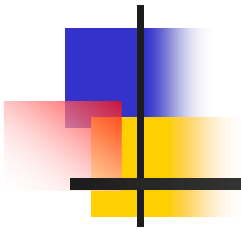


# Paraplégique adulte et orthèse de marche : Quel avenir?



Charles Fattal,  
Hélène Rouays-Mabit, Christine Verollet, Florence Schindler

CMN Propara, Montpellier

Journées AFA/AMPAN 2008

Julie Garric

# ILS M'AVAIENT DIT QUE JE NE MARCHERAI PLUS !

Journal de Julie,  
23 ans,  
paraplégique



DOCUMENT

éditions du  
ROCHER

## La marche

un contentieux avec le

- corps médical
- handicap
- la société?

un objectif fonctionnel ?

Balance  
Bénéfices-Risques

# Evolution technologique

Le déclin annoncé des orthèses conventionnelles: années 70

Verticalisation active

KAFO



Déambulation en  
pendulaire

Paraplégie lombaire  
basse



# Evolution technologique

Le déclin annoncé des orthèses conventionnelles: années 70

HKAFO

Déambulation en  
pendulaire  
Paraplégie Dorso-  
lombaire



**Orthèse  
monotubulaire  
de Nancy**



**Orthèses  
pneumatiques**

**INESTHETIQUE    LOURD    ENCOMBRANT**



KAFO

---



Paraplégie incomplète ASIA C ± D

# Evolution technologique

**Emergence des concepts biomécaniques  
et cinésiologiques: années 80**



- **Alignement correct de la ligne de gravité**  
--> station debout + / sans appui ?
- **Tronc= rôle d'animation motrice des membres inférieurs**

Déambulation en 2 à 4 temps

Paraplégie Thoracique

# Orthèse Scott-Craig

Phase oscillante initiée par  
l'extension d'une  
des 2 hanches

Déambulation alternée mais  
difficile en 4 temps  
(chevilles bloquées en  
flexion dorsale 5 à 10°)



—————→ **Déambulation en Pendulaire**

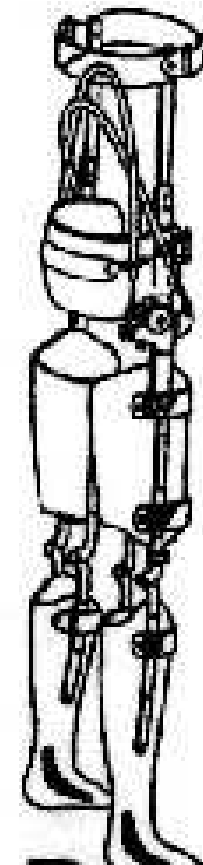


# 2 chefs de file

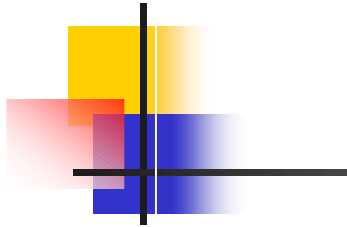
PARAWALKER



RECIPROCATOR  
GAIT ORTHOSIS



# PARAWALKER



## Adéquation

Biomécanique orthèse

Cinésiologie de la marche

- « Rigidification » > résistance aux contraintes d'abd et d'add
- Oscillation passive
  - > faible coefficient de friction au niveau des hanches
  - > butées en F/E
- Chevilles bloquées à 0° de flexion dorsale

# RECIPROCATOR GAIT ORTHOSIS

- Asservissement réciproque de chacun des 2 MI
  - **2 câbles croisés**
  - **transfert d'énergie croisée**
- Limitation de l'ascension du centre de gravité ++



# Facilitation passage assis-debout

## Alléger le dispositif de câbles croisés

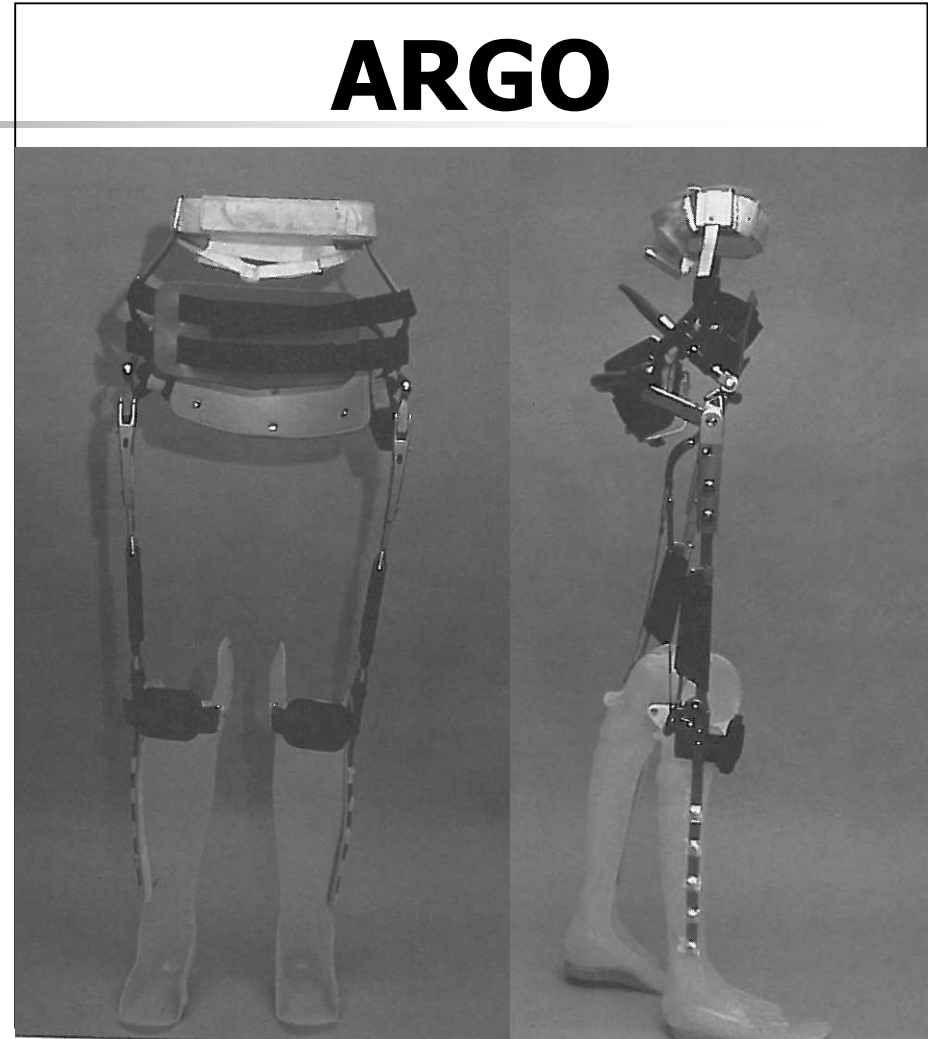
- Pistons à air comprimé au niveau des genoux

