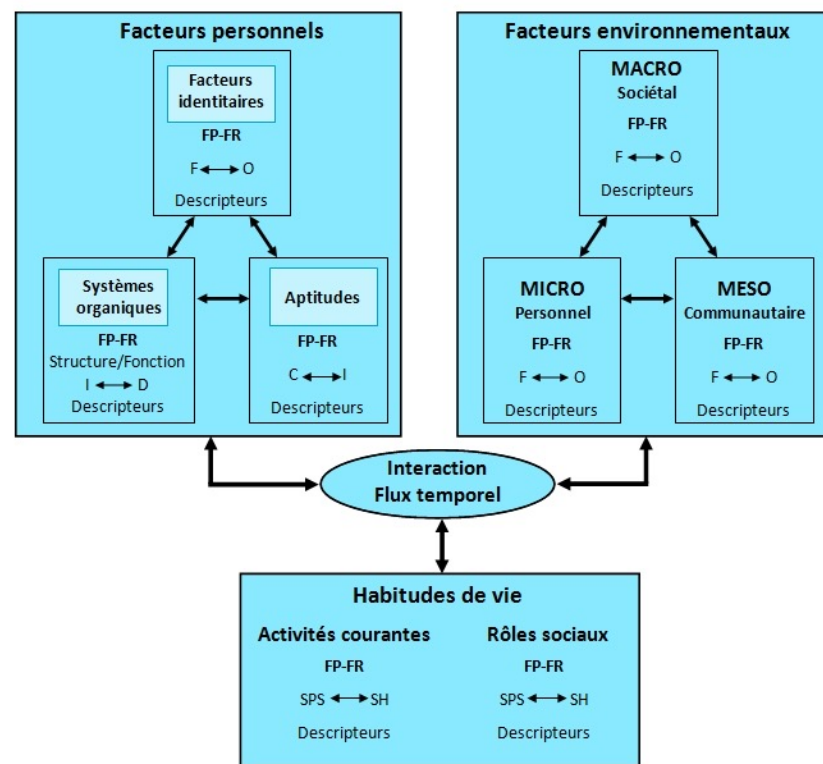
Processus de préconisation

Pouplin Bouteille 2010, Bauer 2011, Fougeyrollas 2010, Giesbrecht 2013, Scherer 2004



Modèle de Développement Humain, Processus de Production du Handicap et Préconisation des aides techniques

Modèle de développement humain
et Processus de production du handicap (MDH-PPH 2)
(Fougeyrollas, 2010)



Légende:
 FP-FR : Facteur protecteur-Facteur de risque
 F ↔ O : Facilitateur ↔ Obstacle
 I ↔ D : Intégrité ↔ Déficience
 C ↔ I : Capacité ↔ Incapacité
 SPS ↔ SH : Situation de participation sociale ↔ Situation de handicap

Plan de Cours

- **Communication.**
- **Domotique.**
- **Supports de bras.**
- **Robotique.**

Technologies Information Communication TIC

Quelques chiffres

CREDOC, 2021

4029 personnes (+de 12 ans)

- 76% de la population ont au moins un ordinateur à la maison (en diminution)
 - 25% plusieurs ordinateurs (en diminution)
 - 56% tablettes (ré augmentation après stabilisation)
 - 84% smartphones (forte augmentation_+7%)_94% téléphonie mobile.
 - 20% enceinte connectée
-
- 83% Connexion à Internet tous les jours
(43% ordinateur, 41% smartphones)
 - 76% achats en ligne
 - 67 % réseau social
 - 71% démarches administratives
 - 88% TV / 29% Autres Supports / 36% SVOD

TIC

- Réinsertion professionnelle ou scolaire
- Communiquer
- S'informer
- Se divertir...

Véritable enjeu pour les personnes en situation de handicap moteur !

