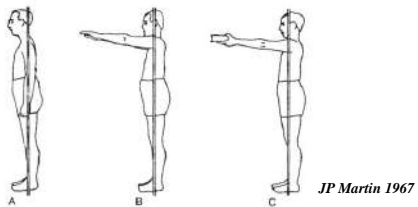


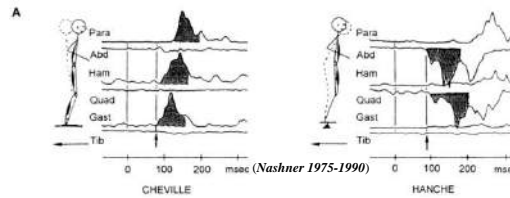
## Le contrôle de l'Action

### L'EQUILIBRE DYNAMIQUE

Le mouvement volontaire perturbe l'équilibre et doit être compensé



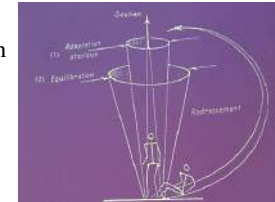
## Le schéma S=>R



- Condition passive et réactive
- Compensation d'une perturbation exogène
- Localisée

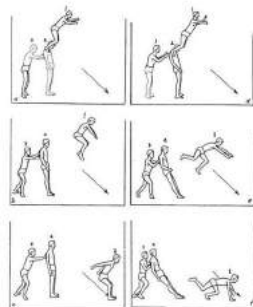
L'équilibre : un mécanisme homéostatique pour rétablir une valeur de référence

- Processus de stabilisation
  - Réduire l'écart à la verticale par mécanismes réflexes.



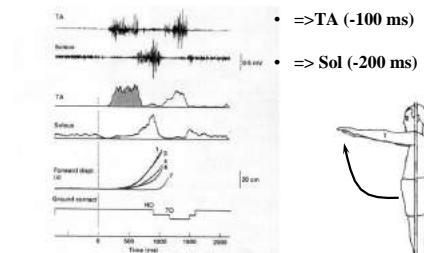
J Paillard 1976

## Décomposition statique vs dynamique

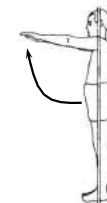


(Hess 1960)

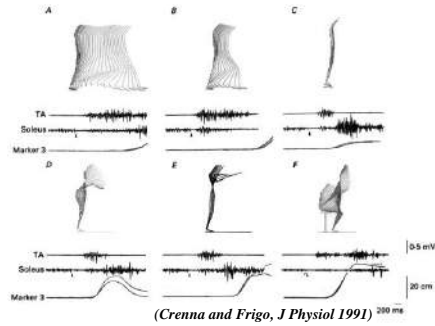
## L'Etude des APA



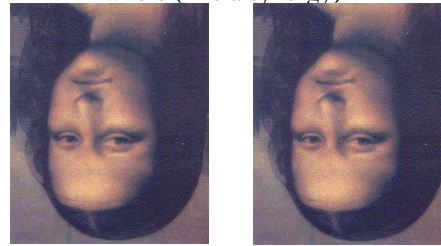
(Crenna and Frigo, J Physiol 1991)



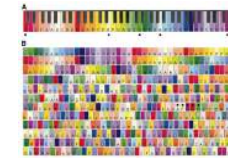
## Généralisation



CNS gives visual coherence even when object or world is distorted. CNS encodes faces as a whole (like a synergy)!



A famous face demonstrating that wrong details cannot be extracted of the whole famous picture. This holistic perception is a strong constraint acting on the visual perception.



Avant synergies motrices

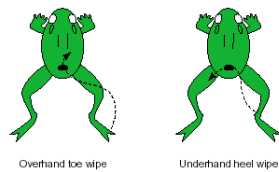


Après synergies motrices

TPozzo M2R

9

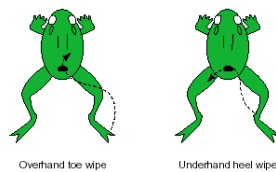
## Modularité, automatisme et réflexe



Un irritant placé sur le dos d'une G spinalisée évoque le réflexe. 2 formes de trajectoires possibles avec la même probabilité.

