UEF1- Evaluation de la performance

Evaluation musculaire - Locometrix

Fabrice Mégrot

Unité Clinique d'Analyse de la Marche et du Mouvement

Centre de Médecine Physique et de Réadaptation Pour Enfants de Bois Larris – Croix-Rouge Française

Lamorlaye.

http://www.analysedelamarche.fr

Pierre-Marie Leprêtre

Laboratoire de recherche « adaptations physiologiques à l'exercice et réadaptation à l'effort », EA-3300

UFR-STAPS, UPJV, Amiens.

pierre-marie.lepretre@u-picardie.fr

- **Introduction**

- ***Locometrix*: qu'est-ce que c'est?**

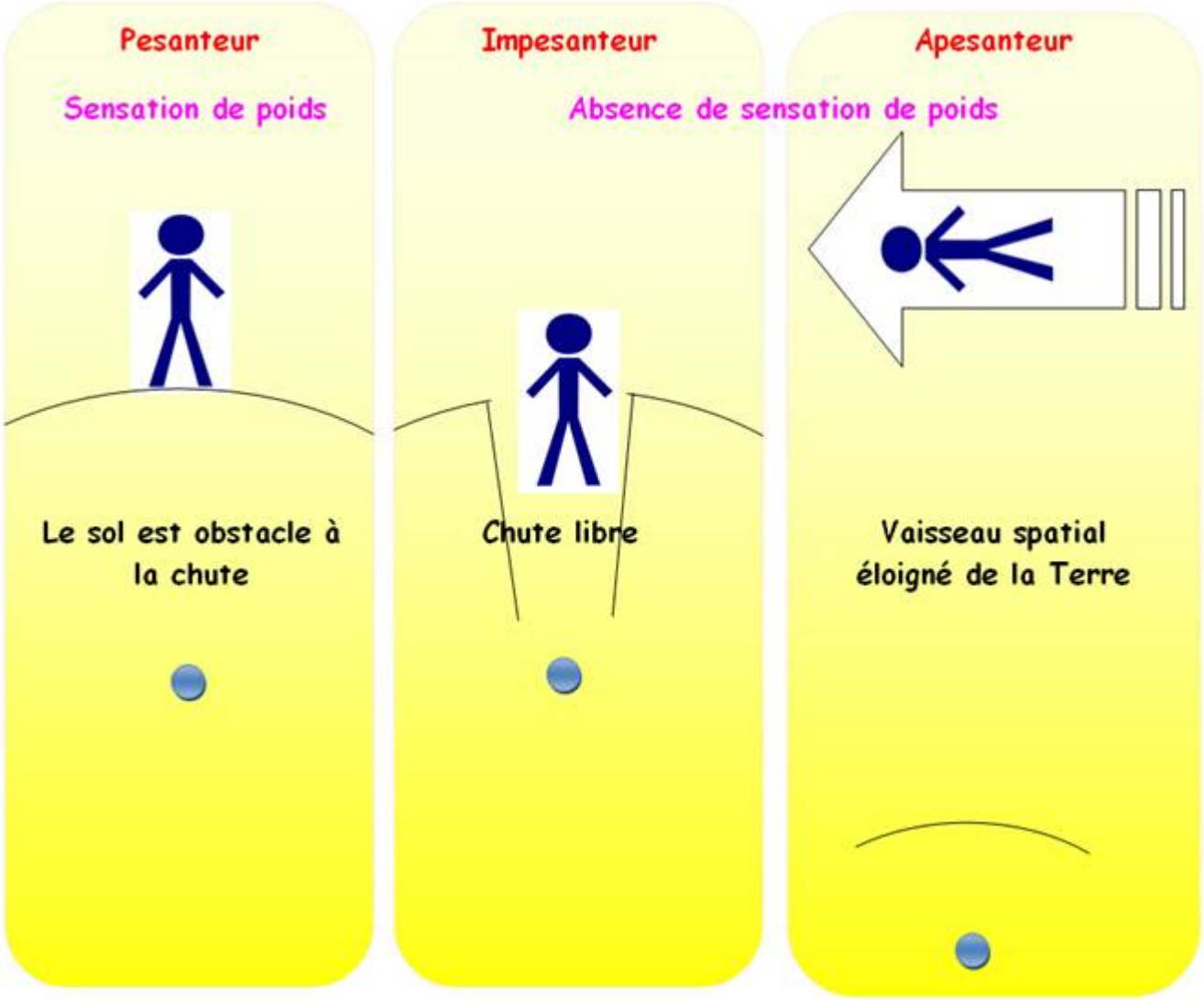
- **Accéléromètre et quantification du geste sportif**
  - ✓ exemple du saut vertical
  - ✓ exemple de la musculation

- **Accéléromètre triaxial et Analyse Quantifiée de la Marche humaine**
  - ✓ définition
  - ✓ pourquoi utiliser un accéléromètre pour une AQM?
  - ✓ limites

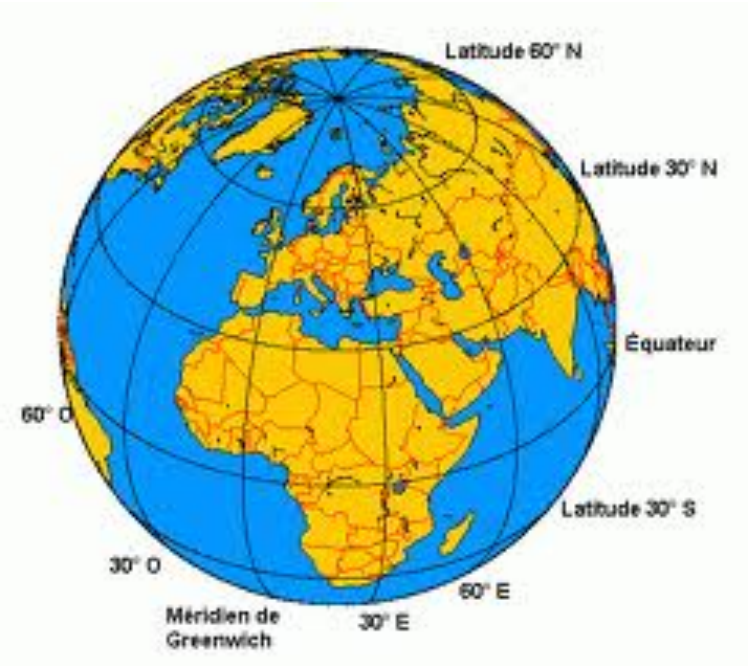
- ***Accélérométrie*: évaluation, prévention de la blessure & réhabilitation?**

- **Conclusions**

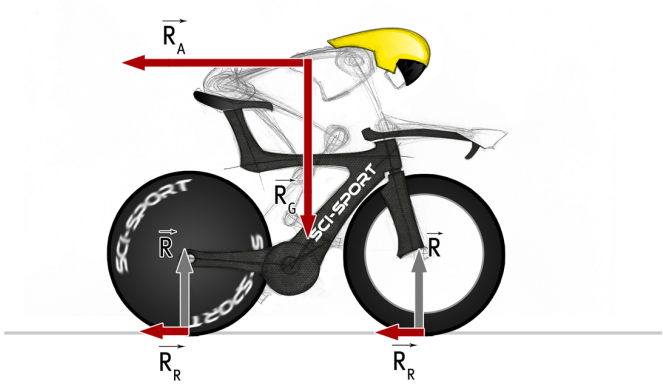
❑ Introduction



❑ Introduction



g

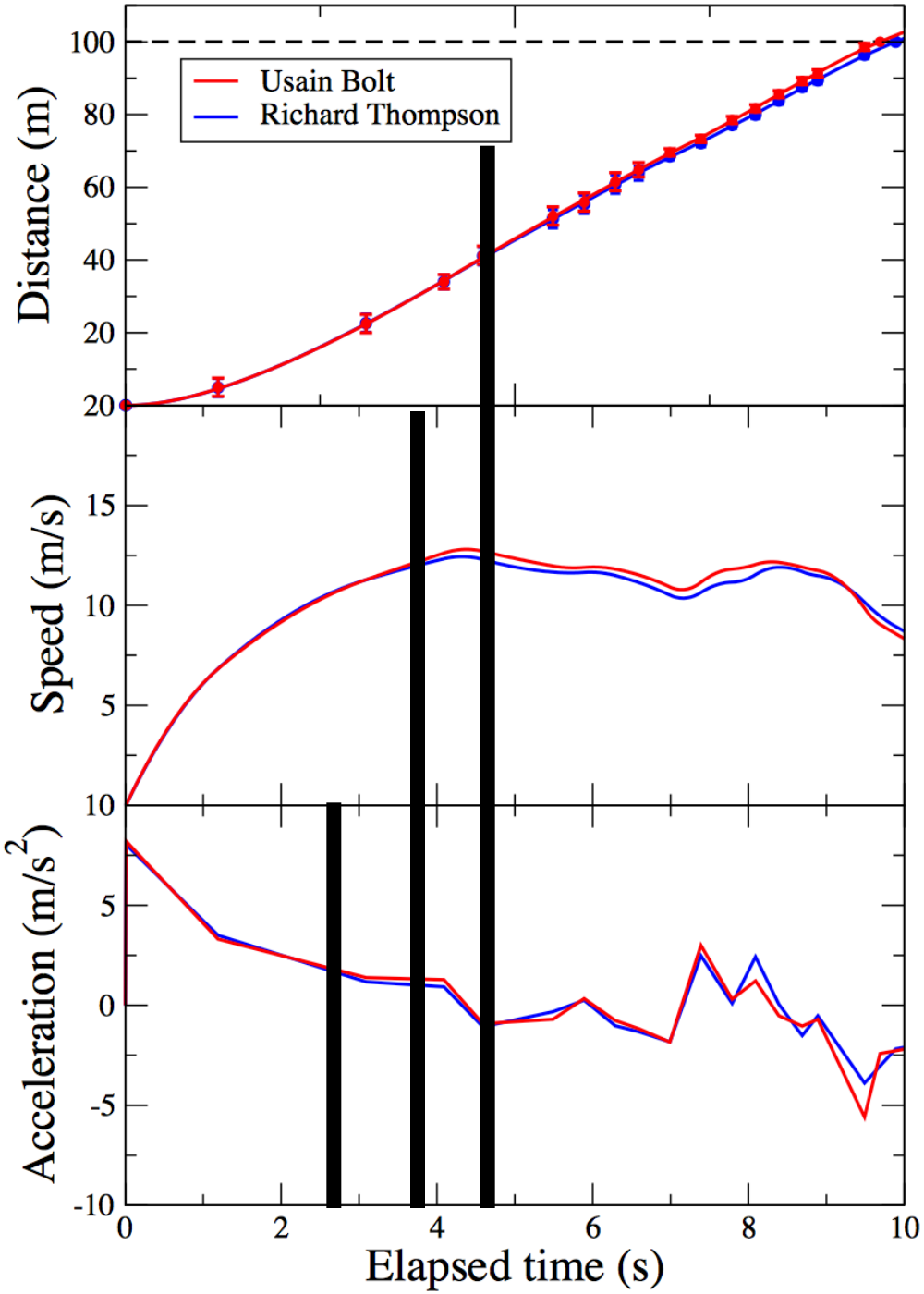


2163

Ω OMEGA
NEW WR
9.69
© Copyright Xinhua - Casafree.com

Eriksen et coll. Draft version September 2, 2008

$$v(t) = \frac{ds}{dt}$$



$$a(t) = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}$$

Eriksen et coll.