Les différents supports

Les ordinateurs de bureau



Les portables / Netbooks



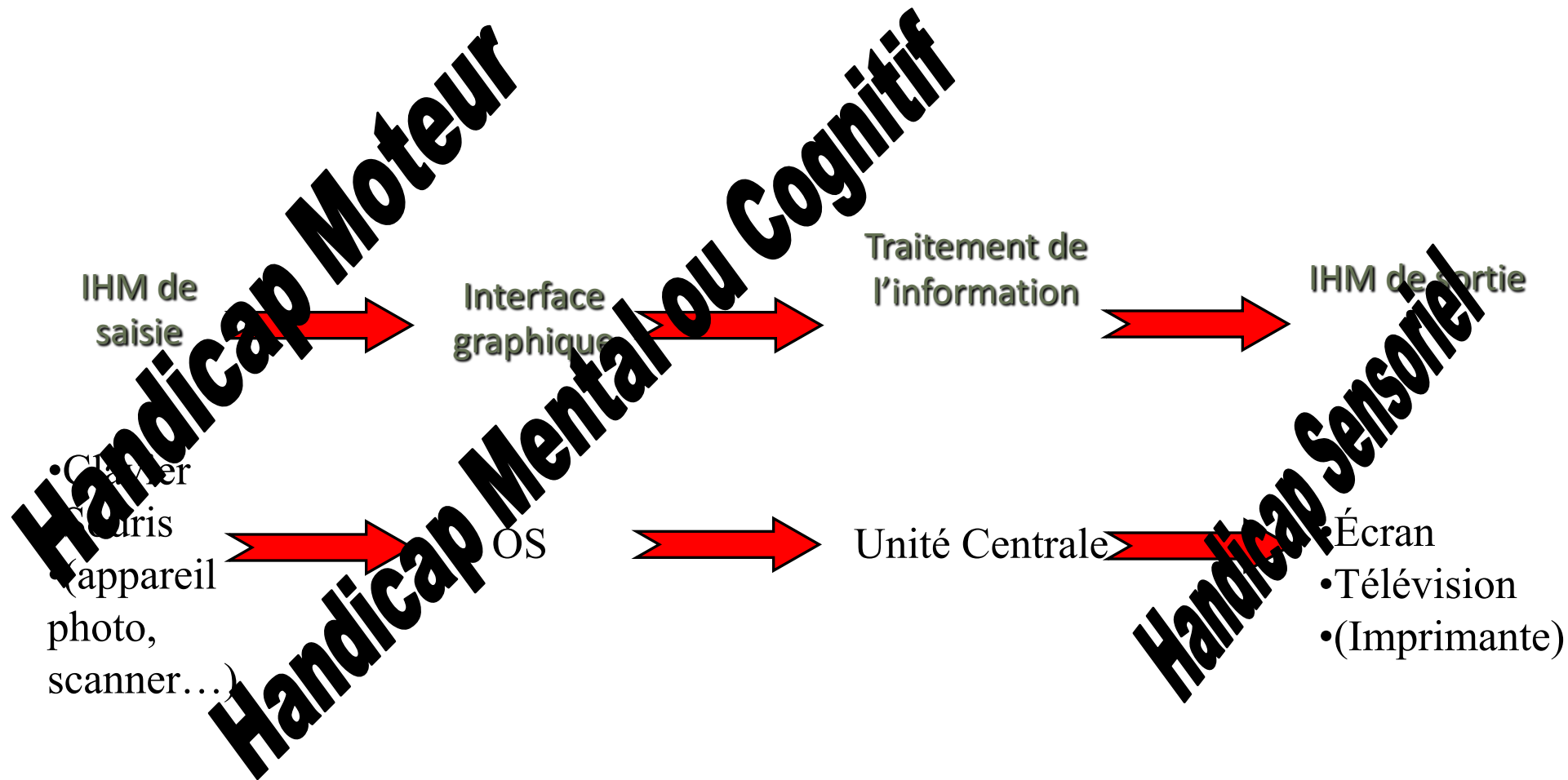
Les Tablettes tactiles



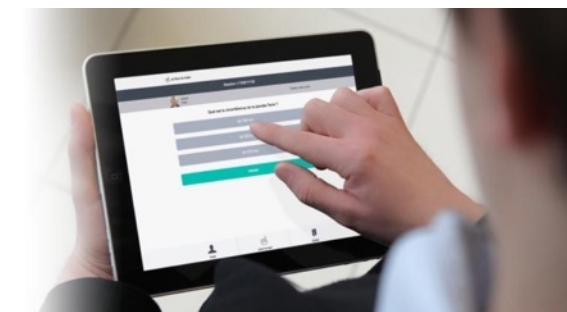
Les Smartphones



Composition des supports



L'accès au périphérique de pointage



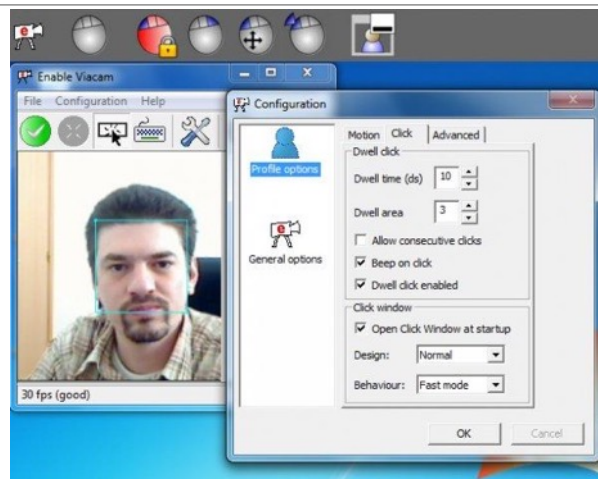




Pointages à la tête



HEAD MOUSE
Nano 960€



Souris sans fil
Zono 1300€



Tracker
Pro1200€

Les pointages oculaires



IrisBond Duo 1900€



Tobii PC Eye Mini 1400€



Tablettes avec commande oculaire intégrée



**Eyegaze
Edge**



**Tobii Iseries
Entre 13 000€ et 16 000€**



**Tellus I5
12 000€**

Interfaces de FRE



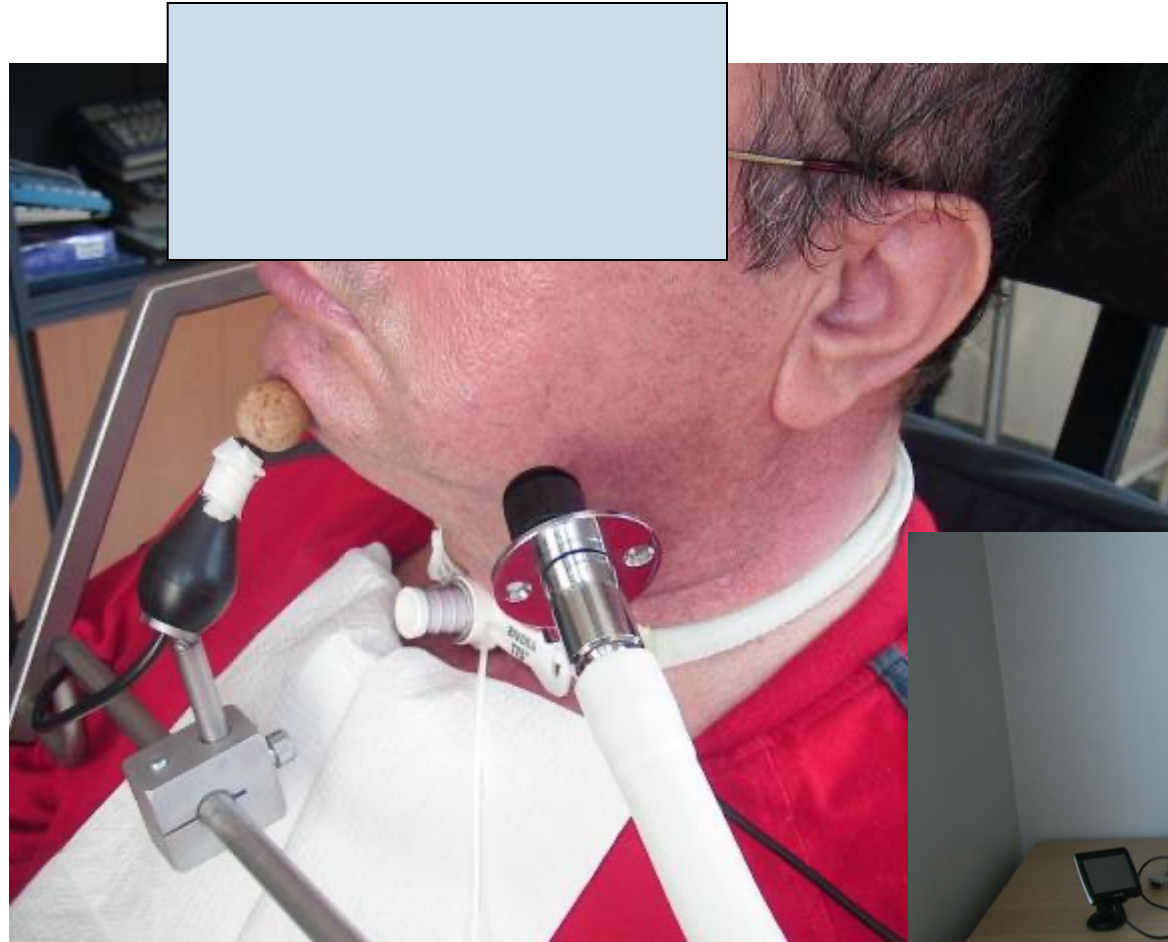
Interfaces de FRE

Accès par Joystick standard, commande au menton, commande occipitale, etc.

