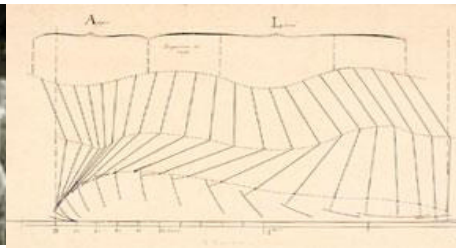




Université d'Alger, Congrès international de Neurosciences  
20-21 Juin 2009

La locomotion: de l'automatisme moteur à  
l'adaptation volontaire

Jean PAILHOUS



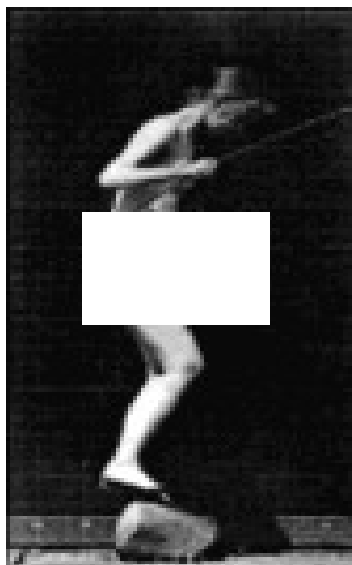
Neurosciences, Alger 2009

La locomotion...

➤ **Comportement stable à bases automatiques**

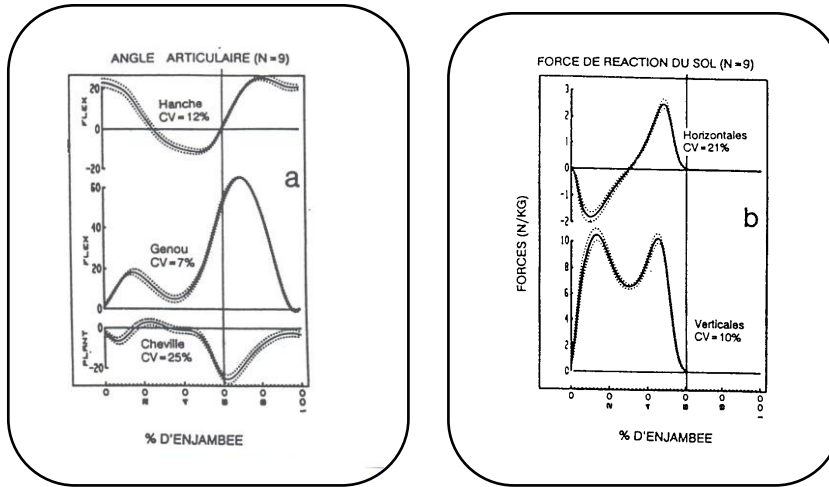
➤ **mais également très adaptable intentionnellement**

... lieu privilégié  
d'intégration de processus  
automatiques et volontaires.



Marey, animation

## Une locomotion sans intention particulière est stable



Winter, 1987

3

## Stability: Two main origins

- **Mechanical origin:**

Semi-conservative system (65% of the total mechanical energy conserved from one cycle to the next).

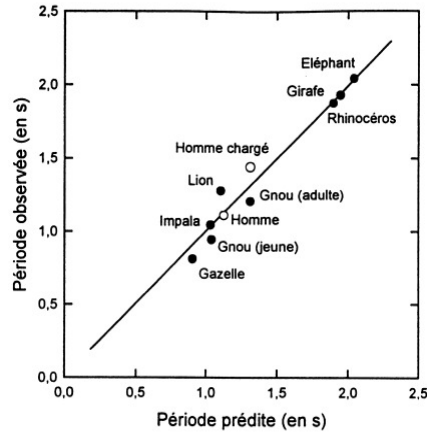
- **Nervous origin**

Existence of a neuromuscular synergy

4

## Mechanical origin of behavioral stability

- Pendular morphology of locomotor apparatus predisposes it to oscillation:  $2\pi\sqrt{l/g}$
- Interaction of the lower limb and the trunk
- Transfert between kinetic and potential energy at CM