TPozzo M2R

10

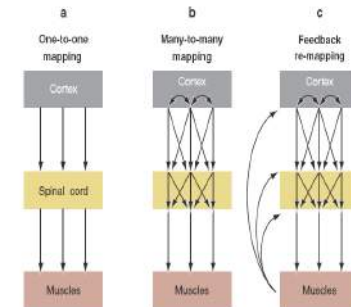


**Str1** : flexion hanche puis genou.  
**Str2** : avec le talon, extension de la hanche et trajectoire du pied inverse.

2 patterns musculaires déclenchés par le même stimulus. Le stimulus engage différentes sorties motrices (not a one-to-one mapping). La cible est atteinte même pour des postures initiales différentes !

TPozzo M2R

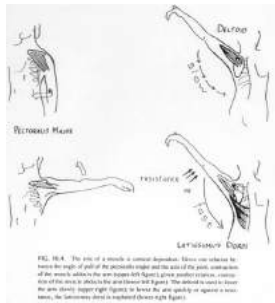
11



TPozzo M2RTh Pozzo

12

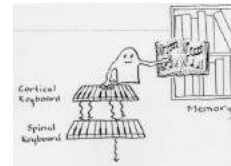
## Relation Cause-Effet et complexité musculaire



La fonction des muscles n'est pas isotropique : la même commande peut produire des effets différents selon la posture initiale ou les cdt mvt. 13

## Quelles Représentations (?) Corticales ?

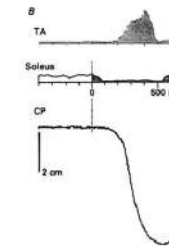
Un nbre infini de combinaisons d'activités musculaires et de mvts plus ou moins similaires doivent être représentés en M1. M1 est pourtant capable de générer un gd nbre de mvts du répertoire ou appris.



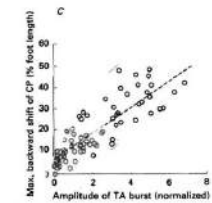
CSQ : la structure de M1 doit permettre un accès rapide à ces représentations ou contractions des différentes parties corporelles avec la même facilité.

## Rôle des APA : Effet mécanique

Activation du TA = CoP en AR



Couplage linéaire (mécanique) entre TA et CoP



(Crenna and Frigo, J Physiol 1991)

## Saisir avec un bras hyper redondant

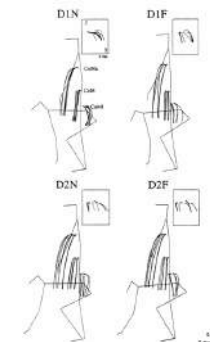


Le CoM est-il une référence stabilisée ?  
Existence et fonction des APA ? Contrôle et coordination des ss taches (CoM, atteinte de la cible) ? Peut-on modéliser le contrôleur ?

Pozzo et al. 1998, Stapley et al. 1998, 2000, Berret et al. 2009

## Le déplacement du CM est-il minimisé ?

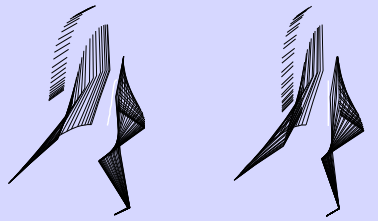
Synergie Axiale (Babinski 1920, Massion 1983) et stabilisation du CM ? Prédiction : l'inclinaison en avant du tronc sera compensée par un mouvement de la hanche en AR.



## Résultats

- CM non stabilisé (65% de la BoS)
- CM de chaque partie projeté en avant.
- Tout le corps est orienté en avant (pas de compensation par synergie axiale).

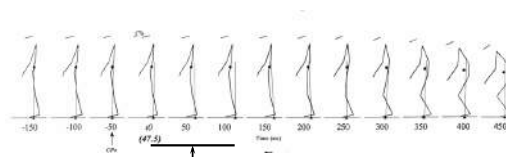
La projection avant du CM est elle une effet indésirable ?