2008

- Introduction

- ***Locometrix*: qu'est-ce que c'est?**

- Accéléromètre et quantification du geste sportif
  - ✓ exemple du saut vertical
  - ✓ exemple de la musculation

- Accéléromètre triaxial et Analyse Quantifiée de la Marche humaine
  - ✓ définition
  - ✓ pourquoi utiliser un accéléromètre pour une AQM?
  - ✓ limites

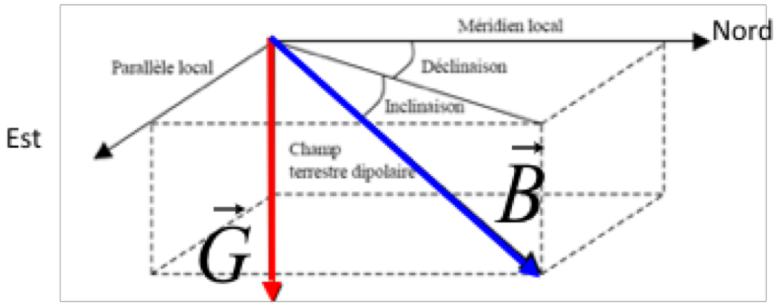
- ***Accélérométrie*: évaluation, prévention de la blessure & réhabilitation?**

- Conclusions

❑ Locometrix: qu'est-ce que c'est?

- ✓ Capteur placé au niveau de la région sacro-lombaire (L3-L4)
  - Accéléromètre triaxial (3 accéléromètres perpendiculaires placés dans le même capteur)
  - Fréquence d'échantillonnage de 100 hertz

- ✓ Analyse du signal en fonction du temps, selon 3 axes:
  - cranio-caudal (haut-bas)
  - médio-latérale (gauche-droite)
  - antéro-postérieur (avant-arrière)



- ✓ Méthode dynamique d'analyse de la locomotion humaine

les accéléromètres

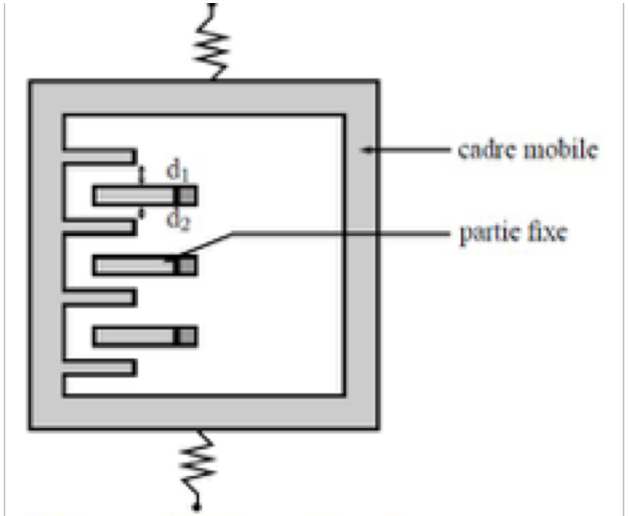


Schéma simplifié d'un accéléromètre.

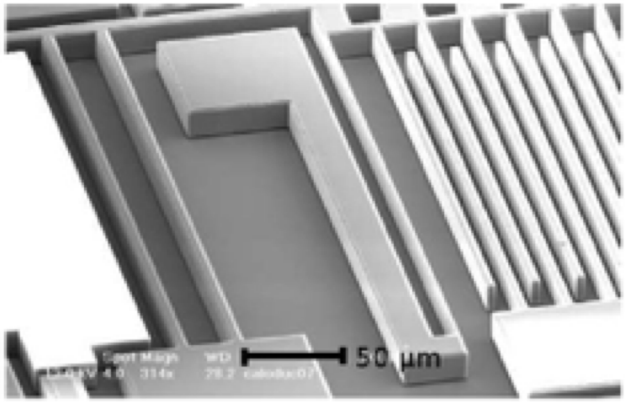
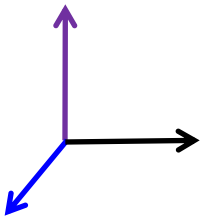


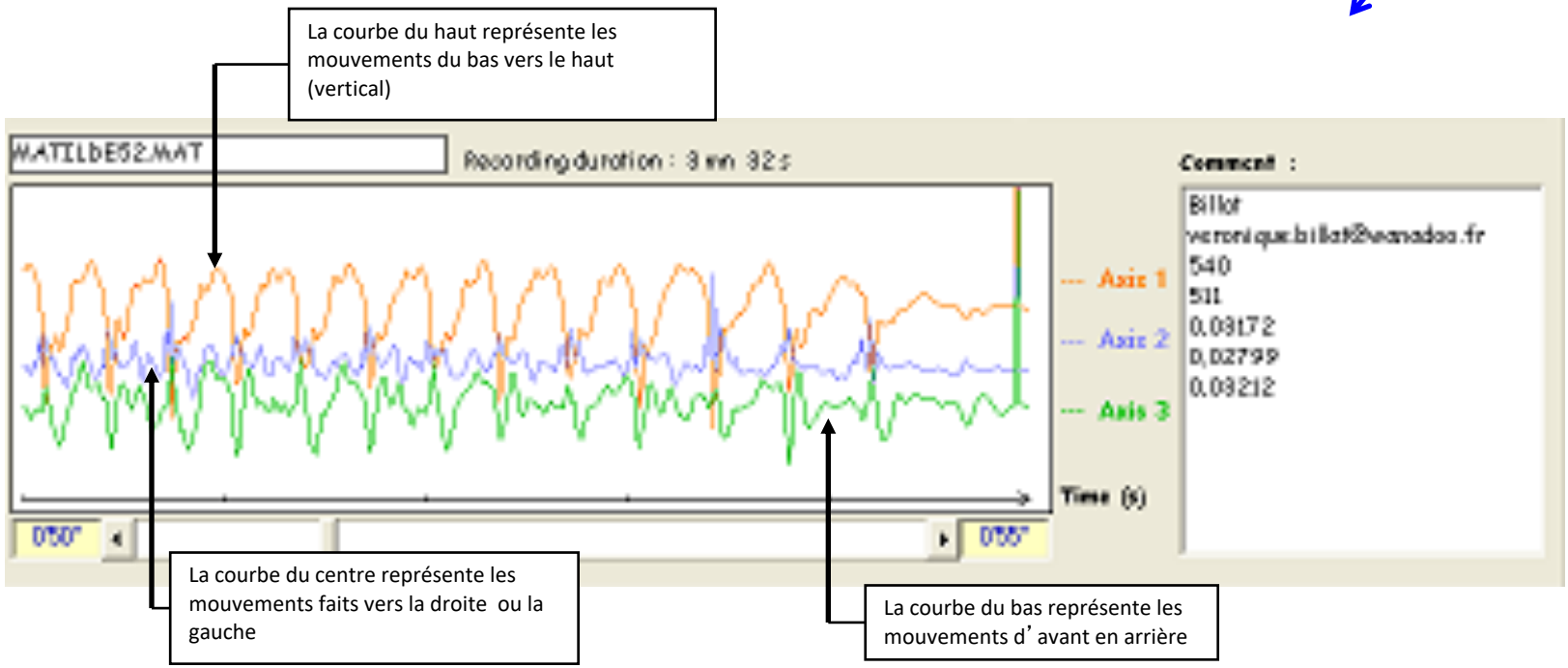
FIG. 1: Vue au microscope électronique à balayage des dents d'un accéléromètre (*Camon*)

La capacité varie avec la distance entre les dents des 2 peignes (d1, d2) et avec la surface des deux peignes en regard. Elle est donc modifiée sous l'effet d'un choc. Chaque variation de capacité mesurée correspond à un changement d'accélération. Cette variation, est convertie en signal électrique.

❑ Locometrix: qu'est-ce que c'est?

✓Analyse du signal en fonction du temps,
selon 3 axes:
- cranio-caudal (haut-bas)
- médio-latérale (gauche-droite)
- antéro-postérieur (avant-arrière)





✓1 analyse sur 19 à 20 foulées de marche stabilisée (TDM=30m)

- Introduction

- *Locometrix*: qu'est-ce que c'est?

- **Accéléromètre et quantification du geste sportif**
  - ✓ exemple du saut vertical
  - ✓ exemple de la musculation

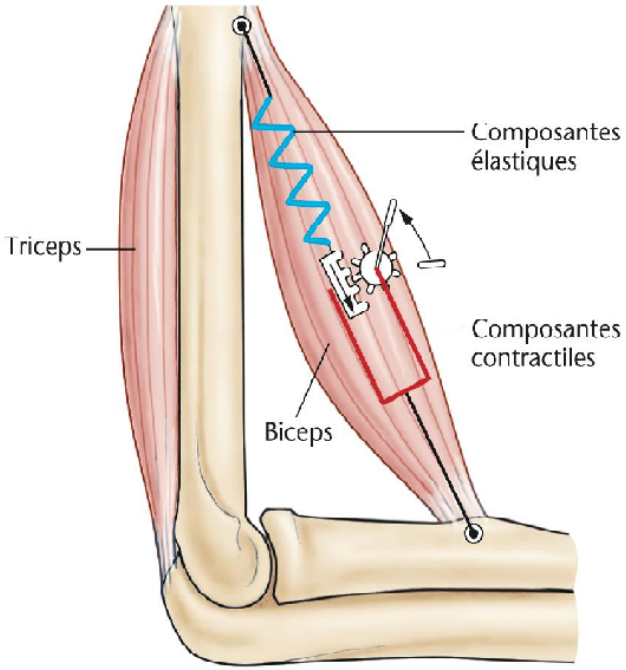
- Accéléromètre triaxial et Analyse Quantifiée de la Marche humaine
  - ✓ définition
  - ✓ pourquoi utiliser un accéléromètre pour une AQM?
  - ✓ limites

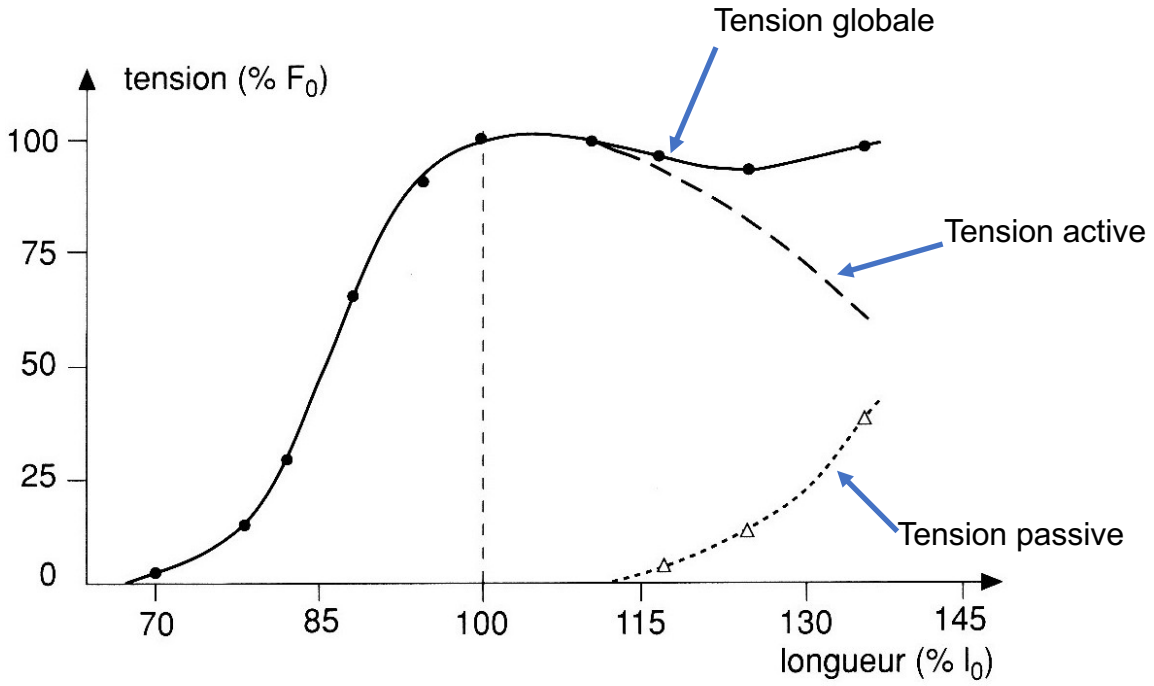
- *Accélérométrie*: évaluation, prévention de la blessure & réhabilitation?