Stockage puis Restitution d'énergie

Effet d'amortissement

- Un seul câble coaxial

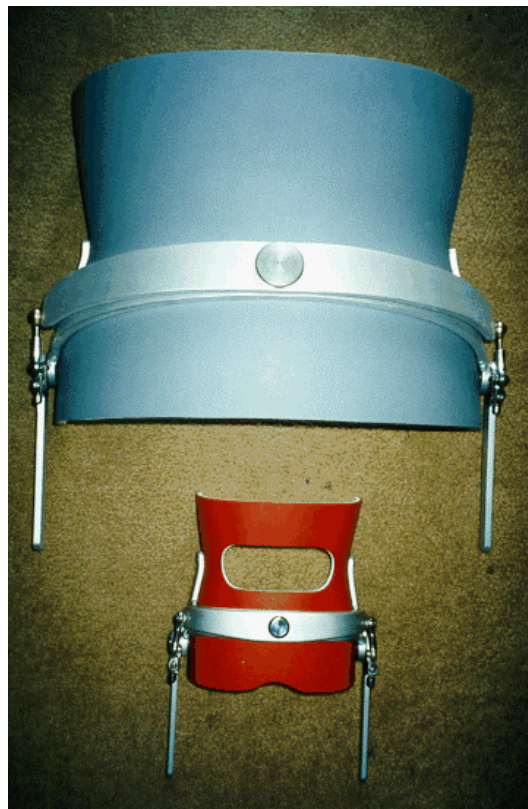
## ARGO



# Améliorer le rendement du couplage F/E

## Alléger le dispositif de câbles croisés

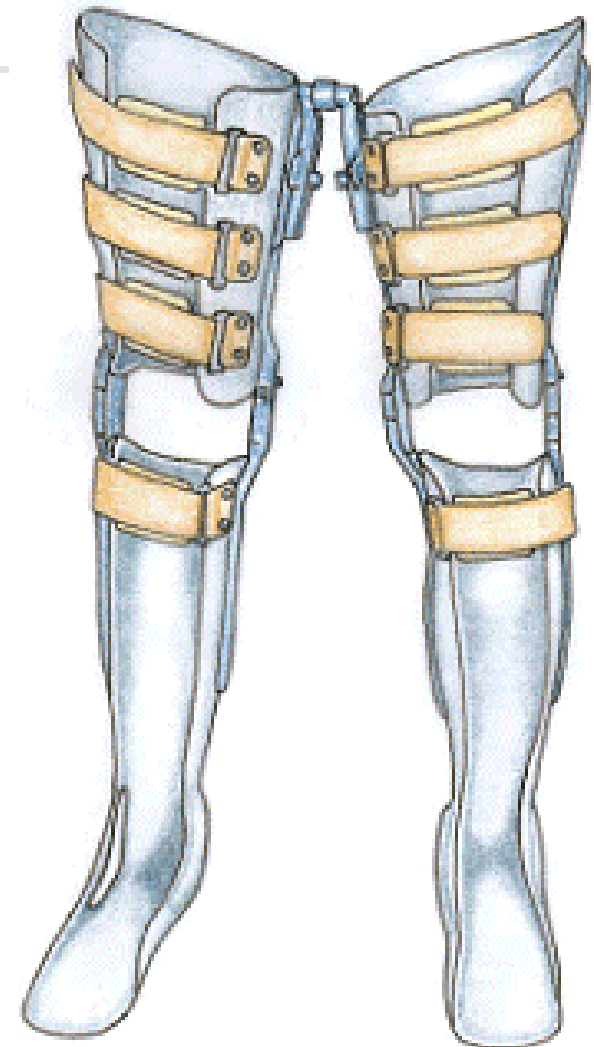
- Une Barre pivotante à effet de balancier



# Un « prolongement sans suite » : le Walkabout

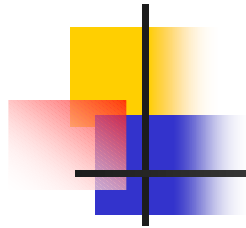
- Faciliter l'oscillation alternée D/G

> Charnière médicale à faible coeff. de friction



# Un nouveau-né: le HALO

## Hip and Ankle Linked Orthosis 2004



### Contre 3 défauts:

- Marche à petits pas
  - Rotation pelvienne importante
  - Blocage de la cheville
- 
- libération de la cheville
  - solidarisation des 2 chevilles à une seule articulation interne de hanche

- Conserver les 2 pieds // au sol
- Faciliter la phase oscillante lorsque la cheville contro-lat. est en flexion dorsale

—————> Orthèse à connexion hanche - cheville

# Une caractéristique commune

Engagement du tronc dans le rôle  
d'animation motrice des MI

Etapes décennales : 1 concept / 10 ans

1 constante depuis 40 ans

Alourdissement du système

1 malentendu depuis 40 ans

Quel cahier des charges physique et fonctionnel?