Experimental Data

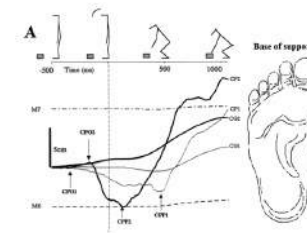
Simulation

APA initiates for Whole body Reaching movement

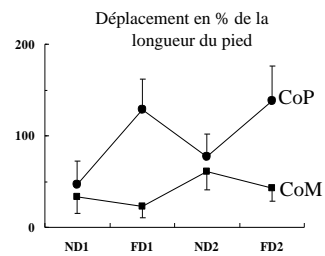


Effect of gravity on whole body momentum

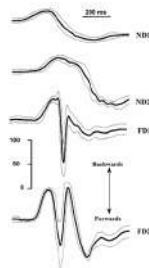
Déplacements du CoP et CoM



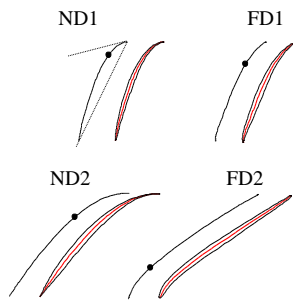
APA accélèrent le CoM vers la cible.



Le déplacement du CM diminue avec la vitesse d'exécution alors que l'amplitude du CP augmente. Comme les déplacements du CP reflètent l'activité EMG de la cheville, on en conclue que les contraintes d'équilibration sont plus grandes quand la distance et la vitesse augmentent (FD2).

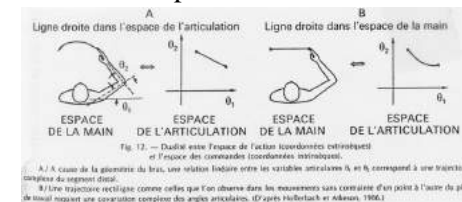


Une autre approche Posture vs Mouvement



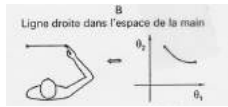
Equilibre et Trajectoire : Contrôle Indépendant ? Statique vs Dynamique ?

La cinématique révèle les processus de planification



2 solutions pour une même cible : A) solution articulaire avec un coût énergétique (distance parcourue) important mais une commande simplifiée, en B) c'est l'inverse.

## La cinématique révèle les processus de planification

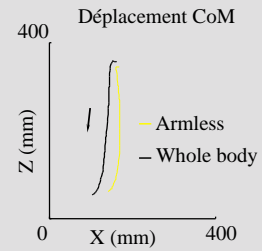


La solution B est fréquente : les auteurs en concluent que les mvt du bras sont planifiés dans un espace extrinsèque plutôt que dans l'espace intrinsèque des articulations.

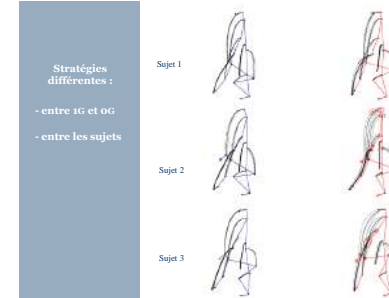
TPozzo M2R

25

## La trajectoire et l'équilibre sont liés fonctionnellement



## Effet de la micropesanteur 1G



Stratégies différentes :  
- entre 1G et 0G  
- entre les sujets

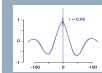
## Trajectoires et profils de vitesse du doigt et du CoM

1G

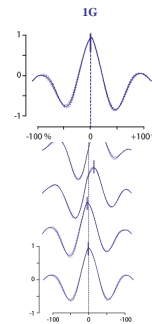
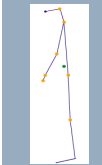