Connexion par Bluetooth entre l'électronique (R-Net, LiNX, ...) du FRE et le support (Téléphone, tablette, ordinateur)

Attention au nombre de connexion Bluetooth de l'électronique, mais aussi du support.





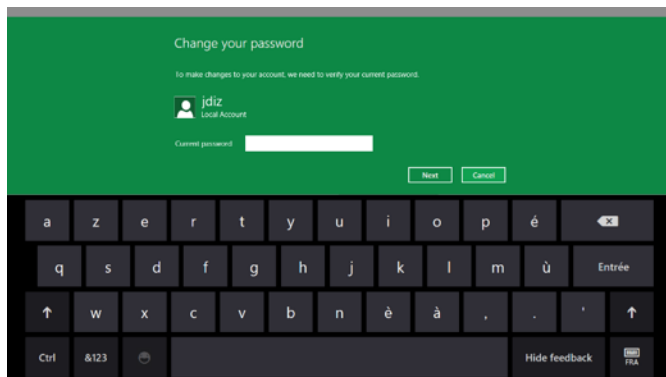
L'accès au clavier

- **Les claviers physiques**
- **Les claviers virtuels**
- **Les alternatives au clavier : la dictée vocale**

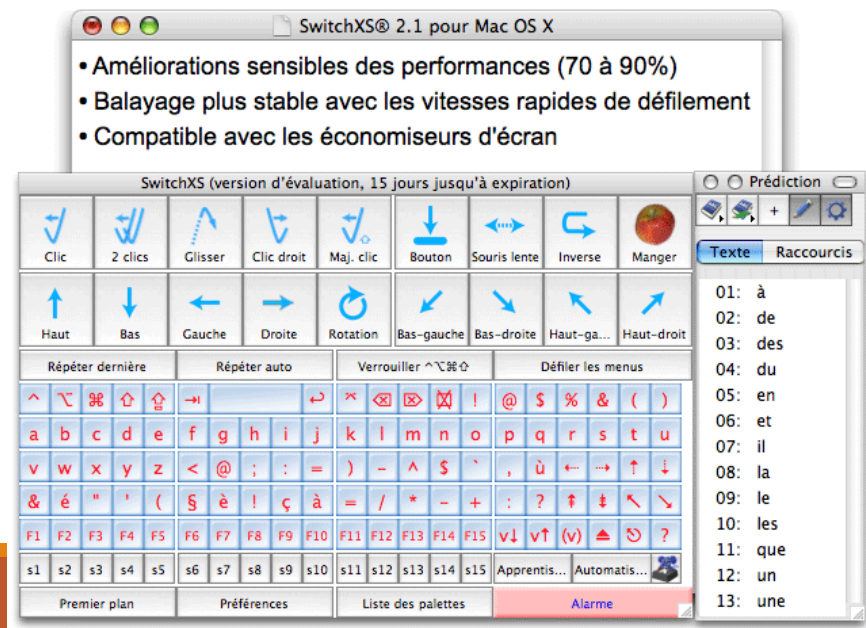
Les claviers physiques



Les claviers virtuels



<http://www.civikey.com>



les logiciels de prédictions de mots



- Penfriend (100€)
- Skippy (240€)
- Telepathic (280€)

Résultats dépendent du groupe de tétraplégie

- Tétraplégies Hautes (clavier virtuel):
 - Vitesse de saisie de texte augmentée par usage prédiction de mots (fréquence activé).
- Tétraplégies Basses (clavier standard):
 - Vitesse saisie texte diminuée par usage prédiction de mots.
 - Nombre d'erreurs diminué par usage prédiction de mots (fréquence activé).

Une alternative au clavier : les dictées vocales



Personnes Tétraplégiques	Interfaces	Vitesse de saisie de Texte (mots par minute) Médiane (Inter Quartile)
Interfaces	Logiciel de Reconnaissance Vocale	18 [17;21] †
	Clavier Virtuel	3 [3;4] †
	Clavier Physique	8 [7;10] †

Personnes Valides : 19 [14; 24] mots par minute



La domotique et Habitat intelligent

Définition

- **Domotique : Ensemble des techniques et technologies électroniques, informatiques et des télécommunications permettant d'automatiser la gestion d'une habitation.**
- **Ses principales applications concernent la sécurité et la surveillance, les communications, et le contrôle ou automatisation de l'environnement.**

Intérêt de la domotique

- **Améliorer l'indépendance de la personne**
- **Restructurer le temps de présence de la tierce personne**
- **Soulager les aidants**
- **Sécuriser le retour ou le maintien au domicile**

Mais...

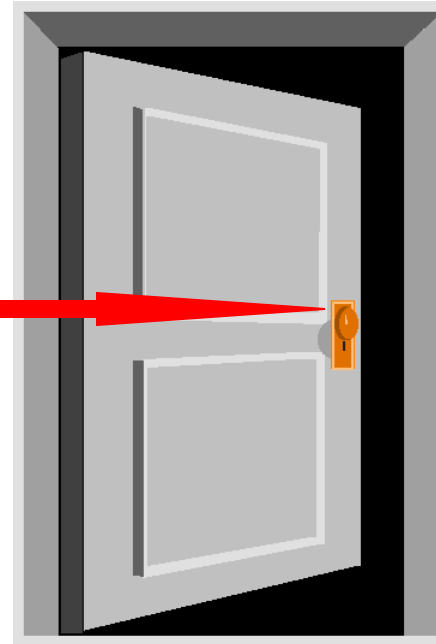
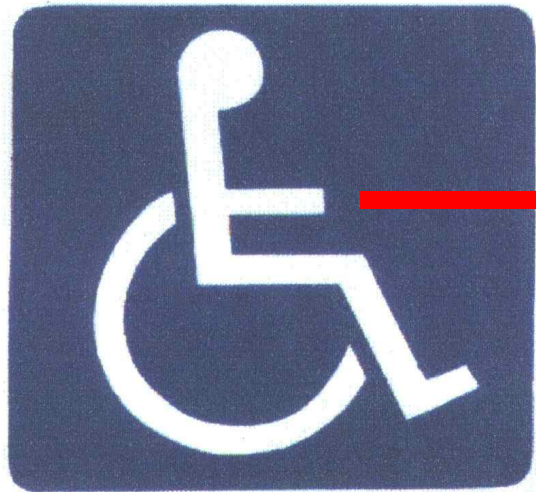
- Ne rend pas entièrement indépendant (habillage, toilette, repas...)
- Peut être sujet à des pannes techniques
- Installation longue et coûteuse
- Peut faire le café, mais ne le sert pas...

PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT :

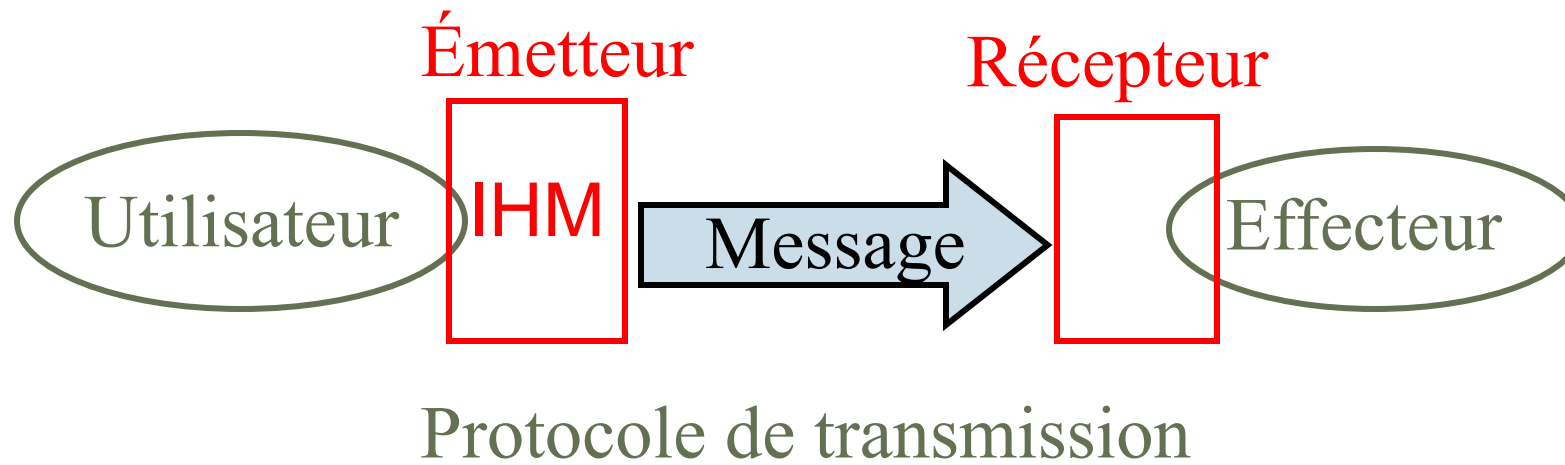
3 niveaux d'interactions

- La personne agit sur l'environnement
- L'environnement agit sur l'environnement
- Interaction avec traitement de l'information

1er niveau : La personne agit sur l'environnement



Les principes de bases



Les effecteurs

- Appareils électroménagers
- Éclairage..
- Ascenseur
- Motorisations : Porte, fenêtre, volet...
- Climatisation, chauffage
- Lit
- Téléphone

*Points lumineux**Volets roulant**Lit**Porte+serrure**Chauffage**Ascenseur*

Les effecteurs

Attention à la mise en compatibilité !

- Appareils électroménagers
- Éclairage..
- Ascenseur
- Motorisations : Porte, fenêtre, volet...
- Climatisation, chauffage
- Lit
- Téléphone



Points lumineux

Volets roulant

Lit

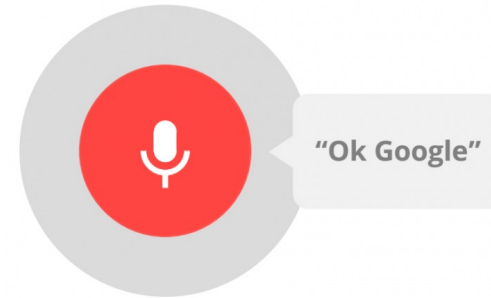
Porte+serrure

Chauffage

Ascenseur



Solutions grand public



Les téléthèses

Télécommandes universelles

Capable de décoder des codes IR et des les restituer

Accessibles pour des personnes en situation de handicap + paramétrable

Sont commandables :

- Au clavier
- Par contacteur en défilement
- À la voix
- Par le joystick du fauteuil roulant