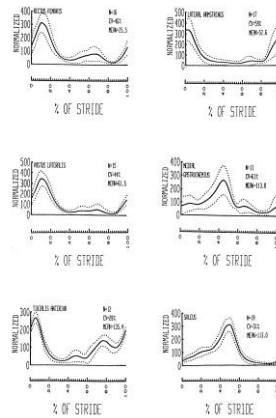
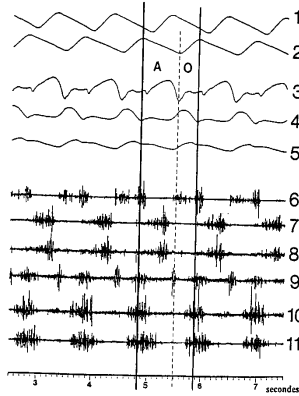


Kugler & Turvey, 1987

5

Semi-conservative system

## Nervous origin of locomotor stability



Winter, 1987

### Existence of a neuromuscular synergy:

- A set of muscles whose activities covary because they share afferent and efferent commands (Boylls, 1975).
- Muscle activation patterns are very stable and reproducible both in timing and amplitude.
- Controlable as a whole (reduction of the number of degrees of freedom).

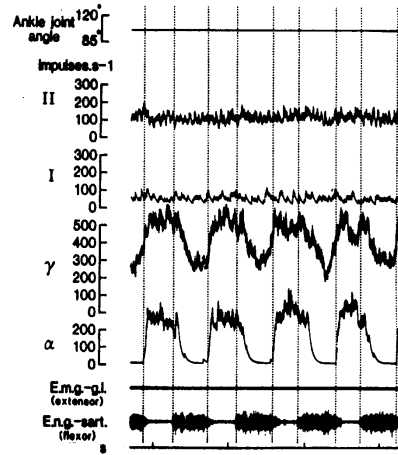
6

# Central pattern generators are organized at spinal levels

This has been shown in cats:

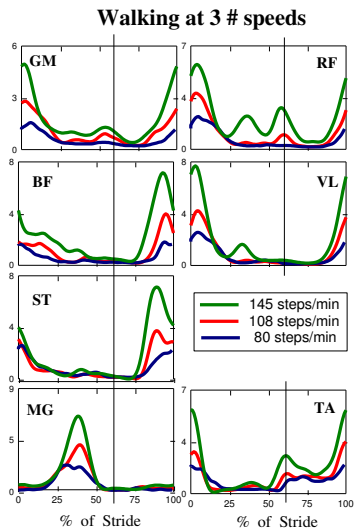
- by transection of the spinal cord
- by curarization (fictive locomotion).