Pics de vitesse synchrones

## Fonctions de corrélation croisée



• Forte corrélation  
• Absence de décalage



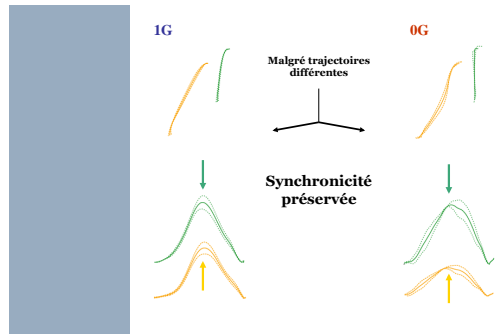
## Trajectoires et profils de vitesse du doigt et du CoM

0G

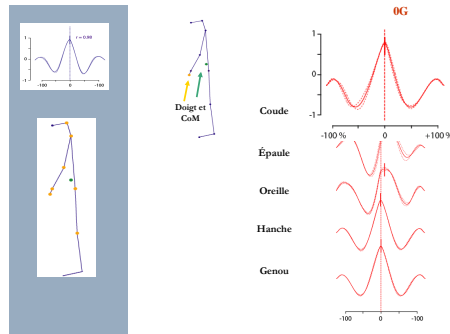


Pics de vitesse synchrones

### Trajectoires et profils de vitesse du doigt et du CoM

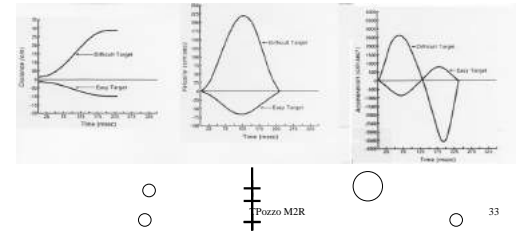


### Fonctions de corrélation croisée



### Couplage Dynamique entre 2 segments

Profil de Vitesse bimodal et symétrique réduit le nbre de pics d'accélération, le coût énergétique et simplifie la commande (bouffée agoniste = antagoniste). Timing 2 bras idem.

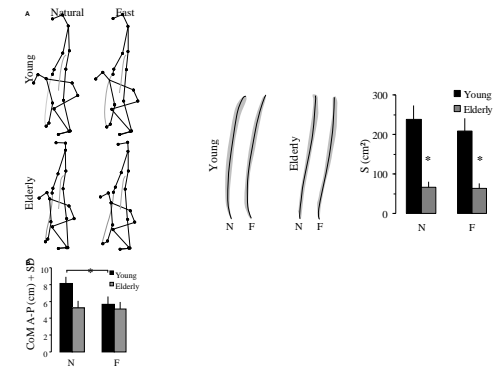
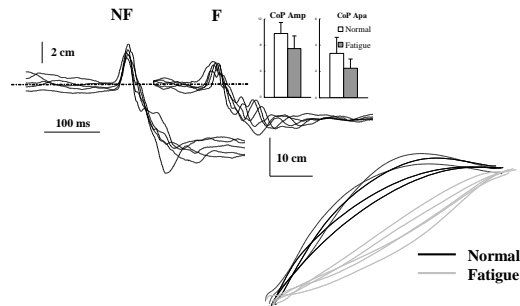


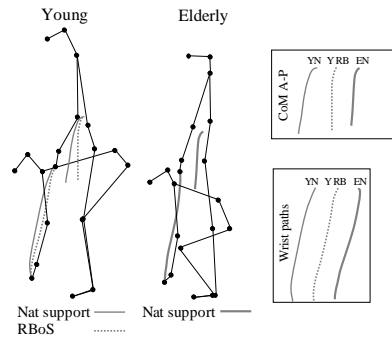
### Contenu du Plan Moteur ? Fonctions optimisées ?

- Coût Energétique ?
  - Le CM ?
- La trajectoire de la main ?
- Le couplage des angles ?

Approche par modélisation/simulation

### Vérification expérimentale : Effet de la Fatigue





## CONCLUSION

- Chez le sujet sain le CM n'est pas stabilisé !
- La stabilité du CM est un peut être indicateur d'altérations des Fct d'équilibration (vieillesse, fatigue, hypoactivité, lésions centrales...)
- La modélisation/simulation : un vérificateur d'hypothèses indispensable à l'approche expérimentale et clinique.