- Conclusions

- **Accéléromètre et quantification du geste sportif:**
- ✓ ≠ types de sauts pour identifier ≠ qualités musculaires?

Le modèle de Hill (1938)…



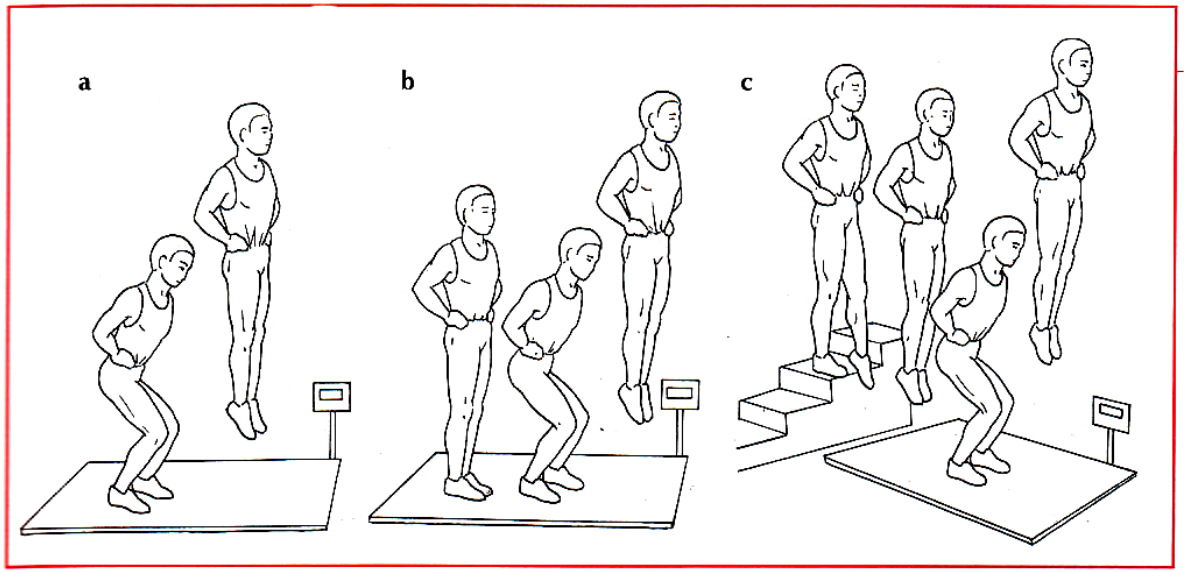


…et la relation tension - longueur

- **Accéléromètre et quantification du geste sportif:**
- ✓ ≠ types de sauts pour identifier ≠ qualités musculaires?

(Sargent L. W. 1924)

➢SJ: Puissance Maximale (Anaérobie Alactique) (a)

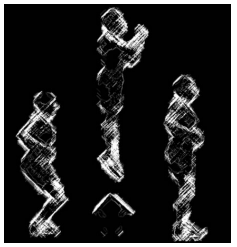


➢CMJ: Élasticité – coordination musculaire (b) ⇒ restitution d'énergie

➢ DJ: Réactivité musculaire (c)

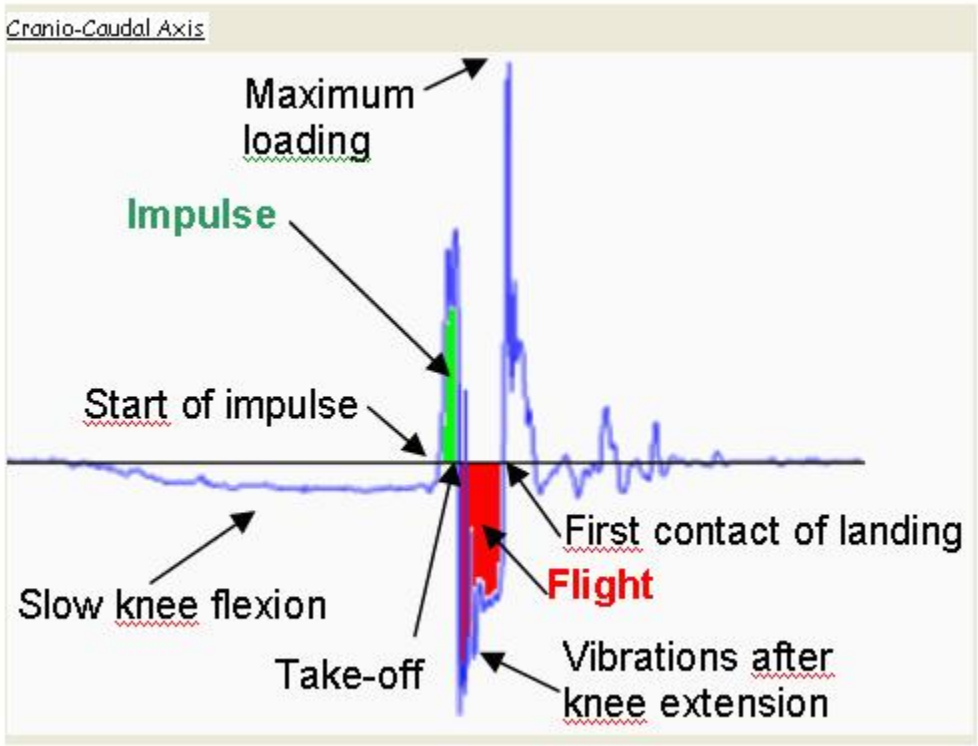
(Bosco et Komi 1979,Gazorla et coll. 1994)

- **Accéléromètre et quantification du geste sportif:**
- ✓ ≠ types de sauts pour identifier ≠ qualités musculaires?



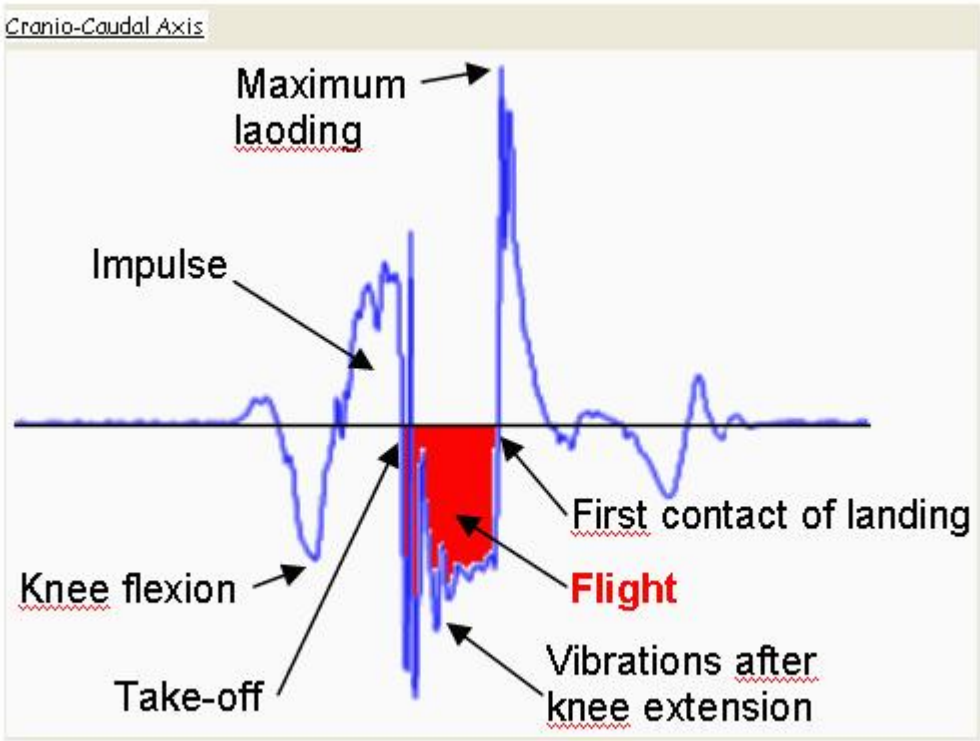
(Sargent L. W. 1924)

➢Squat Jump ou détente verticale



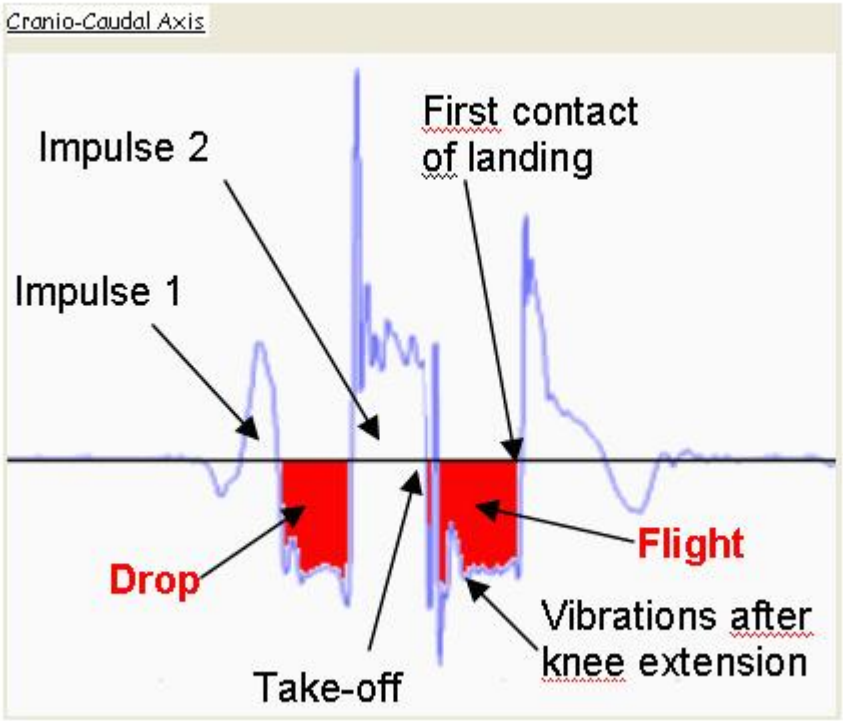
- **Accéléromètre et quantification du geste sportif:**
- ✓ ≠ types de sauts pour identifier ≠ qualités musculaires?

➢Counter Movement Jump ou saut vertical avec contre-mouvement

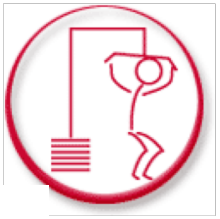


- **Accéléromètre et quantification du geste sportif:**
- ✓ ≠ types de sauts pour identifier ≠ qualités musculaires?

