

# Chapitre 10

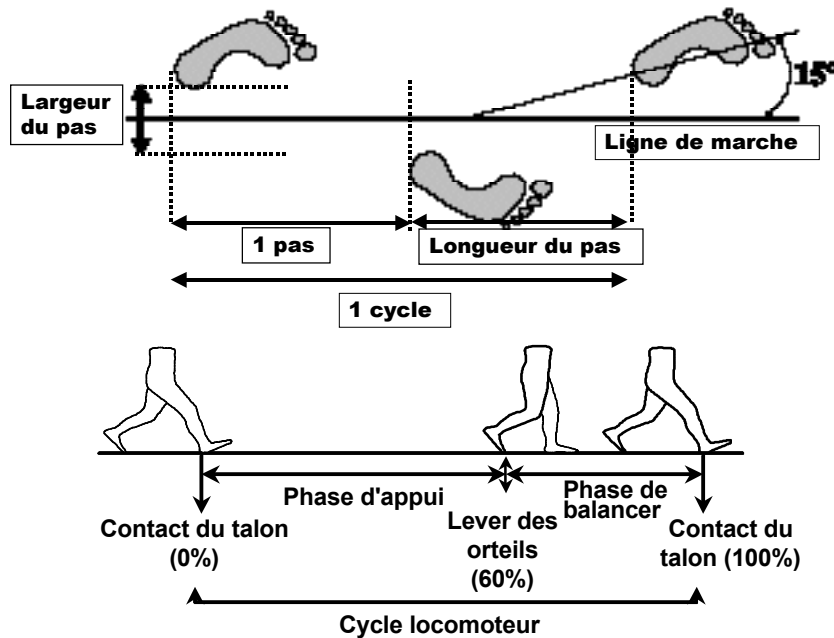
## La locomotion

Rigal Robert

### La marche humaine

- Particularités
  - - prééminence du talon lors du contact au sol;
  - - voûte plantaire prononcée;
  - - volume important du mollet.
- Caractéristiques
  - le pas ou foulée: actions se produisant entre la pose au sol du talon d'une jambe et la pose suivante du talon de l'autre jambe.

## La marche (fig. 10.12A)

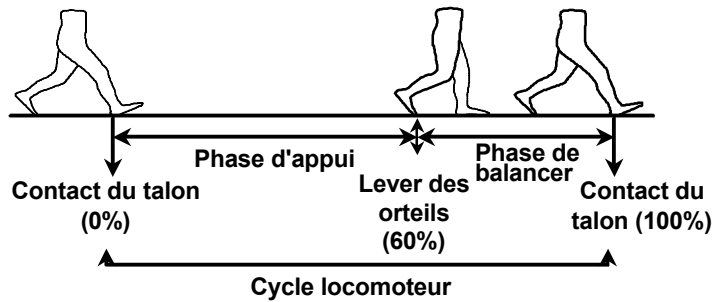


## La marche humaine

- le cycle lui comprend deux pas soit les actions se produisant entre la pose du talon d'une jambe au sol et la pose suivante du même talon;
- un cycle inclut une phase d'appui (60% de la durée du cycle) et une phase d'oscillation ou de balancer (40% de la durée du cycle);
- phase d'appui=support+poussée;
- 2 périodes de double appui entre 0-10% et 50-60% du cycle;
- marche accélérée: diminution de la durée de la phase d'appui, celle de la phase d'oscillation variant très peu.

# Cycle locomoteur chez l'Homme

## Aspects mécaniques



- **2 phases**

- **phase de support (appui)**
  - 60% de la durée du cycle
- **phase de balancer (oscillation ou transfert)**
  - 40% de la durée du cycle