Quelle marge de tolérance acceptable en terme  
fonctionnel et énergétique?





# Portée fonctionnelle

- Faible recul
- Groupes non homogènes
- Trop d'évaluations précoces
- Pas d'évaluation du handicap de situation
- Données de questionnaires
- Souvent administrés par les équipes conceptrices: conflit d'intérêt et biais du « faire plaisir »
- Grande pauvreté et hétérogénéité des indices fonctionnels

# Orthèses biomécaniques

## Orthèse Scott-Craig

*O'Daniel et al. Paraplegia  
1981*

147 patients

4% Scott Craig > FRM

4% à visée fonctionnelle

50% à visée thérapeutique

37% l'ont rejeté

*Miller et al. Arch Phys Med  
Rehab. 1984*

8 patients

Moy d'utilisation: 47 mois

Evaluation de la dépense  
énergétique en simulation de  
négociation d'obstacles archit.  
(tournants, escaliers, pentes)

Tous les obstacles sont  
vaincus ->

conservation des acquis ?

# Orthèses biomécaniques

## Walkabout

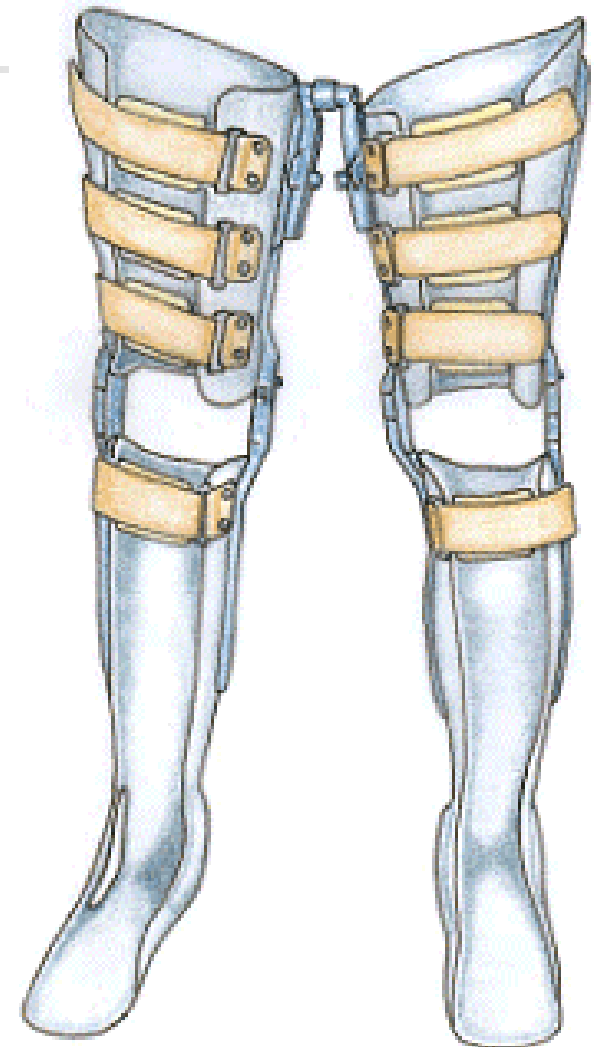
*Middleton et al. Arch Phys Med Rehab.  
1999*

9 Paraplégiques complets

Taux d'abandon à 18 mois: 40%

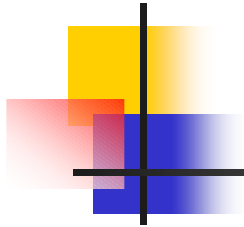
Aucun intérêt fonctionnel pour tous

Bénéfice psychologique et physique



# Orthèses biomécaniques

## Orthèse Parawalker



*Nene et al. Prosthet Orthot Int 1987*

*Summers et al. Paraplegia 1988*

20 paraplégiques

Taux d'utilisation sur 20 mois:  
**85%**

- 30% >3X/sem
- 10% >3h/jour

Bénéfice psychologique et physique

*Moore et al. Physiother prac 1988*

50 paraplégiques

Taux d'utilisation sur 34mois:  
**64%**

- 30 : usage extérieur
- 18: périmètre marche > 100m

Indépendance complète d'utilisation

74% se déclarent très satisfaits ou satisfaits

# Orthèses biomécaniques

## Orthèse Réciprocator

*Sykes et al. Arch Phys Med Rehab. 1995*

35 interrogés / 81  
paraplégiques appareillés

Recul 5.5 ans

Taux d'abandon: **71%**

Durée moy. d'utilisation: 24  
mois.

→ **Problématique de lever de  
chaise**

*Franceschini et al. Arch Phys  
Med Rehab. 1997*

7 centres italiens  
74 paraplégiques (RGO,  
ARGO, Parawalker)

A 6 mois

Taux d'abandon : **32%**

Taux d'utilisation  
thérapeutique: **26%**

Taux d'utilisation  
fonctionnelle: **42%**



# Corrélation significative du taux d'abandon avec

---

- L'aptitude à monter et descendre des marches d'escalier
- L'aptitude à mettre et retirer l'orthèse

Ce qui n'est pas soutenu statistiquement mais qui est rapporté

-Activité chronophage

-Impossibilité de lâcher une main

Place actuelle de la marche appareillée chez les patients paraplégiques complets de niveau thoracique. À propos d'une cohorte de 43 patients

Gait orthosis in patients with complete thoracic paraplegia.