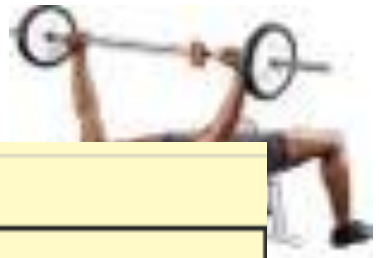
➢Drop jump ou saut vertical en contre-bas

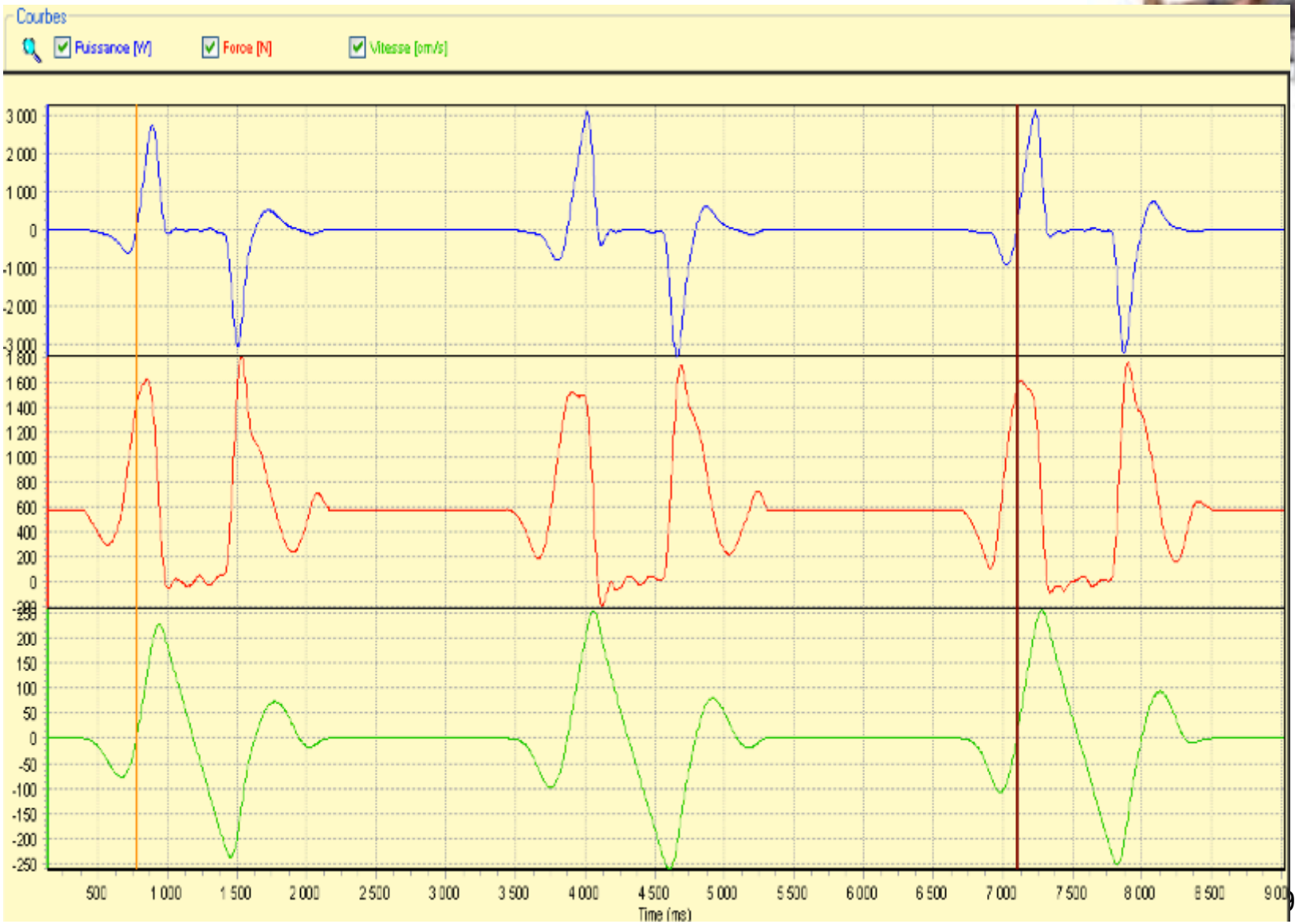


- ❑ **Accéléromètre et quantification du geste sportif:**
- ✓ Musculation, Force, Vitesse et Puissance

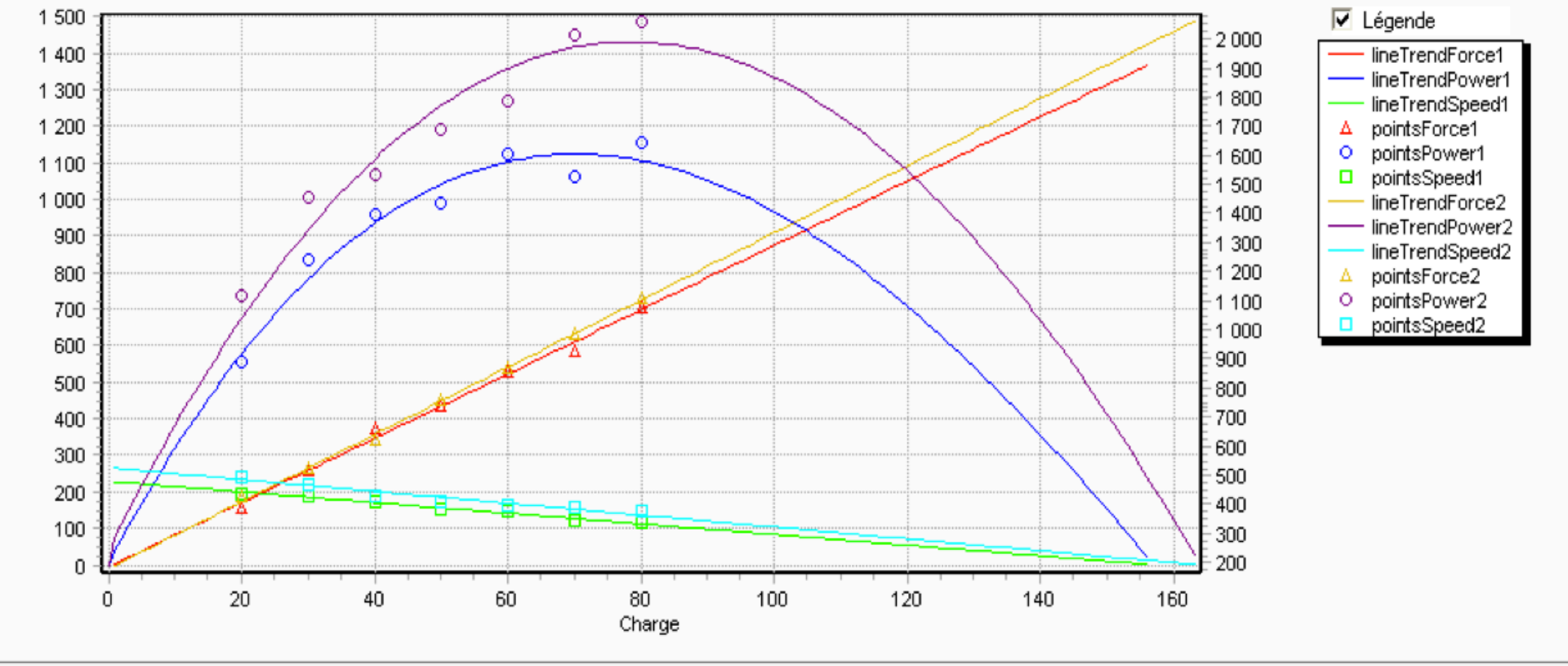


- **Accéléromètre et quantification du geste sportif:**
- ✓ Musculation, Force, Vitesse et Puissance





- **Accéléromètre et quantification du geste sportif:**
  - ✓ Musculation, Force, Vitesse et Puissance



Infos sur le profil 1 | Infos sur le profil | info c

Nom du profil	Profil demi squat
Date	17/05/06
Nom	
Commentaires	

Valeurs estimées 1

Vitesse Max. [cm/s]	229		
Force Max. Isom. [N]	1921		
Charge Max. (1RM) [kg]	150	à 10 [cm/s]	
Puissance Max. [W]	1123	à [kg] :	70

Valeurs estimées 2

Vitesse Max. [cm/s]	266		
Force Max. Isom. [N]	2071		
Charge Max. (1RM) [kg]	158	à 10 [cm/s]	
Puissance Max. [W]	1431	à [kg] :	78

- **Accéléromètre et quantification du geste sportif:**
- ✓ Musculation, Force, Vitesse et Puissance

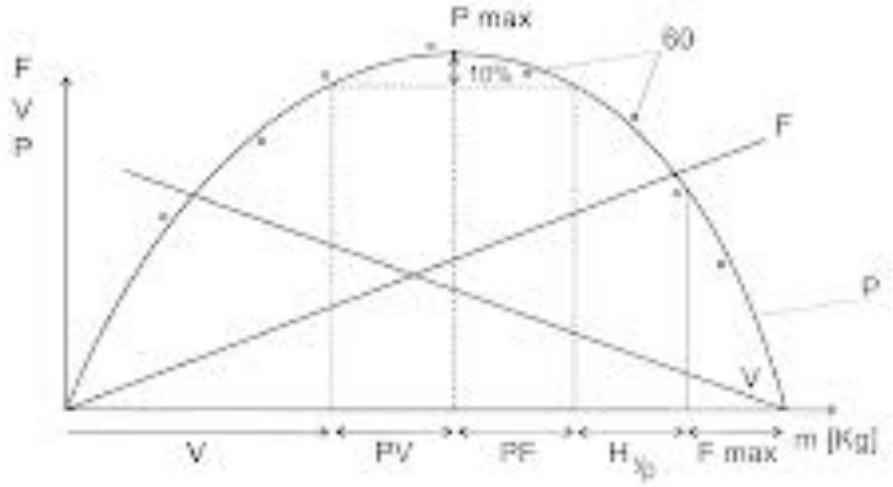


Fig. 3

- **Accéléromètre et quantification du geste sportif:**
- ✓ Musculation, Force, Vitesse et Puissance & équilibre

- Introduction

- *Locometrix*: qu'est-ce que c'est?

- Accéléromètre et quantification du geste sportif
  - ✓ exemple du saut vertical
  - ✓ exemple de la musculation

- **Accéléromètre triaxial et Analyse Quantifiée de la Marche humaine**
  - ✓ définition
  - ✓ pourquoi utiliser un accéléromètre pour une AQM?
  - ✓ limites

- *Accélérométrie*: évaluation, prévention de la blessure & réhabilitation?