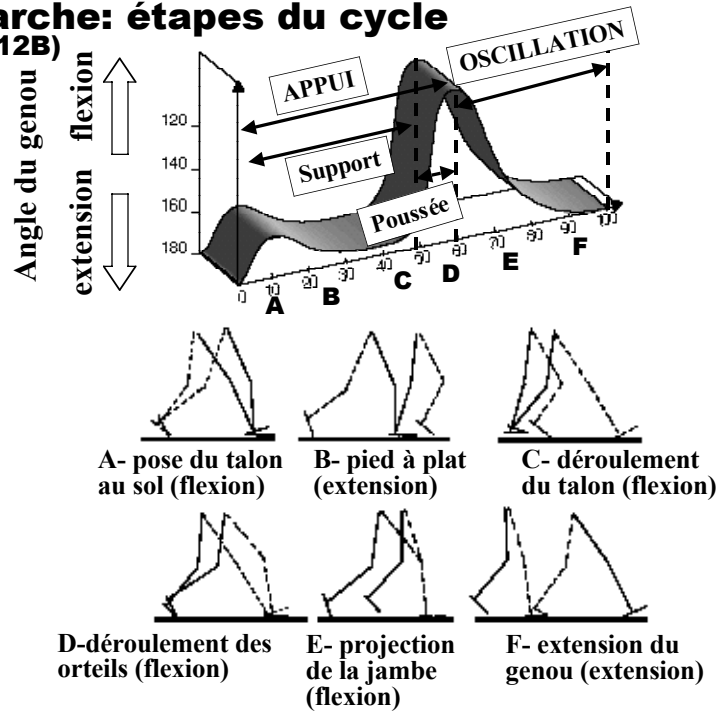
**Phase de support : le pied entre contact avec le sol; elle inclut 3 sous phases:**

- acceptation du poids
- mi-support
- poussée (propulsion)

**Principalement contrôlée par les muscles extenseurs des membres inférieurs**

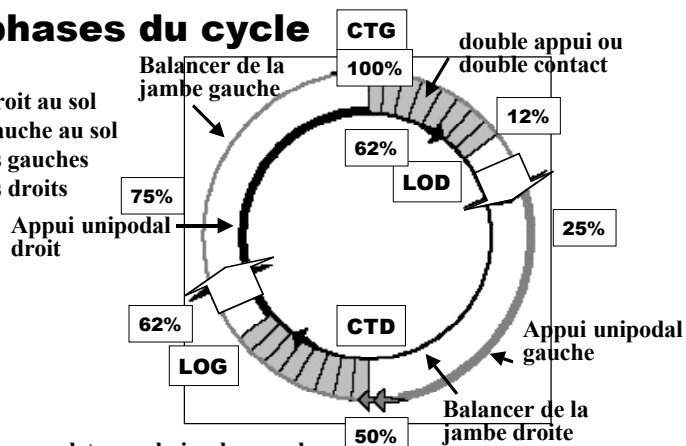
- , **Phase de balancer : déplacement du pied au-dessus du sol;**
- , **Intervention majeure des muscles fléchisseurs des membres inférieurs (hanche et cheville).**

## La marche: étapes du cycle (fig. 10.12B)



## La marche: phases du cycle (fig. 10.14)

CTD : contact talon droit au sol  
 CTG : contact talon gauche au sol  
 LOG : lever des orteils gauches  
 LOD : lever des orteils droits



cercle extérieur : 1 cycle complet pour la jambe gauche  
 cercle intérieur : 1 cycle complet pour la jambe droite

de 0 à 62% : phase d'appui  
 • 0 à 12% : double appui ou double contact  
 • 12 à 50% : appui unipodal  
 • 50 à 62% : double appui ou double contact  
 de 62 à 100% : phase de balancer

0 à 50% : un pas  
 0 à 100% : un cycle complet

## La marche humaine

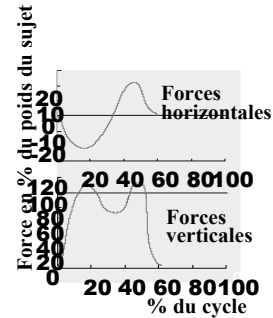
- ses paramètres
- longueur du pas: égale en moyenne à la moitié de la taille du sujet;
- cadence: nombre de pas par minute; entre 100 et 120 pas;  $F > H$ .
- vitesse:  $v = l \times f / 60$ , en m/s, où  $l$  représente la longueur du pas en mètre et  $f$  la fréquence; varie autour de 4,5 km/h;
- durée de l'appui: 60% de la durée du cycle; quand la vitesse augmente, cette durée diminue 3,5 fois plus vite que celle de l'oscillation; durée moyenne du pas de 38 centièmes de seconde;
- rapport bassin-talons:  $>$  à 1 par inclinaison interne des jambes.