Review of 43 patients

R. Plassat <sup>a,c,\*</sup>, B. Perrouin-Verbe <sup>a</sup>, A. Stéphan <sup>a</sup>, J. Rome <sup>a</sup>, P. Brunel <sup>b</sup>, I. Richard <sup>b</sup>, J.F. Mathe <sup>a</sup>

- Devenir de **43** patients appareillés
- Recul de **12.8 ± 12** ans
  
- Taux d'abandon : **65%** (28/43)
  - A la sortie du centre: 6
  - A 1 an: 12
  - Entre 2 et 4 ans: 4
  - Entre 6 et 12 ans: 6

→ 15 utilisateurs restants



## 15 utilisateurs restants

---

- Usage thérapeutique : 14  
(salle de kiné 51%, domicile 42%, extérieur 7%)
- Indépendance fonctionnelle:
  - ✓ 66% indépendants pour le chaussage
  - ✓ 60% indépendants pour le transfert debout
  - ✓ 25% indépendants pour la marche
  - ✓ 14% n'ont jamais réussi à déambuler



## 15 utilisateurs restants



### Pourquoi continuer ?

---

**13** patients: pour l'exercice physique. N'envisage pas un usage fonctionnel

**5** patients: bénéfice psychologique

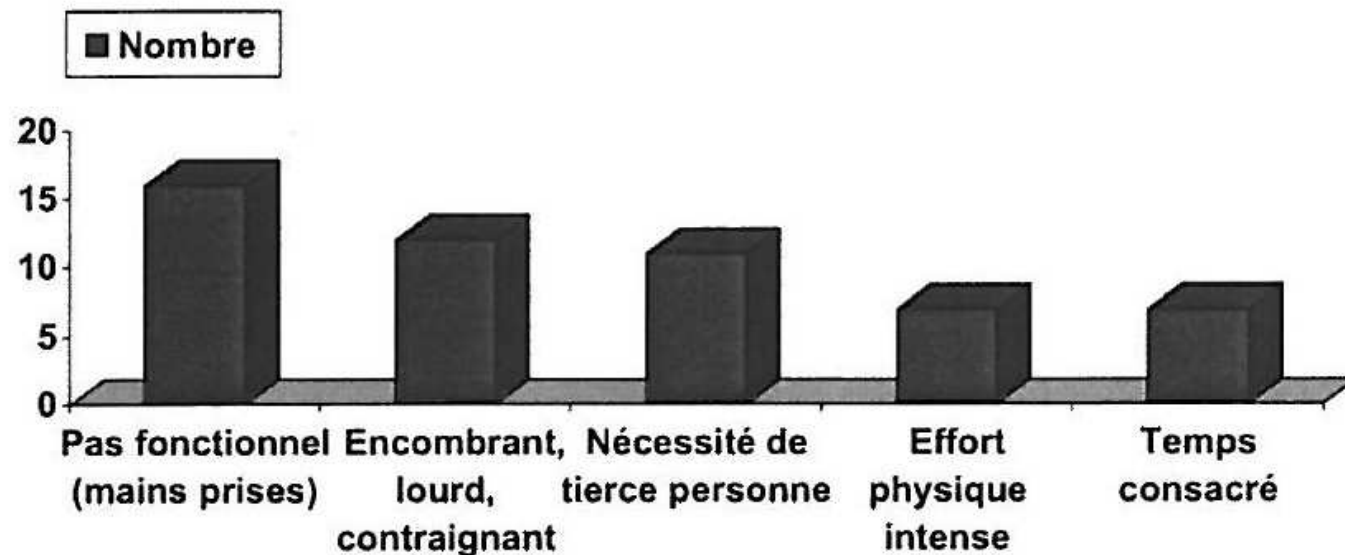
- 4 patients: plaisir et bien-être à être debout
- 2 patients: volonté et combativité
- 1 patient: espoir de remarcher

Note moyenne de satisfaction:  $7.2 \pm 1.7$

## 28 abandons

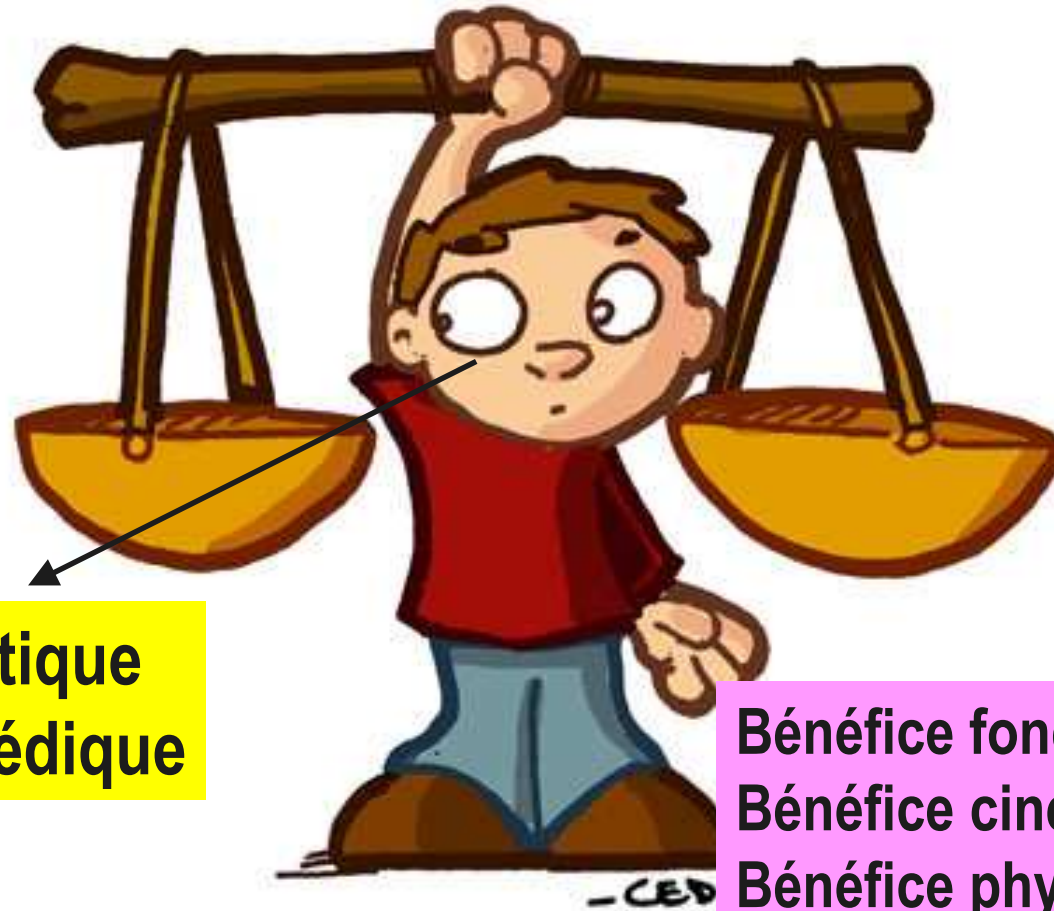
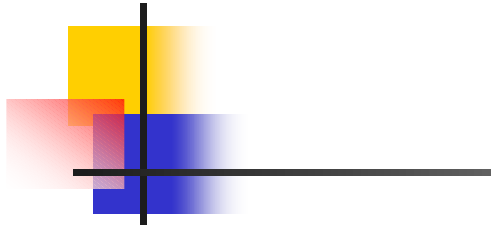
7: complications médicales