- Conclusions

- **La marche normale** ou asymptomatique

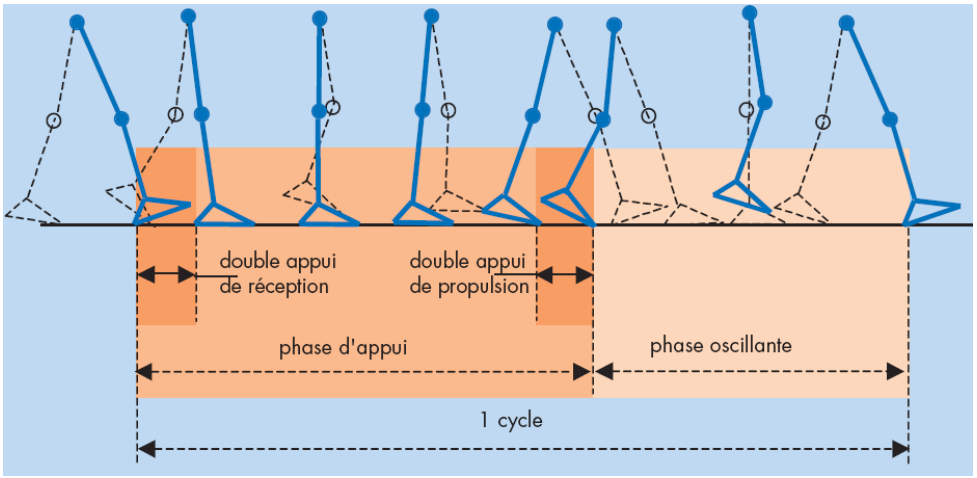
- ✓ activité phasique et discontinue totalement acquise à 7 ans
- ✓ Translation de l'ensemble du corps consécutive à des mvts de rotation

(Bouisset et Maton 1995)

- ✓ Répétitions de séquences des segments corporels pour déplacer le corps vers l'avant tout en le maintenant en équilibre

(Perry 1992)

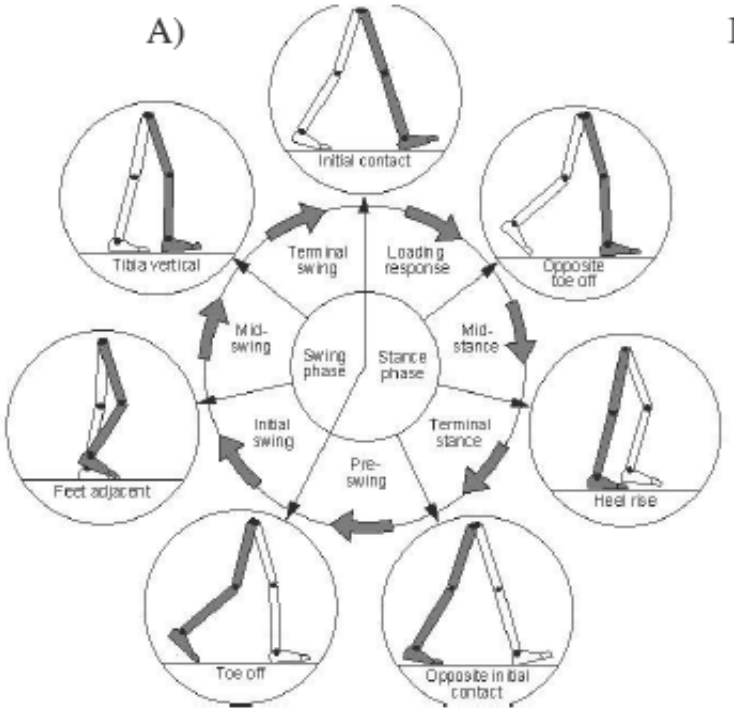
- ✓ Découpée en cycle de marche
  - dont le début et la fin = contact d'un même pied au sol.

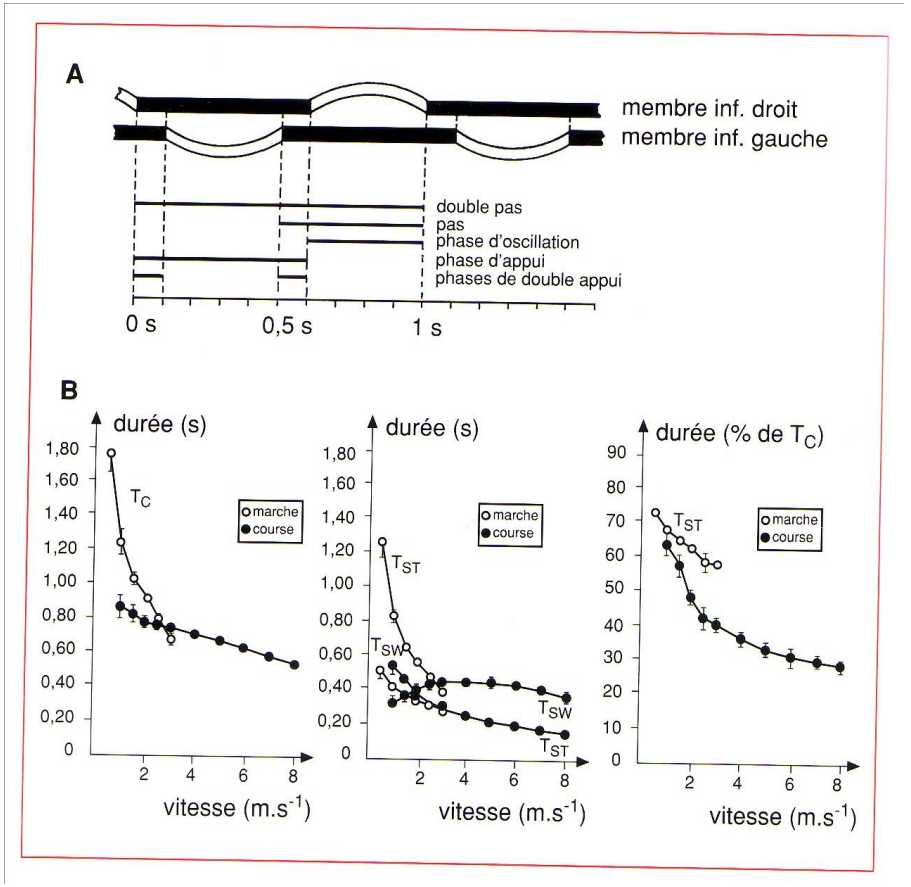


❑ *La marche normale*:

Alternance de phases d'activité des 2 membres <:

✓*Stance phase (appui, 60%): freinage et propulsion*
✓*Swing phase (oscillation, 40%): transfert du poids*





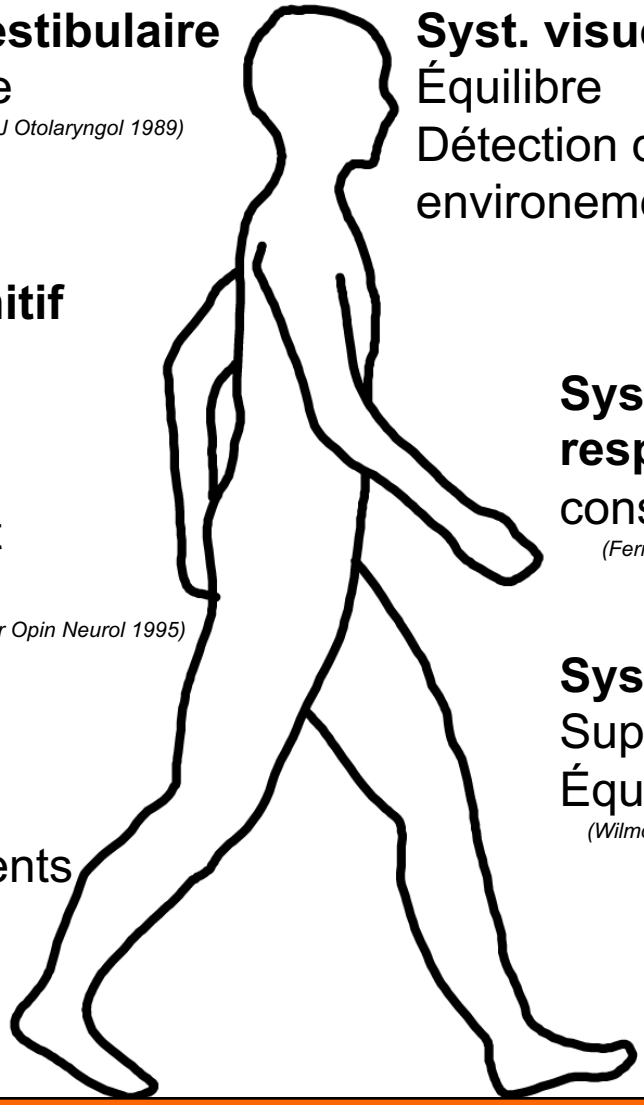
✓+ double support (appui bipodal) ⇒ marche ≠ course

marche normale: phénomène conditionnant l'indépendance

Syst. vestibulaire
Équilibre
(Sloane et al. Am J Otolaryngol 1989)

Syst. visuel
Équilibre
Détection des changements environementaux
(Weale RA. Oxford University Press, 1992)

Syst. nerveux et cognitif
Coordination
Vigilance
Anticipation et réactions d'ajustement
Équilibre
(Long DM. Neurosurgery 1985; Dal Forno et al. Curr Opin Neurol 1995)



Syst. cardiovasculaire et respiratoire
consommation et transport d'O_2
(Ferrari et al.J Appl Physiol 2003; Janssens et al.Eur Respir J 1999)

Syst. musculosquelettique
Support, posture et propulsion
Équilibre
(Wilmore JH. Clin Sports Med 1991; Doherty TJ. J Appl Physiol 2003)

Syst. somatosensoriel
Proprioception
Détection des changements environementaux
(Robbins et al. Age Ageing 1995)

(Mian et al. Sports Med 2007)

Déclin de la locomotion

- Processus périodique:

  - ✓ = mouvement + équilibration
  - ✓ résultat: de la coordination de l'activité de phénomènes mécaniques complexes
    modifié par de nombreux facteurs (vitesse, perturbations ext.)

(Massion 1986)	Ataxie sensorielle	Déficience posturo-motrice
Lésion vestibulaire	+	
Colonne dorsale	+	
Tractus spino-cérébelleux	+	
Infirmes moteurs cérébraux Enfants ataxiques	+	
Lobe antérieur Atrophie corticale	+	+
Lésion vestibulo-cérébelleuse		+
Spasticité		+
Maladie de Parkinson		+
Lobe frontal		+

❑ Analyse Quantifiée de la Marche humaine :

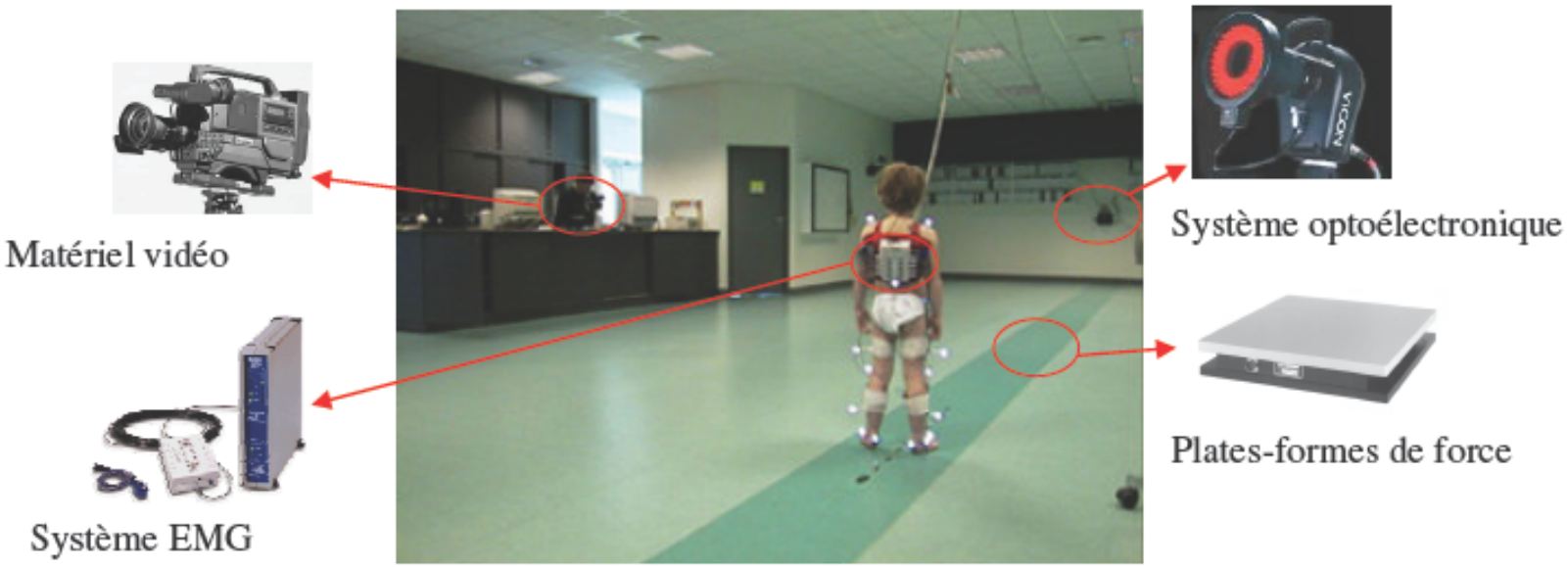


Figure 7 : Salle et matériel standard d'un laboratoire d'analyse du mouvement : exemple du laboratoire de l'Institut Saint-Pierre à Palavas (34, France)

- **Analyse Quantifiée de la Marche humaine** :

  - ✓ Acte médical classifié (NKQP003) : analyse 3D (modelisation) + EMG (de surface) + Données dynamiques (plate-formes de force)

  - ✓ ∅ : appréhender la globalité du mouvement au niveau du système effecteur ostéo-musculo-articulaire.