## La marche humaine

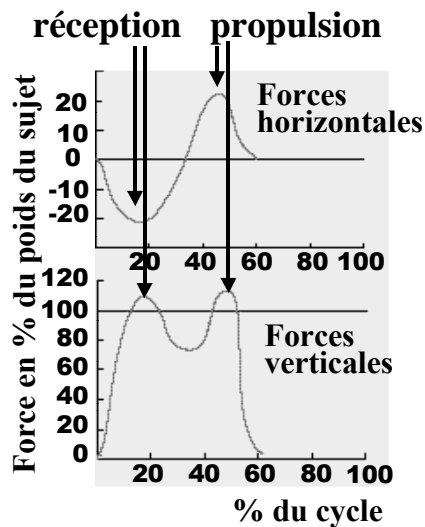
- groupes musculaires
- hanche:
  - fléchisseurs: psoas iliaque, droit antérieur, tenseur du fascia lata, couturier;
  - extenseurs: 3 fessiers, grand adducteur, ischio-jambiers;
- genou:
  - fléchisseurs: ischio-jambiers, jumeaux du triceps sural;
  - extenseurs: droit antérieur, crural, vaste externe;
- cheville:
  - flexion dorsale: jambier antérieur, péronier antérieur, extenseurs des orteils;
  - flexion plantaire: triceps sural.

# La marche humaine

- cinétique
- étude des forces passant par le centre de gravité du corps;
- énergie mécanique de réception au sol, d'appui, de propulsion;
- réception: force horizontale de freinage égale à 20% du poids du corps et force verticale d'appui de 120%;
- propulsion: force horizontale vers l'arrière égale à 20% du poids du corps et force verticale de 120%.



## La marche humaine: variables cinétiques (fig. 10.17)



Les forces ont été normalisées en les divisant par la masse du sujet.

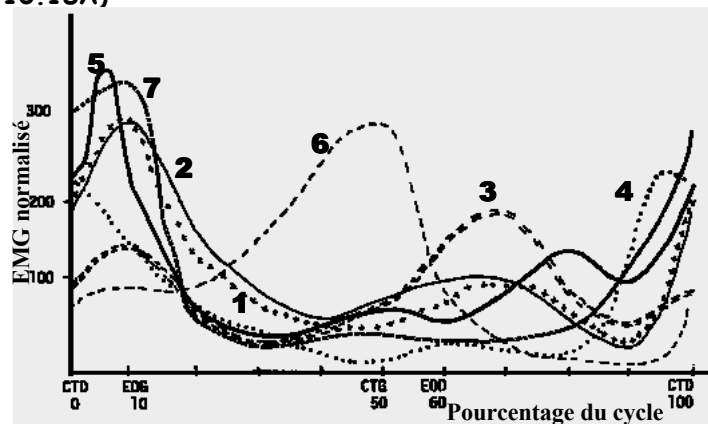
Ces schémas font ressortir les accélérations et décélérations du centre de gravité pendant la phase de support.

La décélération horizontale s'accompagne d'une accélération verticale à 15 % du cycle

# La marche humaine

- électromyographie
- contact: contraction excentrique du jambier antérieur pour freiner la flexion plantaire, des extenseurs de la jambe sur la cuisse pour amortir l'appui, du grand fessier pour éviter la flexion de la hanche;
- poussée: triceps sural;
- balancer: droit antérieur pour la flexion de la hanche, couturier pour celle du genou, jambier antérieur pour la flexion dorsale de la cheville;
- stabilisation horizontale du bassin: moyen fessier et tenseur du fascia lata.

## La marche: données électromyographiques (fig. 10.18A)



- +++ grand fessier (gluteus maximus) 1
- droit antérieur (rectus femoris) 2
- === couturier (sartorius) 3
- biceps crural (biceps femoris) 4
- jambier antérieur (tibialis anterior) 5
- triceps sural (triceps suræ) 6
- ischiojambiers 7

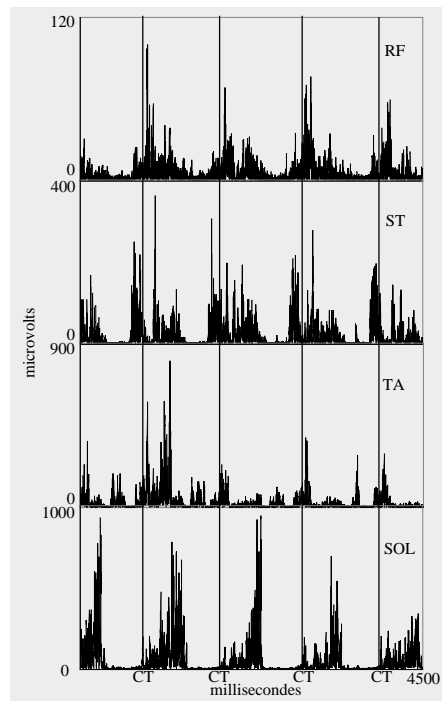
- CTD : contact talon droit
- EOG : élévation orteils gauches
- CTG : contact talon gauche
- EOD : élévation orteils droits

**Figure 10.18B**

**La marche: données électromyographiques**  
**B- Exemples d'activité EMG**  
(Illustration fournie par Nianga, A. et B. McFadyen, 2001, CIRRIIS, Québec)

La figure illustre quatre cycles complets de la marche normale d'un sujet adulte. Les EMG sont rectifiés. Noter les moments d'intervention des différents muscles: le RF et le TA au début du cycle (absorption de la force d'appui), le SOL au milieu du cycle et le ST à la fin du cycle.