21:



→4 : concurrence avec le FR verticalisateur

# Quel prix à payer ?



**Prix énergétique**  
**Prix orthopédique**

**Bénéfice fonctionnel**  
**Bénéfice cinésiologique**  
**Bénéfice physiologique**

# Le Bénéfice Cinésiologique

## Paramètres Spatio-Temporels

Vitesses de marche: 18 à 20 m /min (RGO, ARGO, Parawalker)

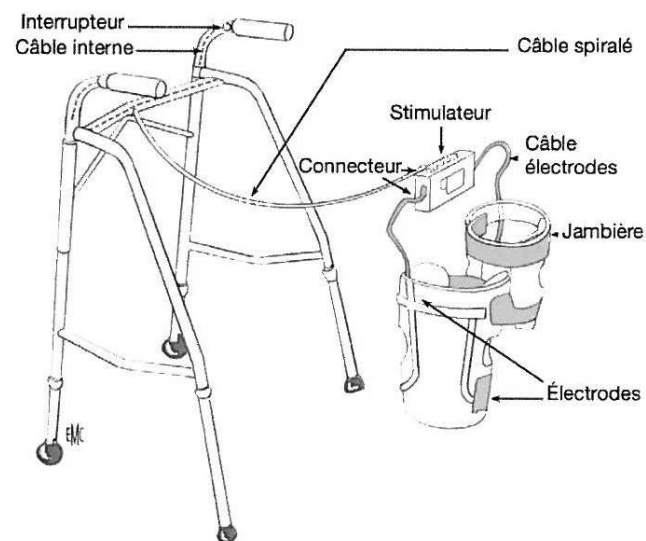
*Jefferson Prosthet Orthot Int. 1990*

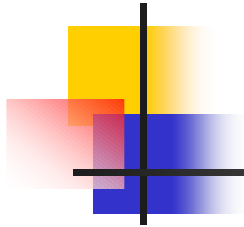
Vitesses de marche: 16 m/min (E:10-26)  
(Parawalker)

*Nene Paraplegia 1989*

Mêmes ordres de grandeur  
en système hybride

*Thoumie Paraplegia 1995*





Orthèse de marche	Fauteuil Roulant
16 m/min (E:10-26)	47 m/min (tétraplégie) à 90 m/min (paraplégie)

# Paramètres Cinématiques et Cinétiques

## Etudes 3D

-Rotation pelvienne horizontale (/ compensation de la mobilité des genoux) en moyenne:  $20^{\circ} \rightarrow 50^{\circ}$

*Crosbie Paraplegia 1990*

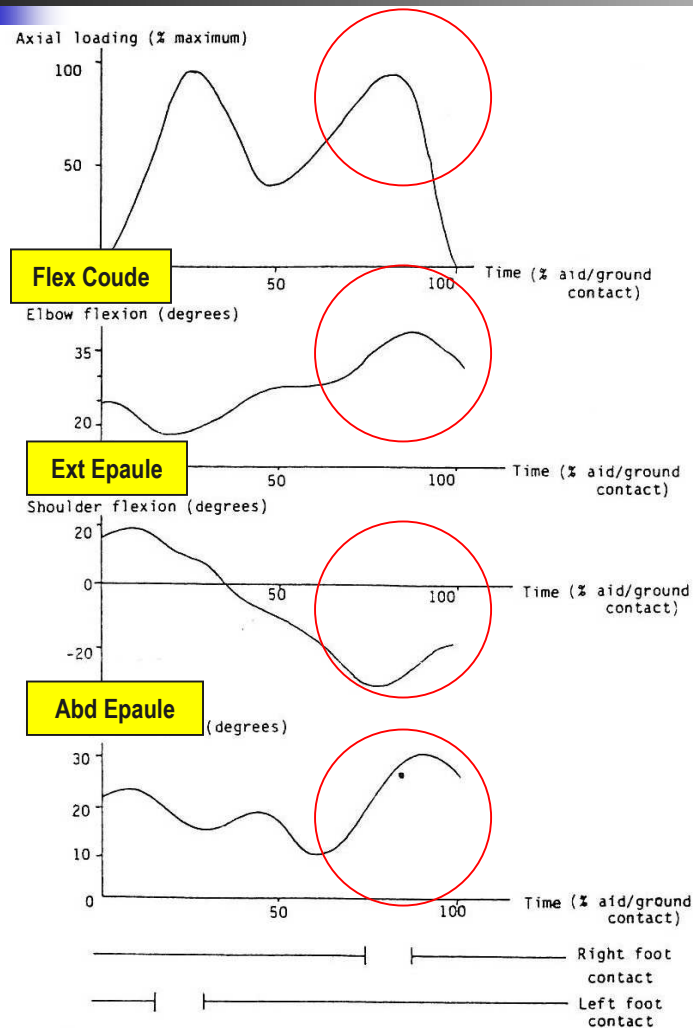
-Variations de la vitesse lors de la progression