Les téléthèses



Housemate

Housemate - Domodep

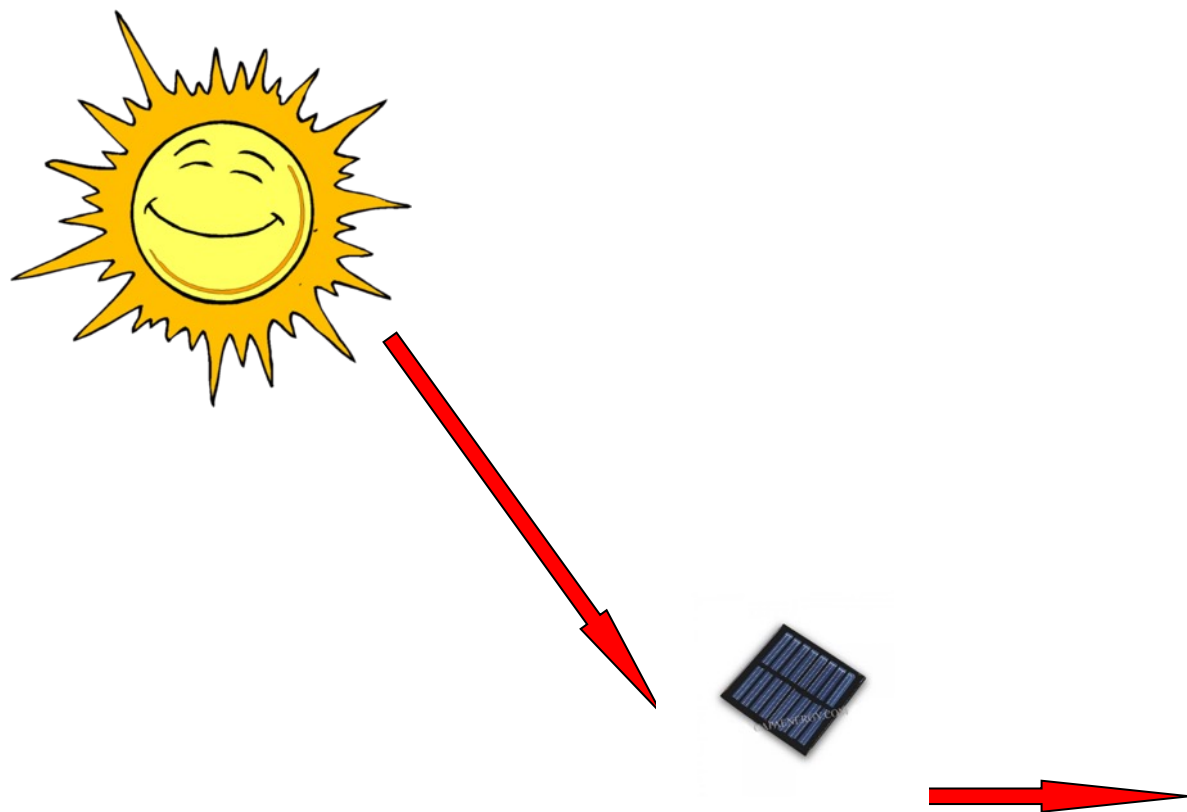


Gewa One

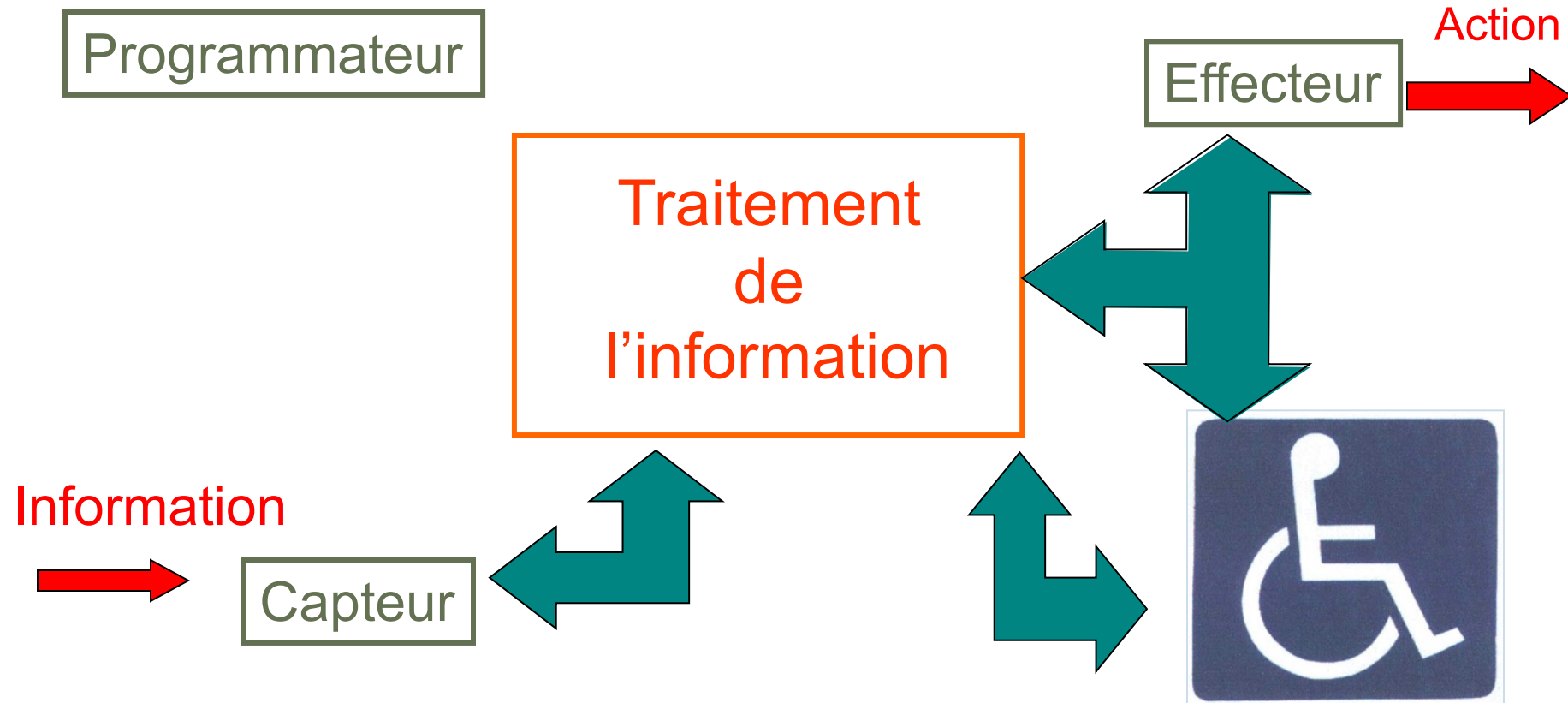


Magic Drive Touch

2ème niveau : l'environnement agit sur l'environnement



3ème niveau : Interactions



LES FONCTIONNALITÉS DE LA DOMOTIQUE AU SERVICE DE VOTRE INTÉRIEUR



GESTION D'ÉCLAIRAGE

Fixez le seuil de variation idéal de vos éclairages afin de créer l'ambiance parfaite.



RÉGULATION DE TEMPÉRATURE

Optimisez votre consommation énergétique en visualisant et en contrôlant la température de chaque pièce à domicile ou en déplacement.



PROTECTION ANTI-EFFRACTION

Restez serein durant votre absence à l'aide d'une alarme adaptée à vos besoins et à une simulation de présence. Gardez un œil sur votre habitation où que vous soyez par vos caméras.



GARANTIE DE SÉCURITÉ

La sécurité est un besoin fondamental. Assurez-la grâce à nos installations qui vous avertissent en cas d'incendie, de fuite de gaz ou d'inondation.



MESURES D'ÉNERGIE

Grâce à votre système de supervision, visualisez aisément vos consommations sous forme de graphiques.



COMMANDE À DISTANCE

Restez en contact permanent avec votre habitation et pilotez-la à distance au moyen de votre smartphone, votre tablette ou votre ordinateur.



PILOTAGE DES STORES

Pilotez vos stores de manière centralisée sans vous déplacer et protégez-les automatiquement des fortes intempéries.



GESTION DE LA VENTILATION

Programmez l'aération intérieure de votre habitation selon des horaires définis.



VIDÉOPHONIE

Gérez l'accès de votre habitat en toute sécurité grâce à votre vidéophone. En cas d'absence, vous enregistrez l'image des personnes que vous avez manquées.



MULTIROOM AUDIO-VIDÉO

Projetez vos films ou écoutez votre musique dans la pièce de votre choix, en toute simplicité.