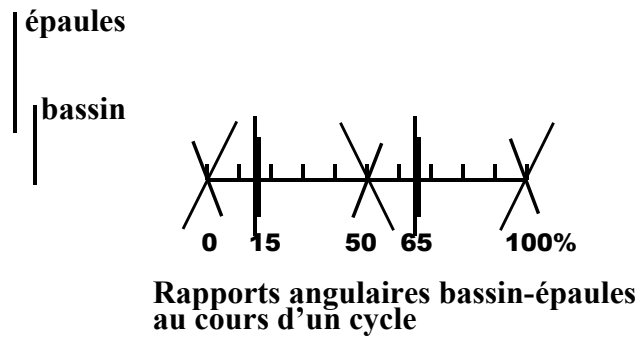
**CT: contact du talon droit au sol;**  
**RF: rectus femoris (droit antérieur);**  
**ST: semi-tendineux (demi-tendineux)**  
**TA: tibialis anterior (jambier antérieur) ;**  
**SOL: soléaire**



## La marche humaine

- cinématique
- étude de la direction, de l'amplitude, de la vitesse et de l'accélération des déplacements;
- contact du talon; appui et centre de pression; poussée; balancer: hauteur des orteils voisine de 1cm au milieu du balancer;
- flexion-extension-flexion du genou: la première flexion fait suite au contact du talon au sol; l'extension se produit pendant l'appui unipodal; la deuxième flexion a lieu au cours du balancer;
- 2 oscillations verticales du centre de gravité au cours d'un cycle;
- axes transversaux épaules-bassin.

# Variables cinématiques

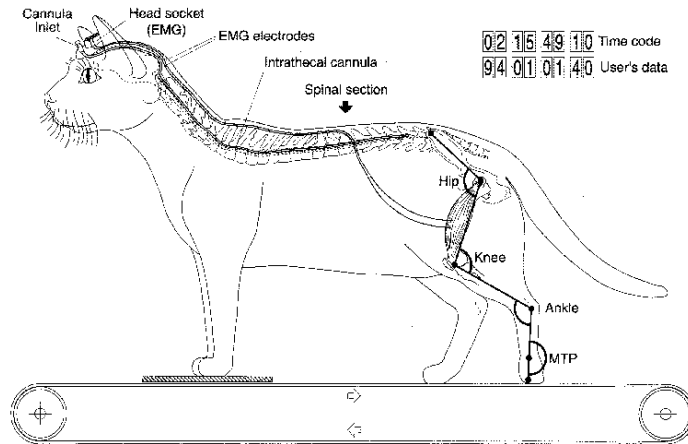


## Contrôle nerveux de la locomotion

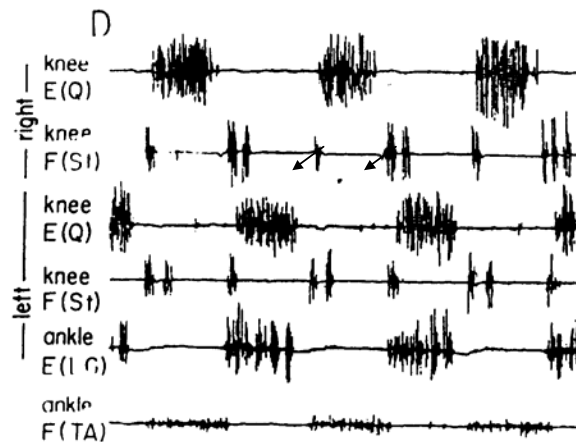
- Quelles sont les structures intervenant?
- Quelles sont leurs fonctions?
- Quelles sont les conséquences de leurs lésions?

# Contrôle nerveux de la locomotion animale

## Dispositif expérimental



## Locomotion chez le chat intact



**Le pattern est plus complexe que la simple alternance entre les extenseurs et les fléchisseurs**

# Réseaux locomoteurs de la moelle épinière

- Quelle est la structure des réseaux?
- Plusieurs hypothèses ont été émises comme:
  - le modèle des demi-centres;
  - le modèle du « générateur central de patron ».