-Hyperappui sur les cannes permanente pour

- Compenser l'instabilité lié au défaut de rigidité de certains dispositifs
- Incliner le tronc et décoller le membre oscillant

*Nene Prosthet Orthot Int 1987*

# Paramètres Cinématiques et Cinétiques



Pics de forces  
Moments articulaires  
très élevés

- Flexion coude
- Extension/Abduction  
épaule

*Crosbie Paraplegia 1990*

# Le Bénéfice Physiologique



Métabolisme phospho-calcique

Transit intestinal

Troubles du tonus

Fonction cardio-vasculaire

Fonction urinaire

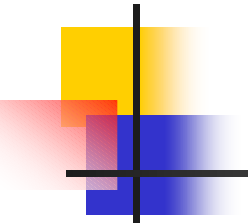
Etat articulaire

Aucune étude contrôlée, de niveau de preuve  
acceptable

Résultats contradictoires



# Le prix énergétique à payer

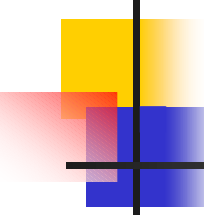


---

Comparaison des études impossible car

- outils de mesure différents
- unités de mesure différentes
- conditions de mesure différentes


# Les constats



Pour une marche à  $v \cong 10\text{m/min}$ , les patients appareillés atteignent leur seuil anaérobie dès les 1ères minutes

- La dépense énergétique s'aligne à celle du sujet valide lors de la marche mais rapportée à la vitesse de marche, elle apparaît 8 fois plus élevée.
- La FC moyenne  $156/\text{min} \cong \text{FC max}$
- La FV augmentée de 74%

*Massucci Spinal Cord 1998*


$$\text{Indice de Mc Gregor} = \text{PCI} \frac{\text{FC marche} - \text{FC repos}}{\text{V de marche}}$$

PCI moyen: 3.11 batts /min  
*Nene Paraplegia 1992*

Pas de corrélation entre le PCI et niveau lésionnel,  
poids du sujet, ancienneté et fréquence d'utilisation

*Nene Paraplegia 1992*

Impact possible de l'entraînement et de la technologie(1 patient)

RGO 8h/j depuis 2 ans      puis      orthèse hybride -> pdm de 1,5 km )

**PCI: 2,55 /min**

puis

**1,54 /min**

*Isakov Paraplegia 1992*

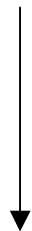
Comparaison inter orthèses biomécaniques (parawalker vs RGO):  
pas de différence de PCI      *Nene Paraplegia 1992*

# 1 seule étude contrôlée, randomisée et en cross-over

*Harvey Arch Phys Med Rehab 1998*

- Paraplégiques T9 à T12
- Entraînement IRGO vs Walkabout

FC, VO<sub>2</sub> et VE identiques



vitesse de marche

PCI ou Dépense énergétique > en cas d'usage du  
Walkabout



# Approche mixte (biomécanique + énergétique)

---

A quoi incombe le surcoût énergétique?

- «Sur-travail mécanique» ?
- Faible efficacité énergétique ?
- Ratio des 2 ?