  - ✓ intérêts: Aide à la décision chirurgicale en premier lieu (CP)

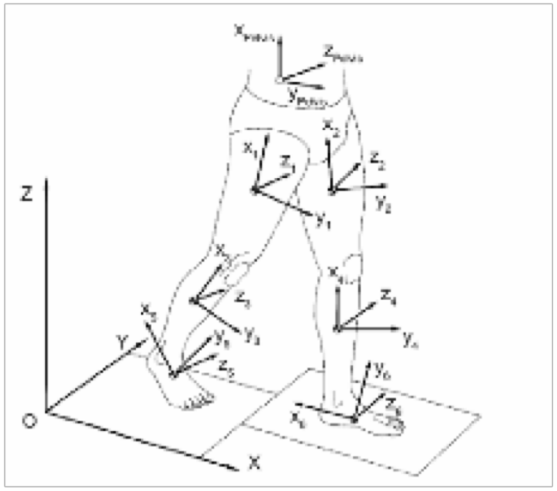
    compréhension du mouvement

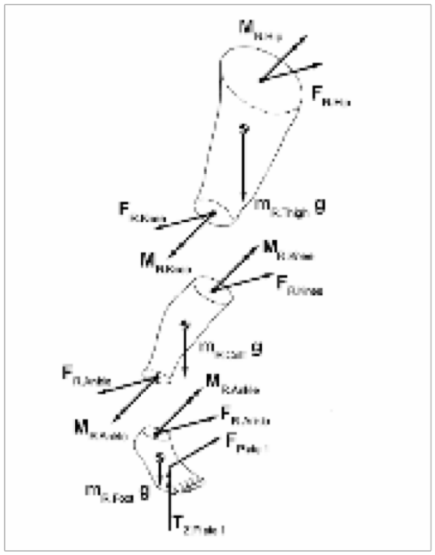
    expliquer les mécanismes de la sénescence

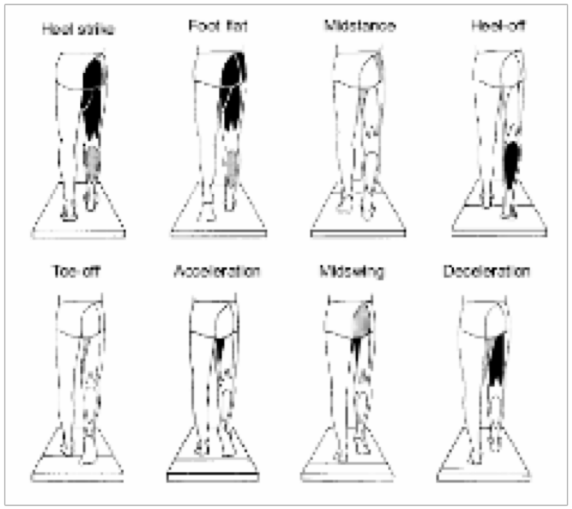
    discriminer les effets de la maladie: *marche pathologique*

    évaluer les conséquences d'un traitement thérapeutique

    évaluer les effets d'une pratique ± régulière d'APS







Cinématique

↓

21 paramètres

Dynamique

↓

39 paramètres

EMG

↓

X paramètres

60 Paramètres

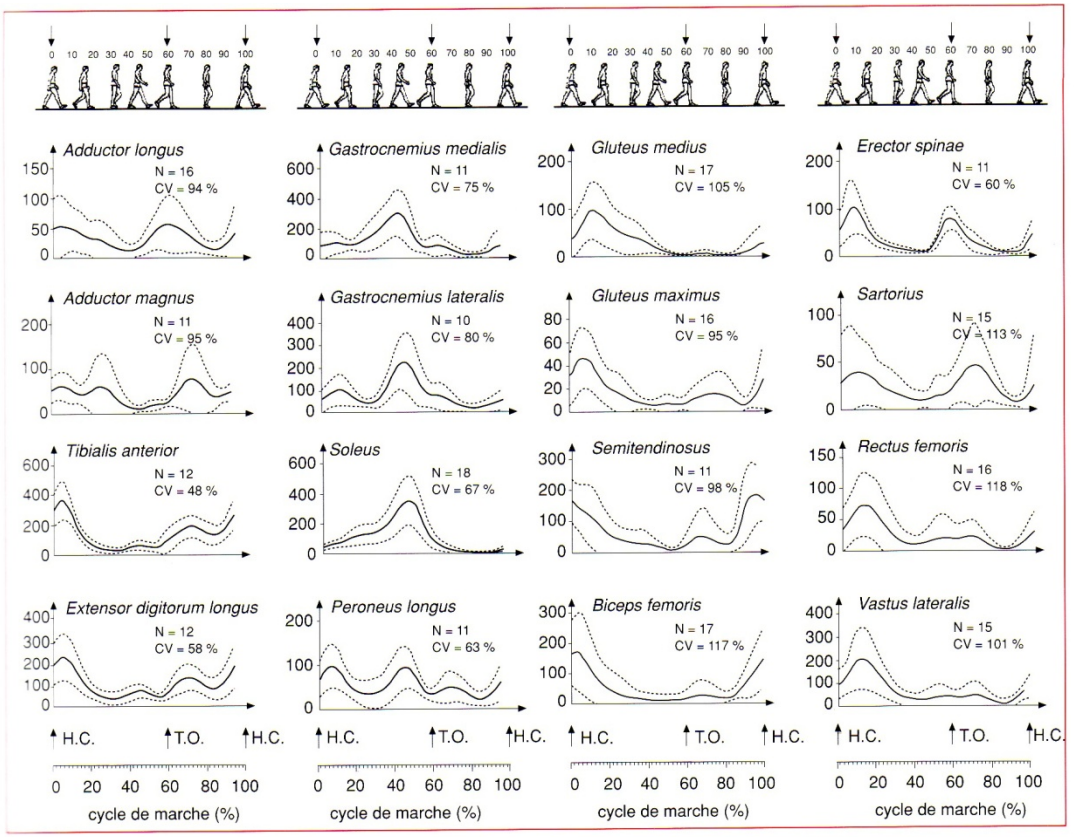
❑ Analyse Quantifiée de la Marche humaine : enregistrement EMG

Activité musculaire de la marche à cadence naturelle

✓ EMG = signe d'excitation ⇒ contraction

- activité phasique et discontinue:
  - totalement acquise à 7 ans
  - propre à chaque muscle
  - généralement bi-phasique:
    - 10-15% du cycle (transfert de P sur l'appui)
    - TO (début du swing)
  - nulle pendant le déroulé du pied

⇒ mouvement = Σ F_m + F_{ext}



✓ EMG = insuffisant pour connaître implication et régime de contraction

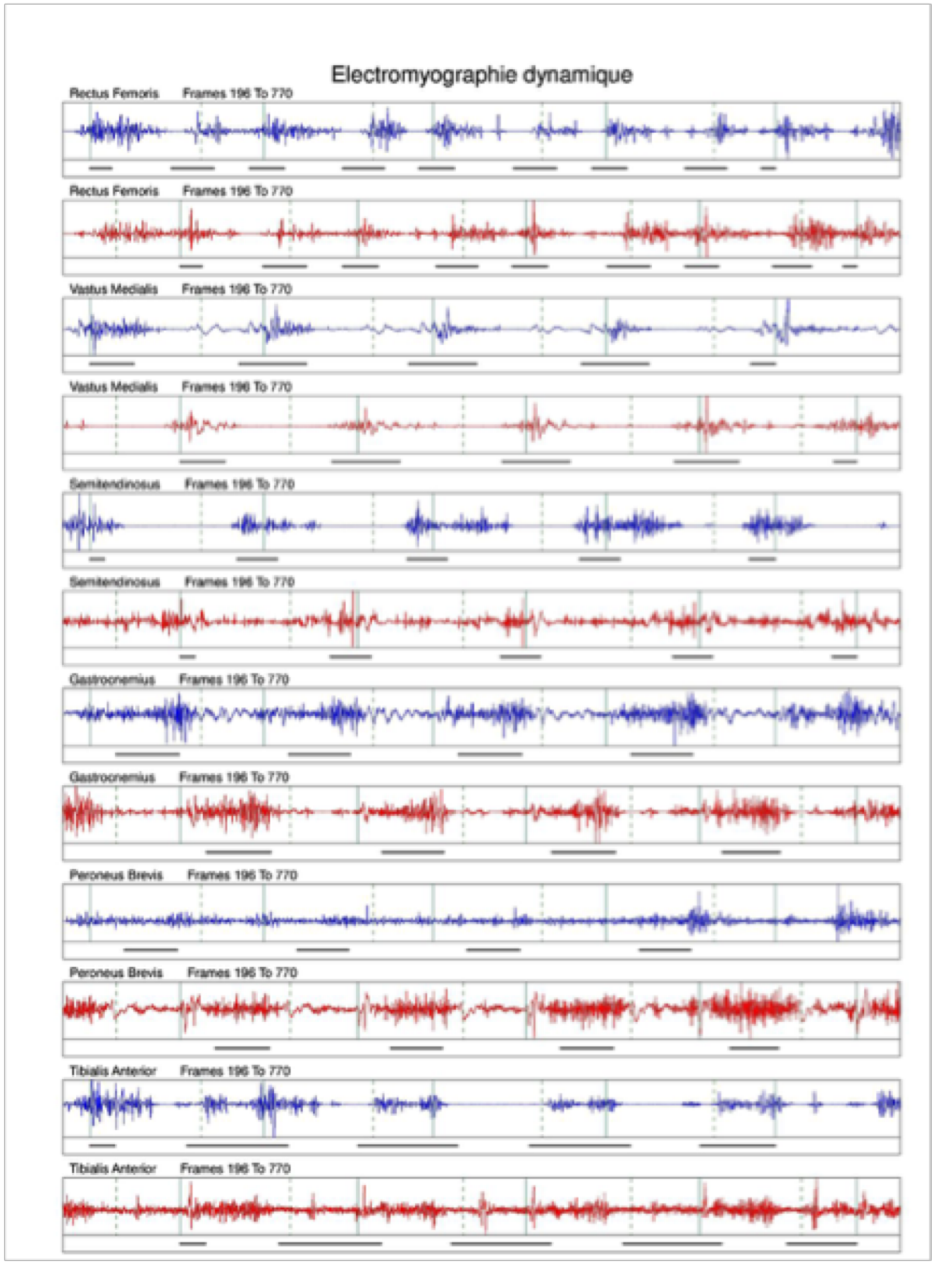
⇒ nécessité de connaître les angles, moments articulaires et L musculaire