*Bessou et al, 1986*

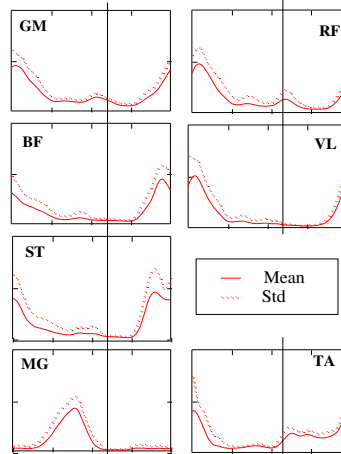


7

## Modulations de la vitesse de marche par commande d'intensité globale

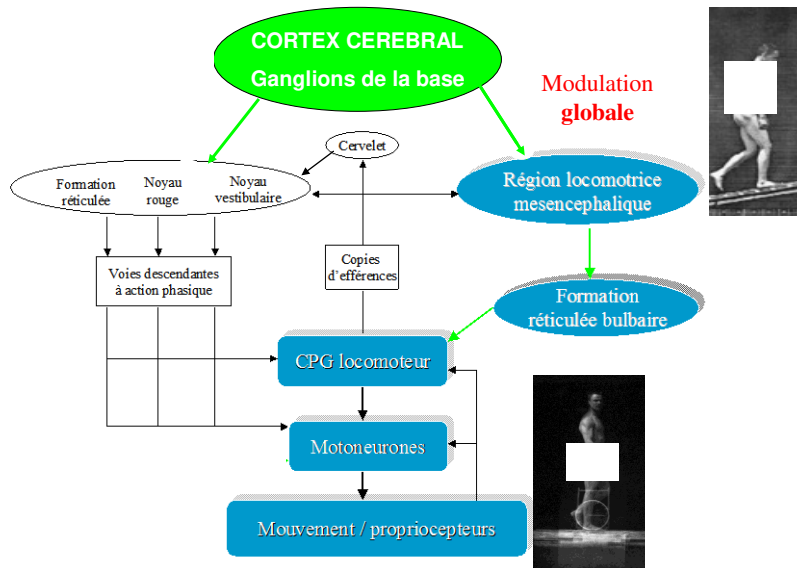


### Averaged profile-spontaneous walking



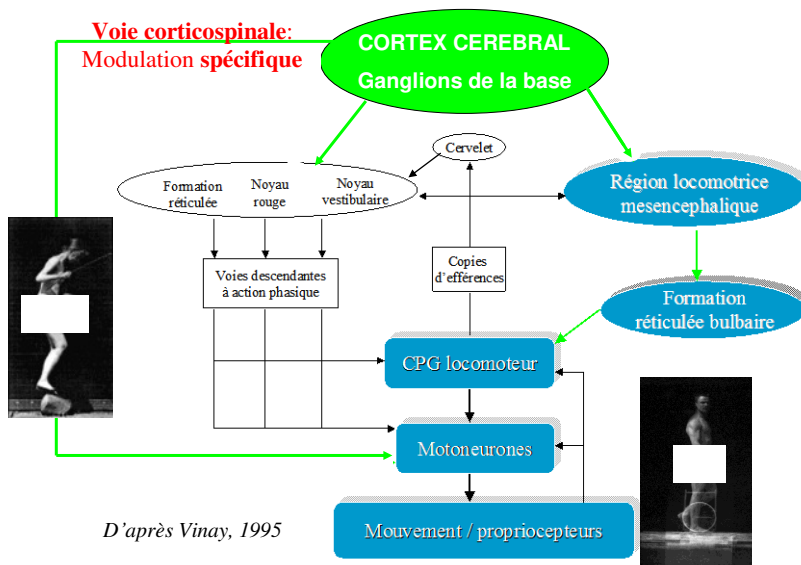
8

## modulation volontaire par commande globale



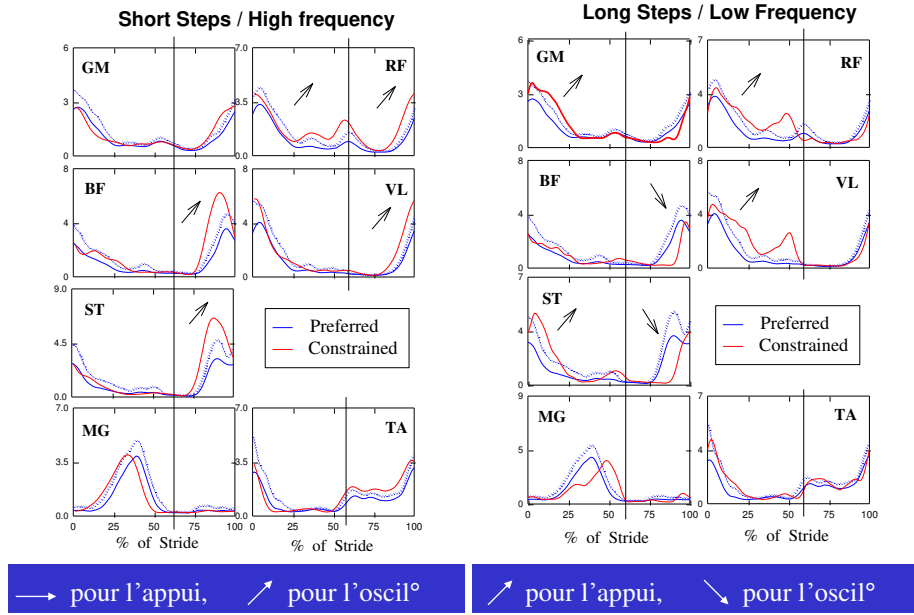
9

## modulations volontaires par commande spécifique



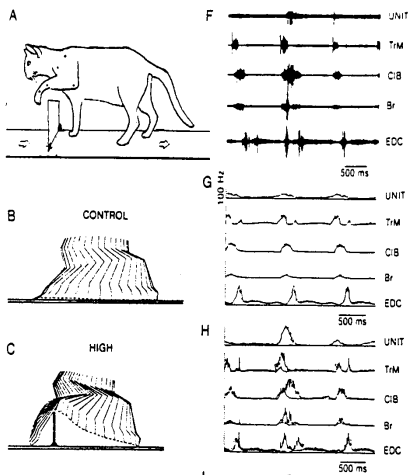
10

## Liens fréquence/amplitude non préférés par commande spécifique



Bonnard et al., 2000 11

## Implication de la voie CS dans les commandes spécifiques



➔ Expériences chez l'animal  