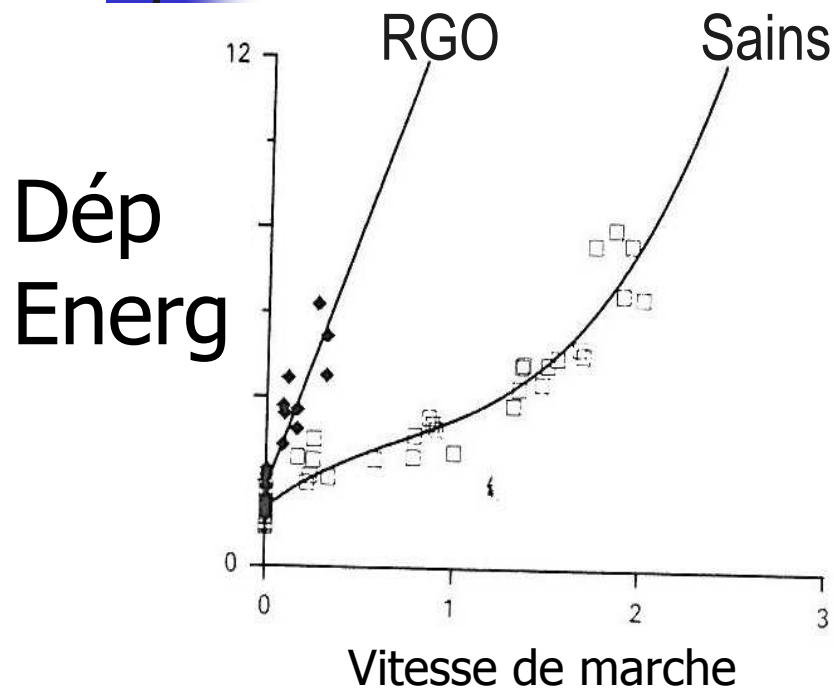
# 10 paraplégiques et 7 sujets sains

---

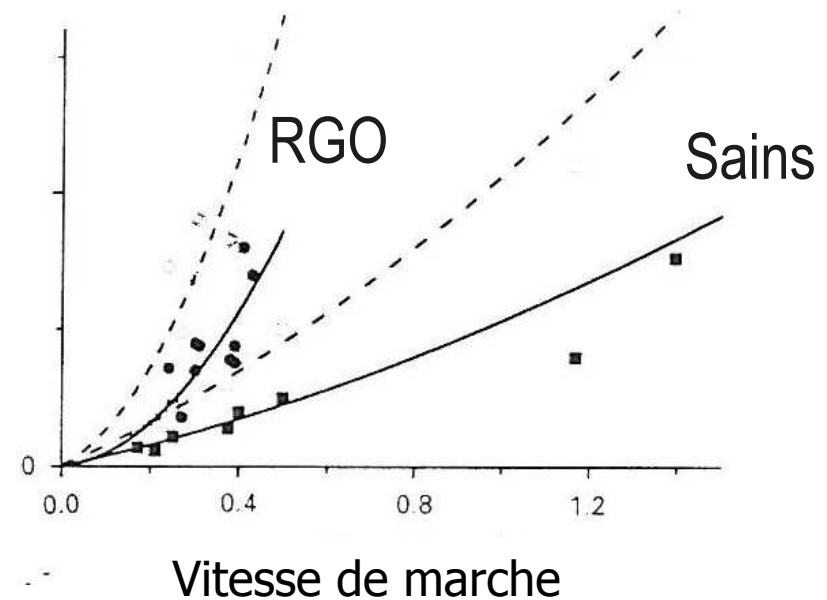
- Evaluation de la dépense énergétique lors de la station debout et lors de la marche à v confortable (K2 Cosmed)
- Calcul de l'énergie potentielle et cinétique issu du travail mécanique total fourni (analyse 3D)

Pic de  $VO_2 \cong VO_2 \text{ max} \cong \text{seuil anaérobie}$

Pente exponentielle de la relation entre la dépense énergétique et la vitesse de marche chez le paraplégique (RGO) significativement + forte que chez le sujet sain



Trav.  
Méca



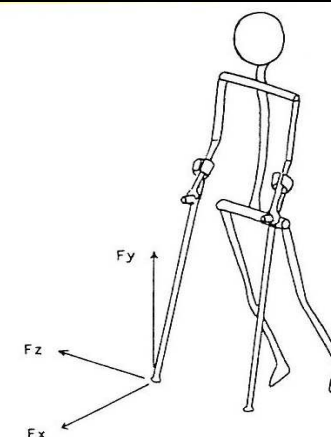
### Hypothèse

Le surcoût métabolique de la marche en RGO est dû à l'énorme travail mécanique nécessaire pour mobiliser l'aide à la marche

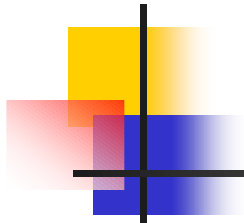
*Waters et al. Clin Orthop Relat Res 1993*

	Marchants Paraplégiques		Marchants sains
Vitesse de marche	41.1m/min	-52%	79.8m/min
VO <sub>2</sub>	14.9 ml/kg/min	+23%	12.1 ml/kg/min
Coût énergétique	0.52 ml/kg/m	+240%	0.15 ml/kg/m

Le pic de force des MS sur les aides  
de marche atteint  
en moy  $21.7\% \pm 23$  du poids corporel







	Cannes simples n = 8	Cannes anglaises n = 21	Déambulateur n = 3
Vitesse de marche	47.9 m/min	37.8 m/min	11.8 m/min
Coût énergétique	0.29 ml/kg/m	0.56 ml/kg/m	1.20 ml/kg/m
Pics de force (% /poids corporel)	7	30.2	39.2

# Le prix orthopédique à payer



Marche pendulaire

10 paraplégiques / Gpe Contrôle de 4 sujets sains

Période moy d'utilisation: 8.7 ans E: 20 mois-19 ans

Fréquence d'utilisation:

6 patients: 3 à 5 X 25 à 30m/j

4 patients: 15 à 25 X 25 à 30 m/j

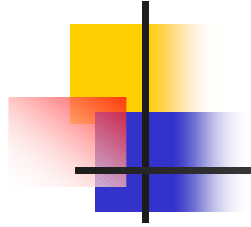
Contrôle radiologique des 20 épaules

Ostéodensitométrie

Pas de retentissement clinique, fonctionnel et  
radiologique sur les épaules

Augmentation de la DMO des AB

*Wing et al. Paraplegia 83*



# Perspectives

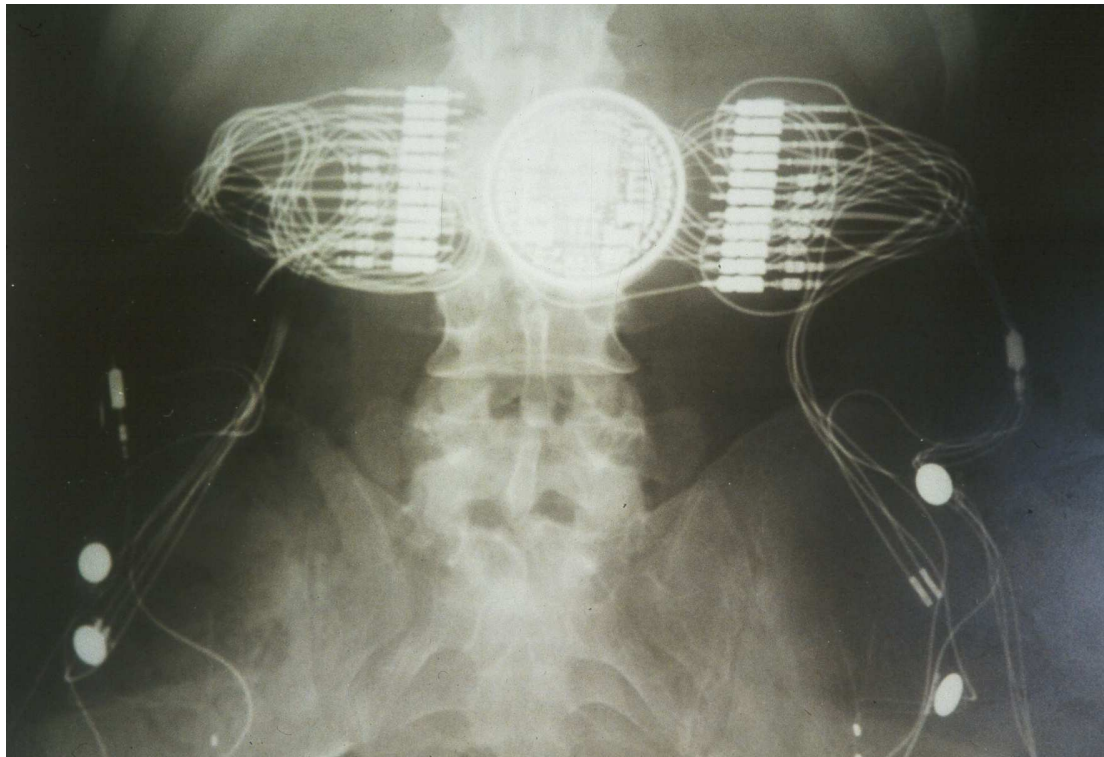
# Electrostimulation fonctionnelle MI

Pas de validation

scientifique

énergétique, orthopédique

et fonctionnelle



# Problématiques de l'électrostimulation à visée fonctionnelle

- 1 stimulateur <-> plusieurs câbles
- Fatigue musculaire
- Diffusion <-> Sélectivité  
(muscle/muscle, motricité/sensibilité)

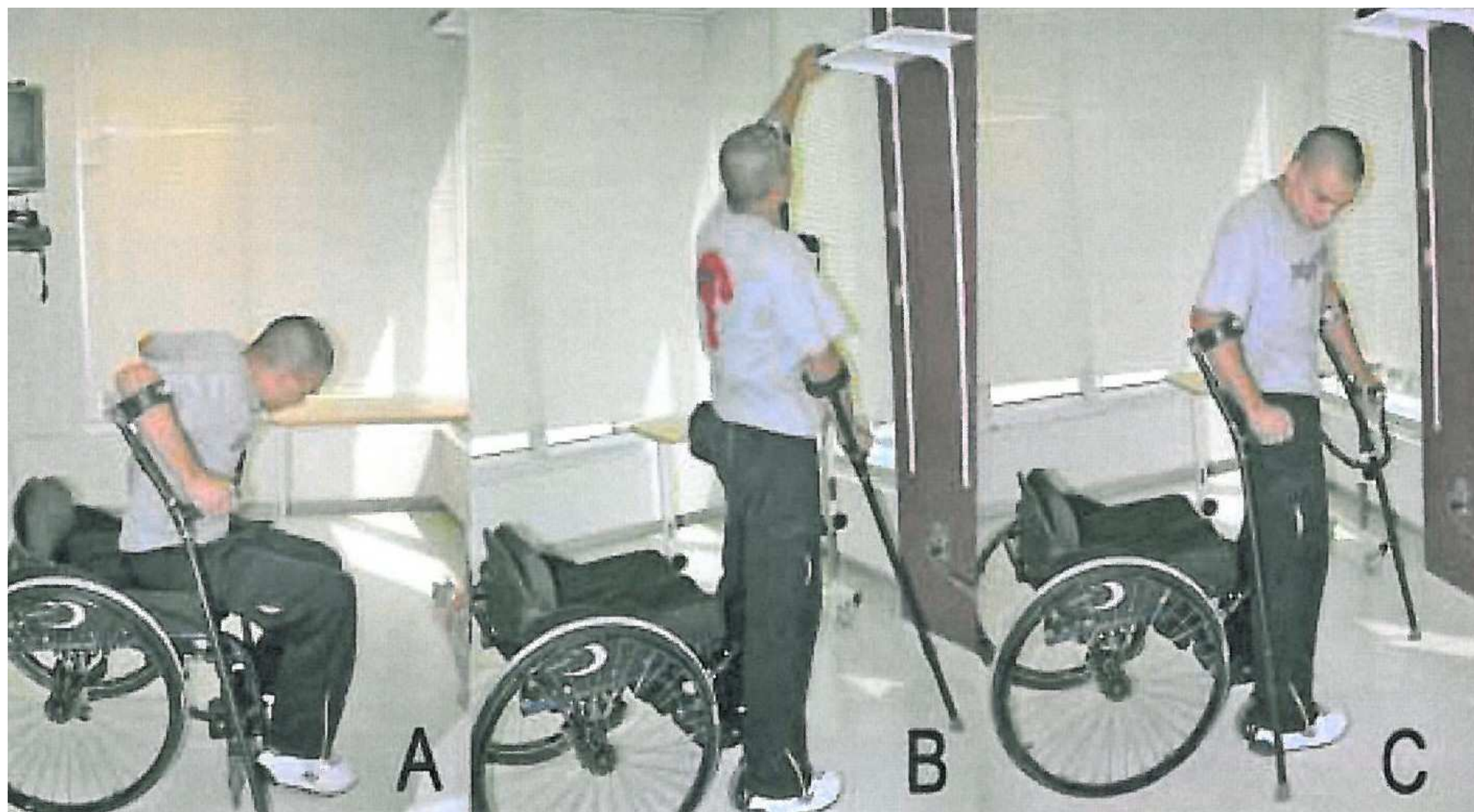
- Pas de relation linéaire entre l'intensité et la contraction musculaire



- Latence entre la stimulation et le début de la contraction musculaire
- Esthétique des différents dispositifs: contrôle, commande, etc.
  - Miniaturisation de l'unité de contrôle et de tous les dispositifs externes

# Problématiques fonctionnelles lors de l'électrostimulation

- Le lever de chaise
- L'adaptation posturale debout à visée fonctionnelle
  - > maintien d'un très bon aplomb vertical



A

B

C