EMG sur plusieurs cycles

Barres : Données normales

Signal : Membre inférieur Gauche

Signal : Membre inférieur Droit



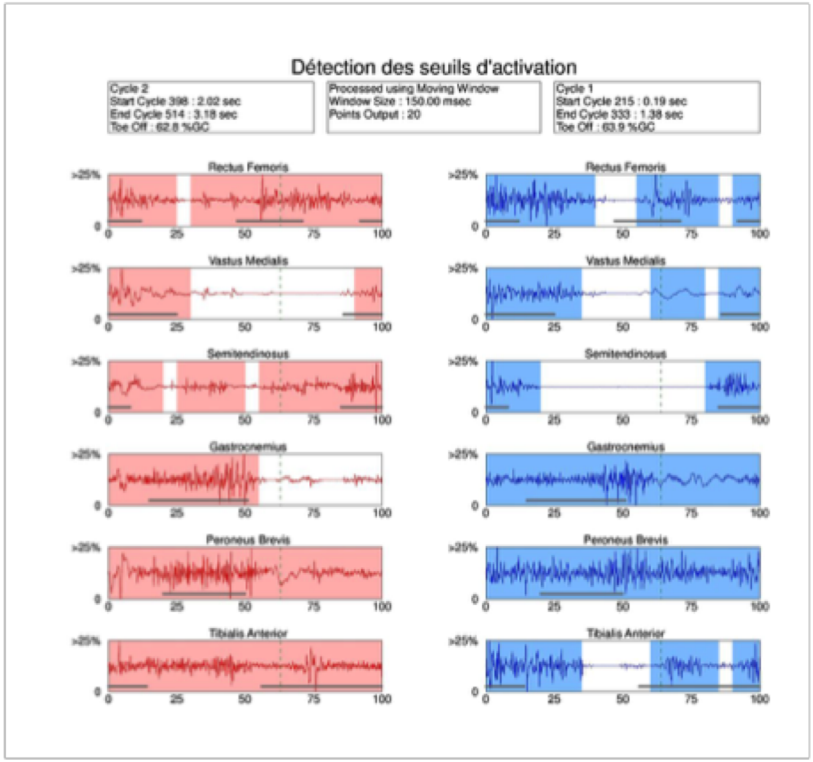
Seuils d'activation EMG sur un cycle représentatif

Activation >25 % du signal max.

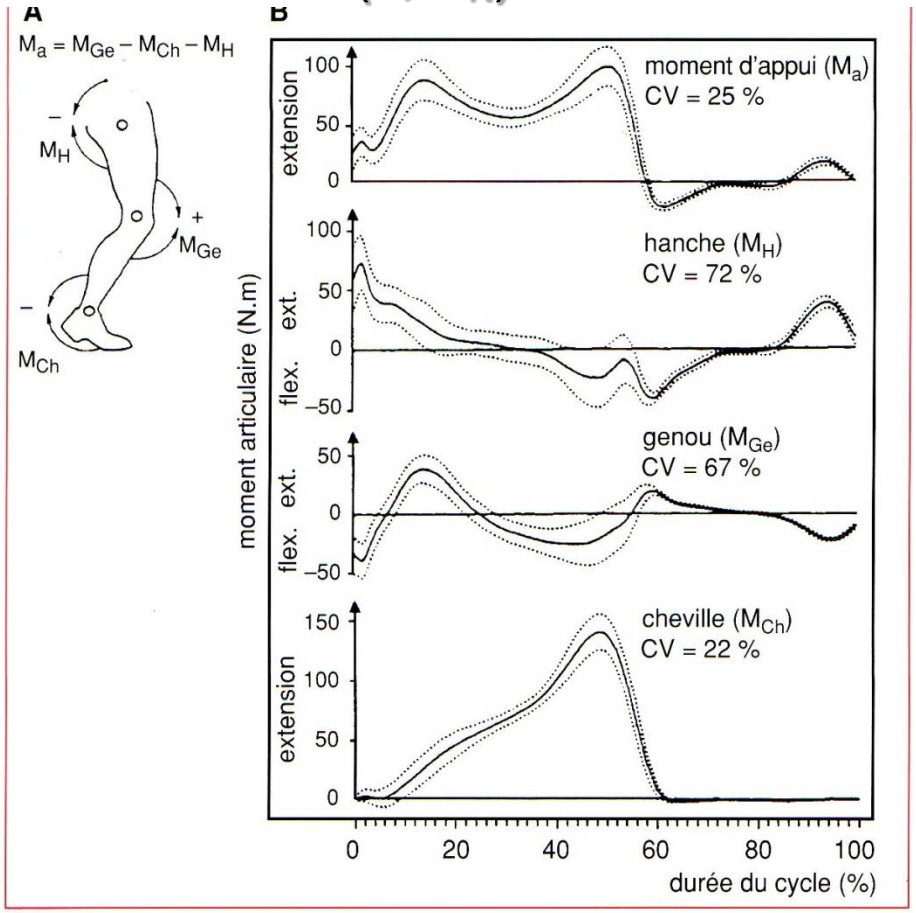
Barres : Données normales

Signal : Membre inférieur Gauche

Signal : Membre inférieur Droit



- Processus périodique:
  - ✓ soumis à 2 forces extérieures (P, R_N) + forces internes



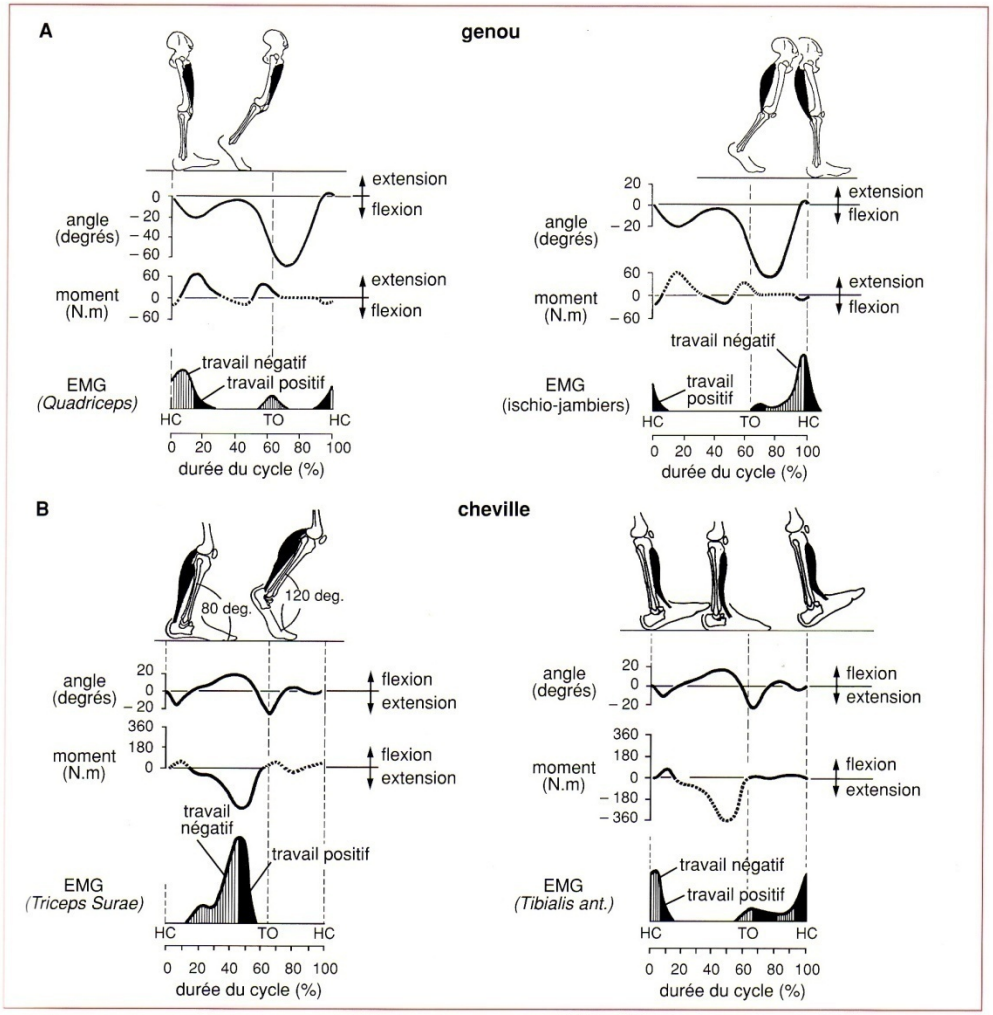
$\Rightarrow$ moment d'appui (M_a) = résultante

Marche = translation Σ du corps consécutive à des rotations segmentaires

- Action des 4 principaux groupes musculaires (en début de cycle):

quadriceps contractés + ischiojambiers étirés

⇒hanche fléchie + genou tendu



tibialis anterior contracté

+

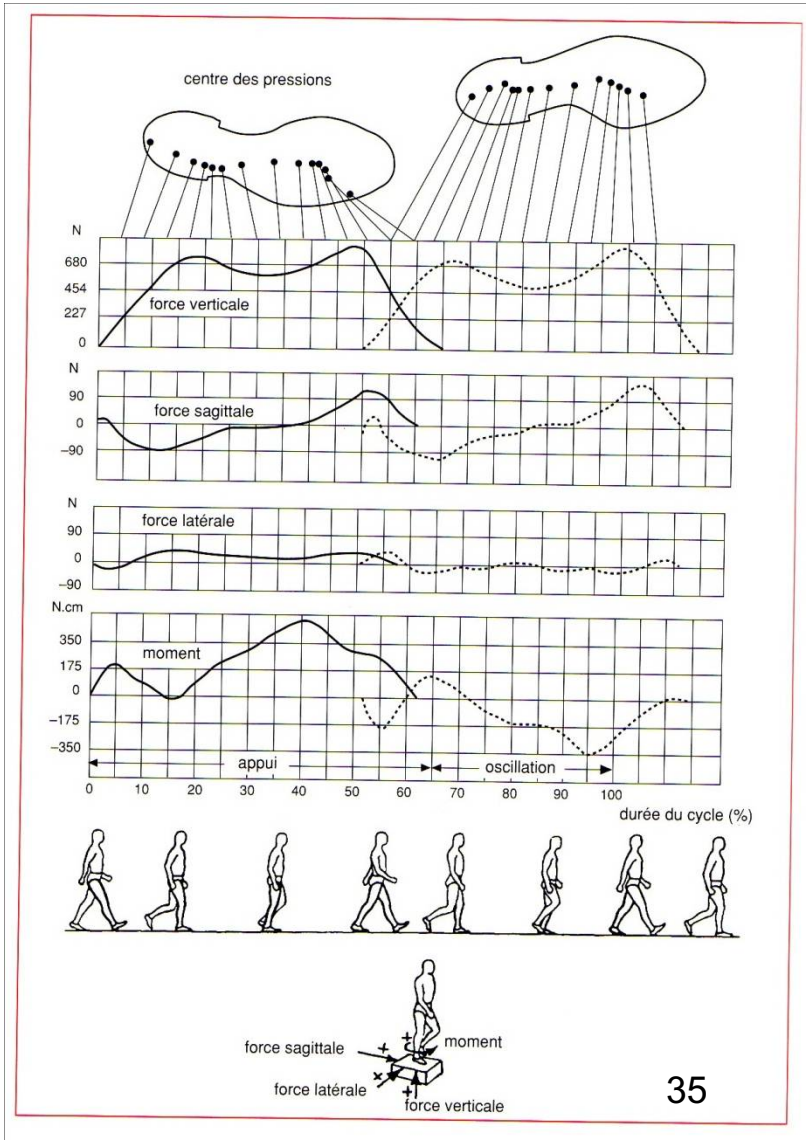
triceps surae étiré

⇒genou tendu

+

dorsiflexion de la cheville

- La marche = 1 processus périodique:
  - ✓ soumis à 2 forces extérieures: le poids corporel et la réaction du sol