## Modèle des demi-centres

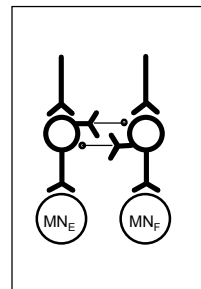
< Les réseaux centraux génèrent une alternance entre les fléchisseurs et les extenseurs.

<Travaux de Brown (1911) et du groupe de Lundberg dans les années 60.

Réseau de neurones capable de générer un rythme locomoteur:

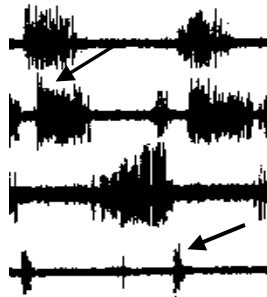
- sans influx sensoriels,
- sans les influences descendantes,
- localisé dans la moelle épinière.

Toutefois, le patron complexe nécessite l'apport d'afférences sensorielles pendant le mouvement.

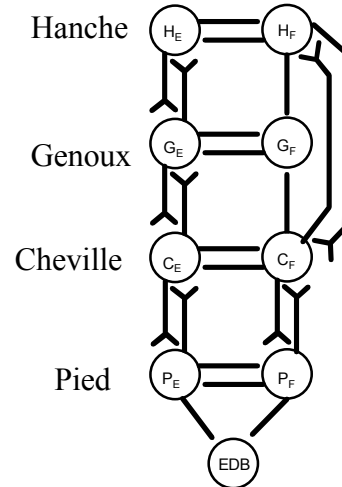


## Modèle du « Générateur Central de Patron (GCP) »

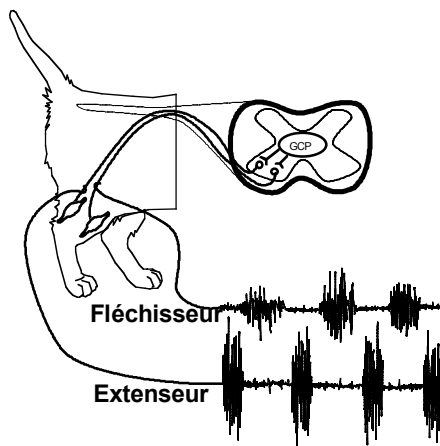
- Proposé par le groupe de Grillner à la fin des années 70
- Réseau de neurones capable de générer un patron complexe:
  - sans influx sensoriels,
  - sans les influences descendantes,
  - localisé dans la moelle épinière.



■ Un groupe générateur pour chaque articulation



## La locomotion fictive



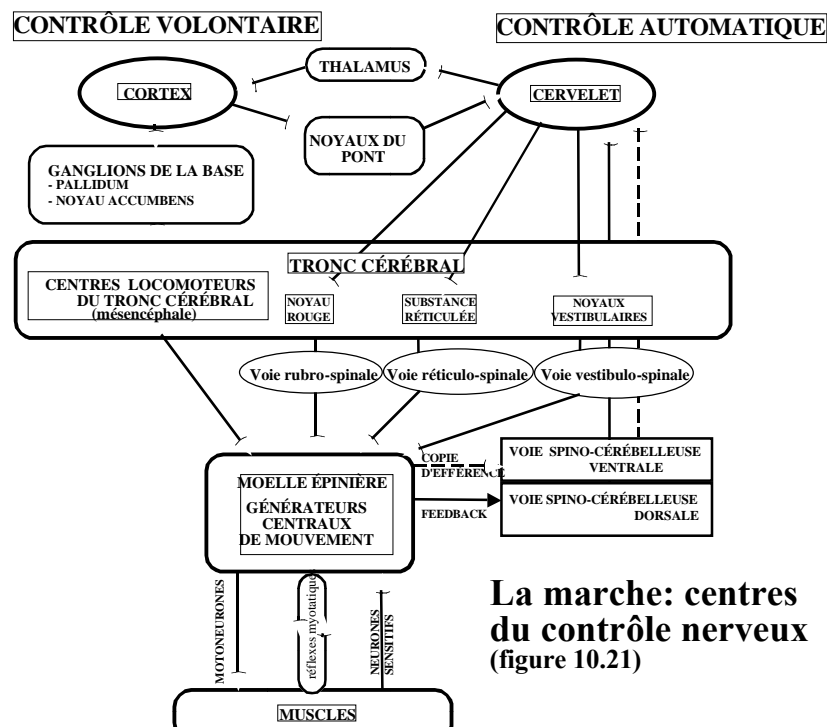
- Grillner et Zangger (1974)
  - enregistrements sur les nerfs des muscles chez l'animal curarisé;
  - « locomotion fictive »: pas de mouvements mais
  - rythme locomoteur induit par l'addition d'agents pharmacologiques.