 – Enregistrement Micro-électrode  
 – Micro-Stimulation

➔ Voie cortico-spinale impliquée dans le contrôle fin de l'oscillation mais pas dans le contrôle de l'appui, et plutôt sur les muscles distaux.

Drew, 1988

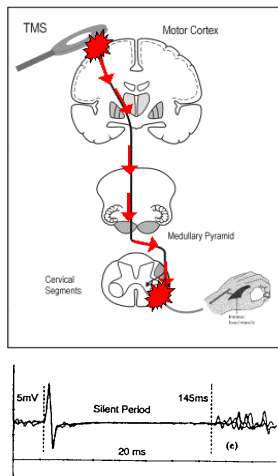
Drew, 1993

Beloozerova et al, 2003

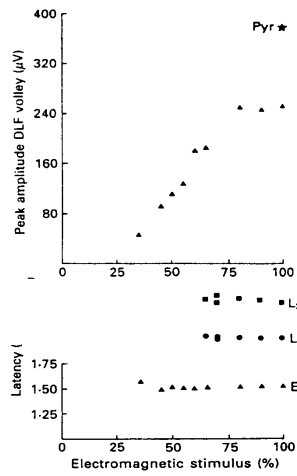
12

## Travaux chez l'homme par stimulation magnétique transcrânienne

### ➤ Stimuler le cortex moteur primaire pour mesurer l'excitabilité CS



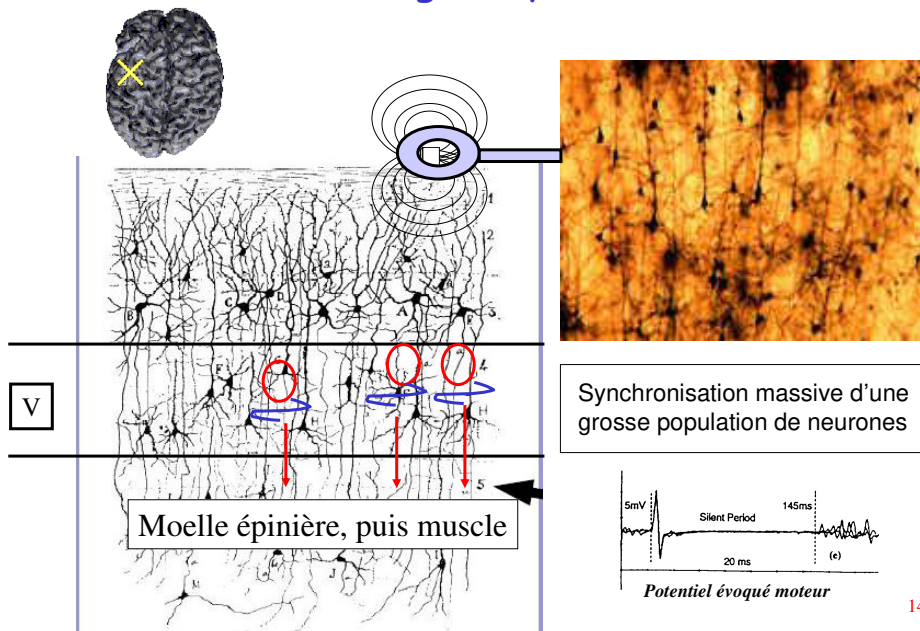
Potentiels évoqués moteurs



(Edgley et al., 1990)