AMBIANCE SUR MESURE

Éclairage, stores... créez une ambiance qui vous correspond et enregistrez-la d'une touche. Vous pourrez ainsi établir votre scénario préféré pour chaque occasion.



ASSISTANCE À DOMICILE

La domotique vient également en aide aux personnes âgées ou en état de dépendance et leur permet ainsi de rester à leur domicile.

Difficultés de mise en place d'une installation domotique:

Coût

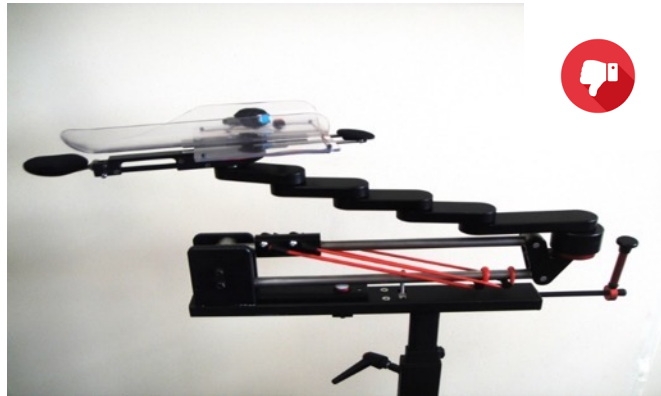
Fiabilité : maintenance

Manque de personnel qualifié

Lié à la culture et aux habitudes de vie

Les supports de bras antigravitaire

Aides techniques passives qui répondent à un besoin de compensation bras/avant bras :
Edero, Dowing, Top Help, IFloat entre 2400 et 6000 €



TOP HELP



DOWING



PURA

© ERGO-DIFFUSION

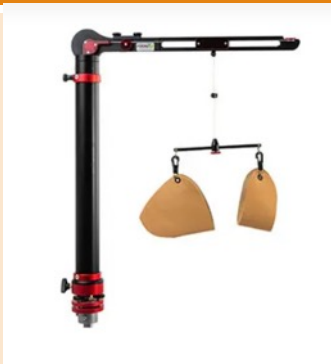
I FLOAT

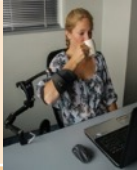


EDERO



WREX

	BALANCER		SLING		TOP HELP	
						
Utilisation	Manger, boire, utiliser un ordinateur, communiquer, se soigner...		Manger, boire, utiliser un ordinateur, communiquer, jouer...		Support de bras mécanique d'assistance du mouvement	
Caractéristiques	- Compensation des fonctions du membre supérieur - Support de bras à suspension, mécanisme de balancier - Permet de bouger les bras et les mains plus facilement - Elimine la force de gravité, de partiellement à intégralement - Nécessite la capacité d'abaisser le bras		- Elimine la gravité en soulevant le poids du bras et en utilisant le principe de la suspension - Câble lié à l'appareil jusqu'à un contrepoids qui compense la pesanteur, permettant de bouger l'avant-bras horizontalement et verticalement - Stabilité, douceur et précision des mouvements - Fabrication sur mesure si nécessaire - Espace sous le bras laissé libre afin pour ne pas gêner les mouvements - Version électrique disponible		- Manger, boire... - Mouvements horizontaux circulaires à hauteur prédéfinie - Avant bras libre de ses mouvements - Ajustement vertical par élastique - Blocage pour stabiliser l'avant-bras - Coude mobile (flexion et extension) - Option : support réglable en longueur - Rotation à 360° (butées de frein) - Top help électrique - Elévation du bras de 70 à 120 mm depuis la fixation - Flexion/extension de l'épaule - Branché sur fauteuil roulant électrique	
Positionnement	- Fauteuil roulant, chaise, table ou base mobile - Peut être utilisé d'un côté ou des 2		- Fauteuil roulant, chaise, table - Peut être utilisé d'un côté ou des deux		Sur fauteuil roulant, chaise, table, des 2 côtés	
Système	Mécanique		Mécanique		- Mécanique ou électrique - Haute qualité, faible résistance	
Transportable	Oui, pliable		Oui		Oui	
Fabricant	Focal Meditech		Focal Meditech		Focal Meditech	

	EDERO	PURA	iFLOAT	DOWING
				
Utilisation				
Caractéristiques	- Manger, boire, se brosser les dents, se gratter, utiliser un ordinateur... - Elimine la force de gravité - Version bras droit ou bras gauche - Soutien palmaire possible	- Repas, toilette, ordinateur ... - Suit le mouvement, le compense, lutte contre la pesanteur - Version bras droit ou bras gauche - Soutien palmaire possible	- Assistance pour les activités de la vie quotidienne en cas de perte de force musculaire : manger, boire... - Déplacements assistés, se font avec moindre effort dans les 3 dimensions de l'espace - Peut se positionner à droite ou à gauche voire sur les 2 côtés - Support de bras mécanique - Rend le bras plus léger avec une liberté de mouvement - Attaches simple à la plupart des tables via un étau - Réglage variable en continu horizontale et verticale	- Bras d'assistance - Ajustement de la compensation possible de manière simple et ergonomique - Assistance aux activités de la vie quotidienne : manger, boire, soins, ordinateur - Réglage facile et ergonomique de la compensation de gravité - Force d'assistance de 0 à 100 % - Bras avec support de coude et poignet supplémentaire - Grande portée et liberté de mouvement - Système d'équilibrage de la position : crée une force verticale constante
Positionnement	- Fauteuil roulant, chaise, table - Non compatible avec les FRE	Sur fauteuil roulant ou siège de bureau (en potion)	Sur table, chaise, fauteuil roulant	Sur table, chaise, fauteuil roulant (pince étau)
Système	- Fixation facile par système étau - Mécanique, réglages par vérin crémaillère - Possibilité de fixer le degré d'angle du bras - Grandes amplitudes dans les 3 dimensions - Compensation de 0,9 à 4,5 kg - Roulements à billes de haut niveau	- Mécanique avec réglages possibles - Grandes amplitudes de mouvement dans les 3 dimensions - Compensation de 0,9 à 4,5 kg - Compensation par microgravité - Version enfant	Mécanique	- Mécanique - Roulements de haute qualité
Transportable	Oui, faible encombrement	Oui	Oui	Oui

Aides techniques actives qui répondent à un besoin de compensation bras/avant bras : Ayura, Gowing, Top Help, IFloat entre 8000 et 21000 €