# La marche humaine

- centres nerveux de contrôle;
- générateurs centraux ou spinaux de mouvements?
- évidences indirectes chez l'humain:
- Vétérans de guerre après une lésion complète de la moelle épinière;
- **Mouvements locomoteurs de patients:**
  - EMG et cinématique du rythme locomoteur de base chez un patient avec lésion complète (Calencic et al., 1994)
- **Mouvements locomoteurs du nouveau-né:**

Mouvements locomoteurs de base étudiés par Forssberg (1985) et Yang (1998);

Avant la maturation des voies descendantes, les mouvements locomoteurs sont inhibés.



**La marche: centres du contrôle nerveux (figure 10.21)**

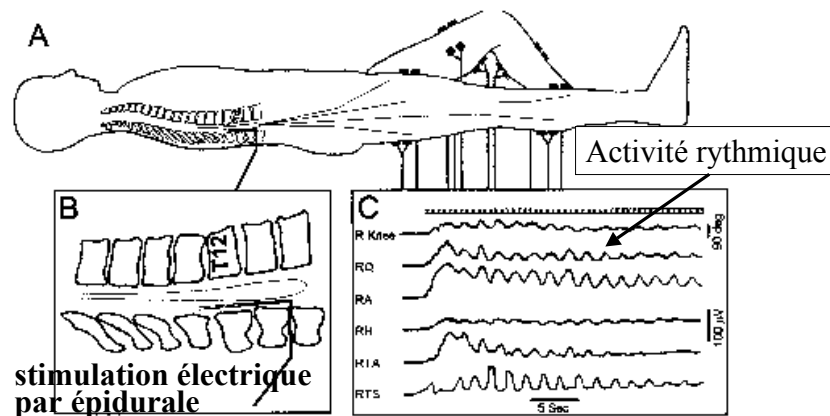
# Rôles des structures supraspinales

## Initiation de la marche

- Région locomotrice mésentéphalique
- Voie d'accès à la moelle par les voies réticulospinales

## Contrôle de la marche

- Voie corticospinale: modifications précises de la trajectoire des membres et du corps
- Voie rubrospinale
  - fléchisseurs controlatéraux
- Voies vestibulospinales
  - extenseurs
- Voies réticulospinales
  - coordination des mouvements des membres
  - fléchisseurs et extenseurs
- La modulation de l'activité des cellules dépend du cervelet.



- Études récentes réalisées chez des patients ayant une lésion complète de la moelle épinière:
  - stimulation électrique de la moelle épinière,
  - déclenchement d'une activité électromyographique rythmique;

## Rôle des influx descendants

- **Initiation de la locomotion:**
- **Contrôle de la locomotion en cours:**
  - **Modification du niveau d'activité musculaire:**
    - substance réticulée
    - noyaux vestibulaires
  - **Modification des trajectoires des membres:**
    - activité corticale pendant la locomotion,
    - changements de direction,
    - anticipation et évitement d'obstacles,
    - ajustements posturaux,
    - ajustements fins (ex. positionnement du pied).

## Rôle des afférences sensorielles

- **Adaptation aux changements dans l'environnement;**
- **Adaptation à des perturbations;**
- **Signalisation d'événements:**
  - contact du pied au sol
  - transition de phase
- **Coordination pour un ou plusieurs membres:**
  - activités musculaires
  - articulations
- **Régulation de la force et de l'activité musculaire.**

# **Approches thérapeutiques chez l'homme**

- **Entraînement locomoteur avec support de poids partiel;**
- **Approche pharmacologique (la clonidine diminue la spasticité);**
- **Régénération des fibres nerveuses qui ont été lésées et réorganisation des circuits restants.**

## **Conclusions**

- **Les réseaux de neurones contenus dans la moelle épinière sont capables de générer:**
- **une activité rythmique efférente qui s'apparente de très près à la locomotion observée chez l'individu normal (animal ou homme);**
- **ni les afférences sensorielles, ni les voies descendantes ne sont essentielles pour générer le pattern locomoteur de base;**
- **elles deviennent capitales pour les ajustements de la locomotion réelle.**

**FIN**