13

## c. Stimulation magnétique transcrânienne



14

## Méthode



### Déclenchement TMS :

- ✓ Intensité suffisante pour perturber l'articulation de la hanche au cours de la marche.

### Deux moments du cycle:

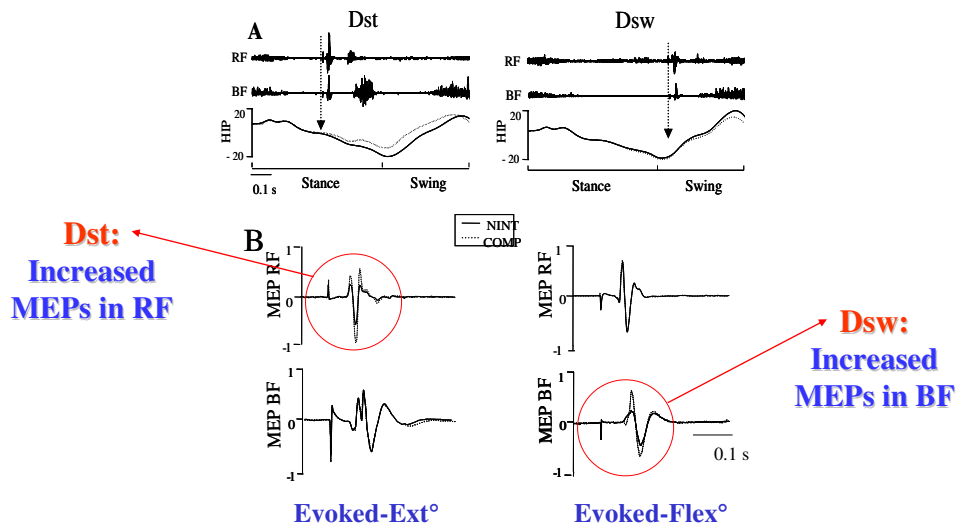
- **Dst:** au milieu de la phase d'appui (augmentation d'extension).
  - **Dsw:** au début de la phase d'oscillation (augmentation de flexion).
- ✓ Effet de la perturbation prédictible.  
Occurrence TMS imprédictible.

### Deux instructions

- Non intervention (NINT)
- Compensation (COMP)

15

## Potentiels évoqués moteurs (MEPs)



Camus et al, 2004

16



## Conclusions

- Première évidence d'une modulation SELECTIVE de l'excitabilité CS à un muscle **proximal** durant la phase **d'appui**.
- le réglage cognitif de l'excitabilité CS s'adapte à la phase du cycle de marche.
- On observe la même stratégie de préparation que la perturbation survienne au cours de la phase d'appui ou lors de la phase d'oscillation: augmentation SELECTIVE d'excitabilité CS dans les muscles antagonistes à la perturbation (i.e. muscles inactifs, étirés par perturbation).

17

### Conclusions générales sur la voie CS dans la locomotion

- ✓ La voie CS est impliquée dans l'adaptation volontaire de l'automatisme locomoteur. Son état dynamique peut se modifier de façon **sélective**, **efficace** et **flexible**...pour anticiper la compensation de perturbations centrales.
- **Sélectives** : ces modulations d'excitabilité concernent spécifiquement les muscles permettant de compenser la perturbation.
- **Efficaces** : donnent au comportement souhaité une réelle chance de se réaliser.
- **Flexibles** : S'adaptent au type de mouvement évoqué et changent rapidement au cours du mouvement...
- Vrai pour le **membre inférieur** comme pour le **membre supérieur**

18