GOWING



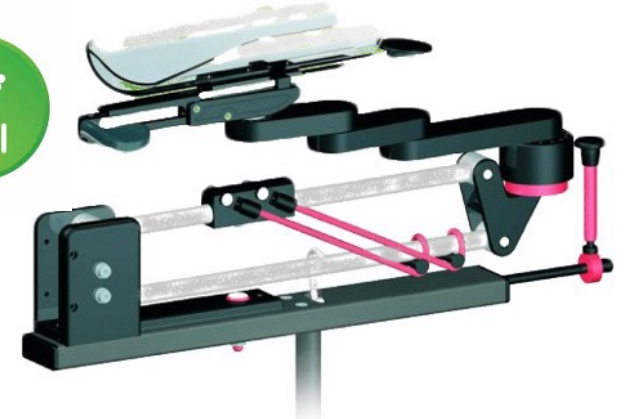
NEATER ARM SUPPORT (NAS)



**I FLOAT POWERE
ASSIST**



ELEMENTO



TOP HELP ELECTRIQUE 2



**AYURA /
SALVUM**

	GOWING	ELEMENTO	NEATER ARM SUPPORT	AYURA / SALVUM
				
Utilisation				
Caractéristiques	- Assistance personnalisée - Ajoute de la force pour atteindre les objets - Permet de manger, boire, se brosser les dents, taper sur un clavier... - Compensation du bras par microgravité - Degré d'assistance réglable - Verrouillages de position: rotation, avant, arrière, haut ou bas - Mouvements sur plan horizontal et vertical - Mécanisme de balance naturelle - Freins : sécurité et vitesse - Fonction « stop » : rend le système passif - Mécanisme d'équilibrage : ajustement de la compensation à l'aide d'un clavier selon les changements de réglage du fauteuil	- Support de bras de compensation électrique des fonctions du MS - Offre de grandes amplitudes - Plusieurs choix de gouttières - Version bras droit ou gauche - Version enfant	"NAS" : support de bras - Accompagne le mouvement dans l'espace en décuplant la force musculaire résiduelle - Déplacement horizontal : mécanique - Déplacement vertical : électrique - Contrôle par contacteurs - Programmation : - limites sup et inf - fonction, temps, clics - Bras dans un harnais - Sécurité : empêcher le bras de fonctionner quand fauteuil en mouvement	- Support de bras de compensation électrique des fonctions du MS - Offre de grandes amplitudes - Plusieurs choix de gouttières - Version bras droit ou bras gauche + de fonctions que l'Elemento - Version enfant
Positionnement	- Sur fauteuil roulant électrique, sur chaise - Peut être installé des 2 côtés	Sur fauteuil roulant électrique	Sur fauteuil roulant ou potence	Sur fauteuil roulant électrique, sur table
Système	- Électrique - Interface pour des choix via un clavier - Démontable	- Électrique, - Réglages possibles par la personne elle-même ou par contacteur - Compensation : - de 0,9 à 4,5 kg en version adulte - de 0,6 à 2,5 en version enfant - Compensation par microgravité - Multidirectionnel - Réglage de la compensation	Mécanique et électrique	- Électrique, réglages possibles par la personne elle-même ou par télécommande sans fil - Mouvements dans les 3 dimensions - Compensation de 0,9 à 4,5 kg - Compensation par microgravité - Verrouillage horizontal, vertical, rotation, inclinaison
Fonctionnalités				

Focus sur une nouveauté : 2 en 1



Supporter



	Supporter
Utilisation	• Assistance personnalisée • Set de coques coloré (8 couleurs) • Permet de manger, boire, se brosser les dents, taper sur un clavier... • Force de compensation réglable de 0 à 4 kgs. • Étanche aux projections d'eau • Mouvements sur plan horizontal et vertical • Position conduite : stabilité lors de l'utilisation du joystick
Caractéristiques	
Positionnement	• Sur fauteuil roulant électrique, sur table • Peut être installé des 2 côtés
Système	• Électrique. • Assistance motorisé ou suppléance électrique • Interface pour des choix via deux contacteurs • Démontable
Transportable	Oui
Fabricant	Orthopus France

Etat de l'Art

Les bras robotisés

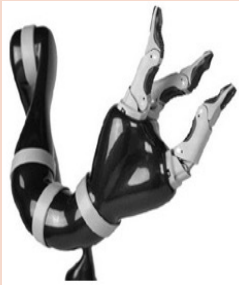
Aides techniques robotiques qui répondent à un besoin de suppléance du bras et de la main :
JACO et IARM entre 35 000 et 55 000 €



JACO



IARM

	JACO	iARM
	 	 
Utilisation		
Caractéristiques	• Bras robotisé silencieux en fibre de carbone • 6 ° de liberté et axes de rotation illimitée • Pince de 2 ou 3 doigts pouvant être contrôlés individuellement • Mouvements récurrents peuvent être enregistrés • Flexibilité, adhérence, s'adapte à n'importe quel objet • Poids 5 kg • Charge utile maximale : entre 0,6 et 1,5 kg • Amplitude de 0,9 m • Interface de programmation • Pièces interchangeables et faciles à remplacer • Robustesse et durabilité optimale • Installation à gauche comme à droite • Faible consommation d'énergie • Jaco, portée 90 cm • Mico, portée 70 cm	• Bras robotisé • 6 articulations + pince à 2 doigts • Se replie sur le côté du fauteuil • 3 vitesses de déplacement (max : 15 cm/sec) • Poids 9 kg • Charge utile maximale : 1,5 kg • Amplitude de 0,9 m • 5 menus différents : - mouvement limité en ligne droite - combinaisons des déplacements des 6 articulations • Enregistrement de 12 positions • Option : possibilité d'augmenter l'amplitude de 20 cm • Version spéciale pour la prise de repas • Positionnement à gauche ou à droite • Ouverture max de la main = 9 cm
Positionnement	• Sur fauteuil roulant électrique	• Sur fauteuil roulant électrique
Système	• Electrique • Contrôle par la commande du FRE, par ordinateur ou joystick 7 boutons, 3 modes	• Electrique • Pilotage grâce au clavier initial, au joystick du fauteuil roulant, au Penta switch , contacteur ou mini joystick
Transportable	• Assez léger, possible de le transporter	• Oui
Fabricant	Kinova Robotics	Exact Dynamic

Et dans la littérature?



Gandolla, Marta, et al. « *The Effectiveness of Wearable Upper Limb Assistive Devices in Degenerative Neuromuscular Diseases: A Systematic Review and Meta-Analysis* ». *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, vol. 7, janvier 2020, p. 450. DOI.org (Crossref), doi:10.3389/fbioe.2019.00450

- 14 études regroupant 184 participants.
- Personnes neuromusculaires.
- Support de bras mais pas de bras robotisé
- Montre que les supports de bras augmentent la performance dans les AVQ. $P < 0.00001$
- Evaluations objectives et subjectives.
- Effet de preuve bas à modéré (peu d'étude et de participant)

Maude **Beaudoin**, Josiane Lettre, François Routhier, Philippe S. Archambault, Martin Lemay & Isabelle Gelinas (2018): Long-term use of the JACO robotic arm: a case series, *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, DOI: 10.1080/17483107.2018.1428692

- JACO a augmenté les performances en manipulation et facilité la réalisation de certaines activités de vie (7 utilisateurs et 5 aidants). Etude sur plus de 6 mois d'utilisation du Jaco.

Beaudoin M, Lettre J, Routhier F, Archambault PS, Lemay M, Gélinas I. Impacts of robotic arm use on individuals with upper extremity disabilities: A **scoping review**. *Can J Occup Ther*. 2018 Dec;85(5):397-407. doi:10.1177/0008417418820878. PMID: 30866682.

- 36 études.
- Amélioration de la performance dans les activités de vie quotidienne.
- Amélioration de l'autonomie dans les activités de vie quotidienne à court terme.
- Qualité moyenne des études et niveau de preuve assez faible

Et du côté des personnes en situation de handicap?





ERPHAN

Équipe de recherche paramédicale
sur le handicap neuromoteur

UVSQ



université PARIS-SACLAY



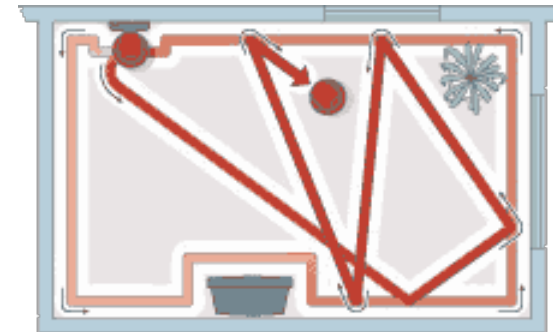
Les robots de service, de surveillance, ludique, de compagnie et thérapeutique

Robots aspirateurs

Roomba



Trilibite



Les robots de service, de surveillance, ludique, de compagnie et thérapeutique

Robots ludiques :



Robot Jouet Roboreptile WowWee



Robot Jouet Roborover



Robot Chien AIBO de Sony (fin 2006)

Les robots de service, de surveillance, ludique, de compagnie et thérapeutique



Robot Nao - Aldebaran



Robot Pepper - Aldebaran



Merci de votre attention

Références

- Bauer, S.M., Elsaesser, L.-J., Arthanat, S., 2011. Assistive technology device classification based upon the World Health Organization's, International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF). *Disabil. Rehabil. Assist. Technol.* 6, 243–59. doi:10.3109/17483107.2010.529631
- Fougeyrollas, P., 2010. La funambule, le fil et la toile : transformations réciproques du sens du handicap, Les presse. ed. Québec.
- Fougeyrollas, P., Noreau, L., Tremblay, S., 2005. La mesure de la qualité de l'environnement et le processus de production du handicap - fondements conceptuels, développement d'un outil et applications, in: *Handicap et Environnement - Actes Des 18èmes Entretiens de La Fondation Garches*. Paris, pp. 13–15
- Giesbrecht, E., 2013. Application of the Human Activity Assistive Technology model for occupational therapy research. *Aust. Occup. Ther. J.* n/a–n/a. doi:10.1111/1440-1630.12054
- Pouplin, S., Bouteille, J., 2009. Évaluation Et Aides Techniques Nouvelles Technologies : Nécessité D'Un Outil Spécifique Pour Évaluer La Compensation D'Une Situation De Handicap Moteur. *Irbm* 30, 240–243. doi:10.1016/j.irbm.2009.09.003
- Mazzone E, Mayhew A, Montes J, Ramsey D, Fanelli L, Young DS, et al. Revised upper limb module for spinal muscular atrophy: Development of a new module, *Muscle and Nerve*, 2016
- De Lattre C, Payan C, Vuillerot C, Rippert P, De Castro D, Berard C, Poirot I, MFM-20 Study Group. Motor function measure: validation of a short form for young children with neuromuscular diseases. *Arch Phys Med Rehabil*, 2013
- Vuillerot C, Payan C, Girardot F, Fermanian J, Iwaz J, Berard C et al. Responsiveness of the motor function measure in neuromuscular diseases. *Arch Phys Med Rehabil*, 2012
- Ricotti V, Evans MRB, Sinclair CDJ, Butler JW, Ridout DA, Hogrel J-Y, et al. (2016) Upper Limb Evaluation in Duchenne Muscular Dystrophy: Fat-Water Quantification by MRI, Muscle Force and Function Define Endpoints for Clinical Trials. *PLoS ONE* 11(9): e0162542
- Gandolla, Marta, et al. « The Effectiveness of Wearable Upper Limb Assistive Devices in Degenerative Neuromuscular Diseases: A Systematic Review and Meta-Analysis ». *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, vol. 7, janvier 2020, p. 450. DOI.org (Crossref), doi:10.3389/fbioe.2019.00450
- Audrey Lebrasseur B.Erg, Josiane Lettre OT, MSc, François Routhier PEng, PhD, Jason Bouffard OT, PhD, Philippe S. Archambault OT, PhD & Alexandre Campeau-Lecours PEng, PhD, PMP (2019): Evaluation of the usability of an actively actuated arm support, *Assistive Technology*, DOI: 10.1080/10400435.2019.1629124
- Janssen MMHP, Lobo-Prat J, Bergsma A, Vroom E; workshop participants. 2nd Workshop on upper-extremity assistive technology for people with Duchenne: Effectiveness and usability of arm supports Irvine, USA, 22nd-23rd January 2018. *Neuromuscul Disord.* 2019 Aug;29(8):651-656. doi: 10.1016/j.nmd.2019.07.005. Epub 2019 Jul 25. PMID: 31443952.
- Maude Beaudoin, Josiane Lettre, François Routhier, Philippe S. Archambault, Martin Lemay & Isabelle Gélinas (2018): Long-term use of the JACO robotic arm: a case series, *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, DOI: 10.1080/17483107.2018.1428692
- Maheu V, Frappier J, Archambault PS, Routhier F. Evaluation of the JACO robotic arm: clinico-economic study for powered wheelchair users with upper-extremity disabilities. *IEEE Int Conf Rehabil Robot.* 2011;2011:5975397. doi: 10.1109/ICORR.2011.5975397. PMID: 22275600.