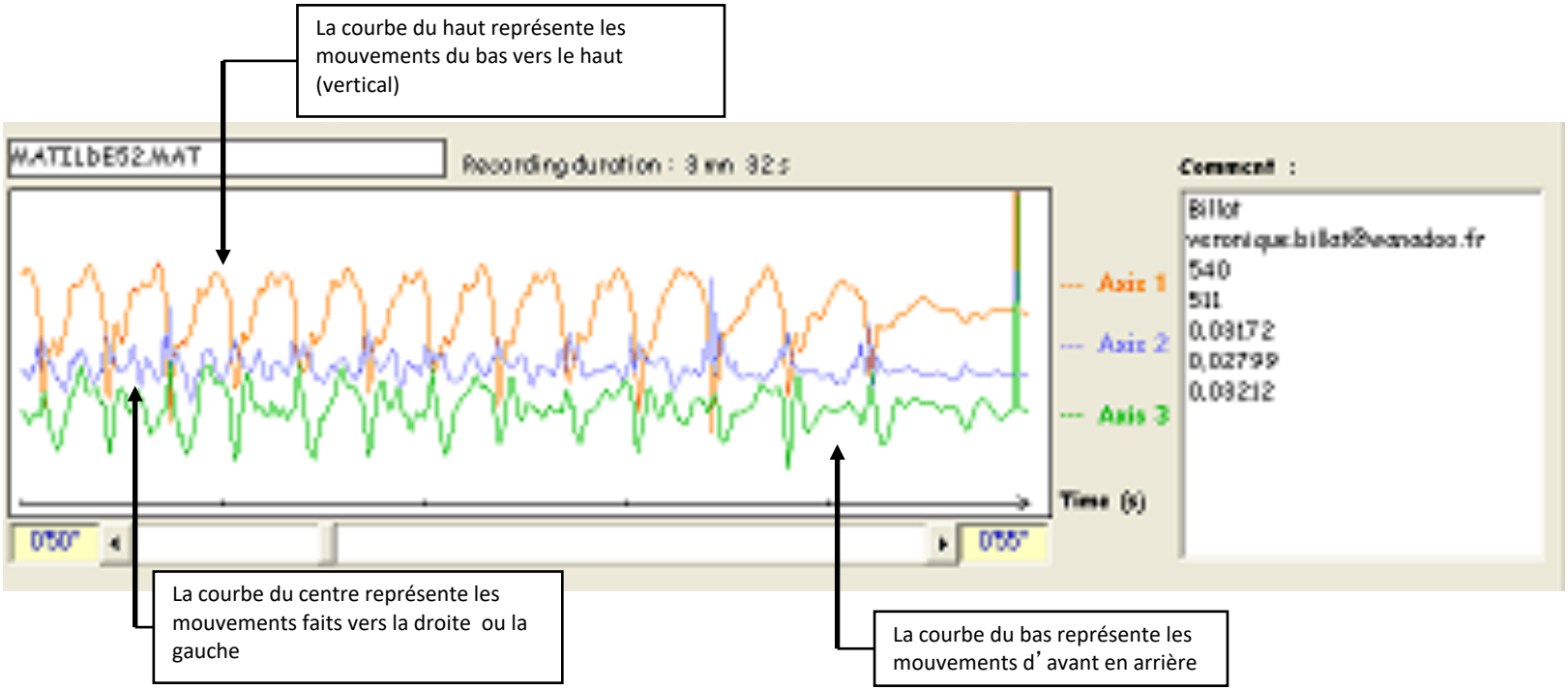


⇒ résultat:

CP = point d'application des F de réaction du sol

❑ Accéléromètrie triaxiale et AQM

- ✓ 1 distance de 30 mètres
- ✓ 1 analyse sur 19 à 20 foulées de marche stabilisée



❑ Accéléromètrie triaxiale et AQM

- ✓ Identification des événements remarquables de la marche à partir de l'enregistrement dans l'axe cranio-caudal.

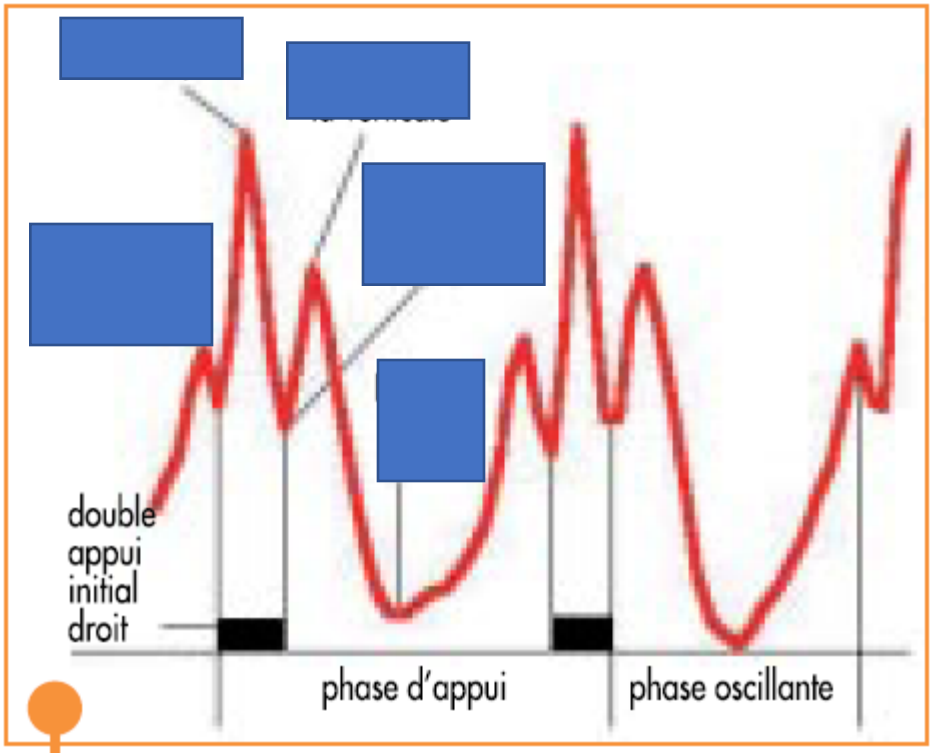
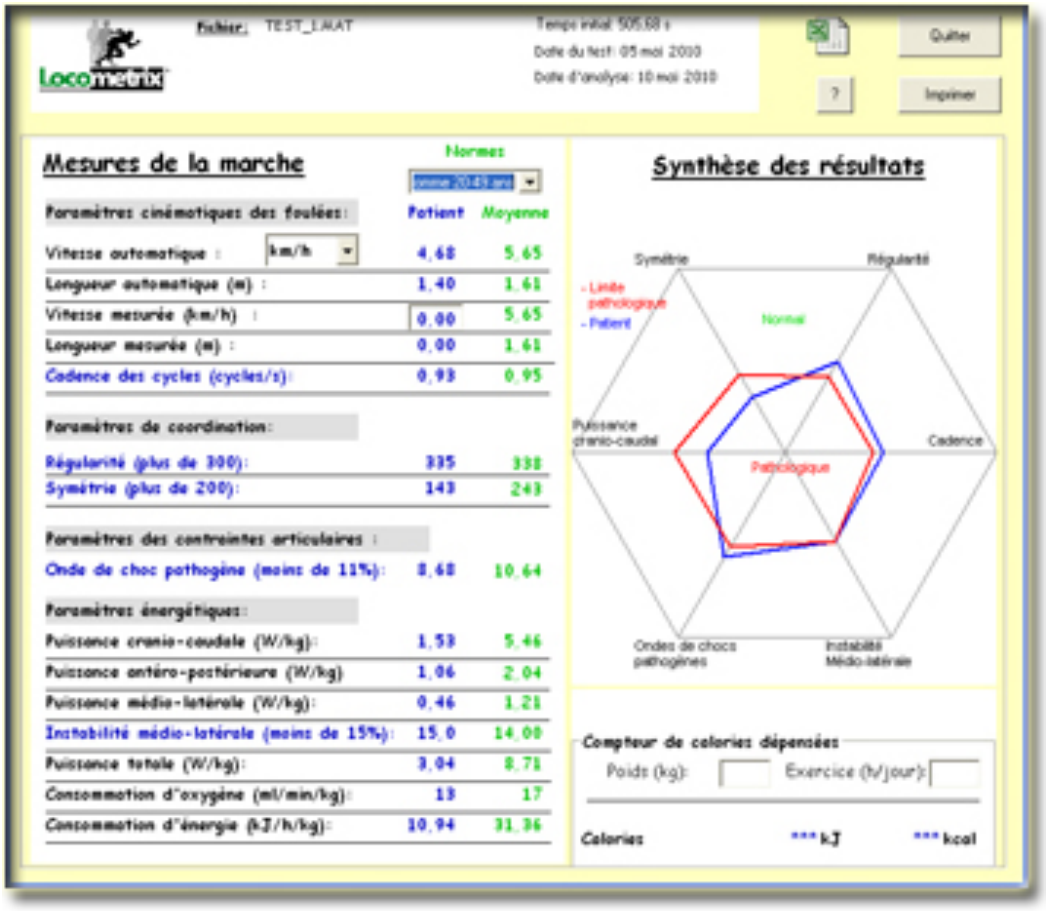
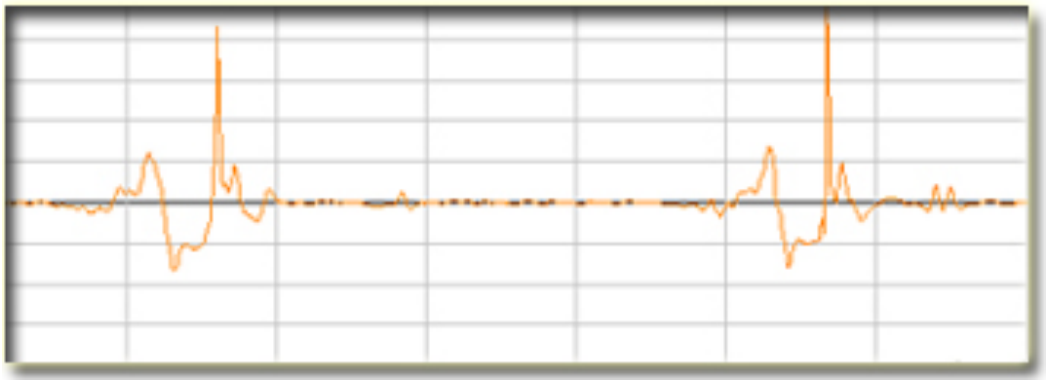


Fig. 2 : Accélérations lombaires instantanées

- **Accéléromètrie triaxiale et AQM**
  - ✓ Information analytique sur les composantes de la marche:
    - Vitesse de marche;
    - Fréquence de cycles de marche (cadence);
    - Longueur des pas;
    - Symétrie des demi-pas gauche et droit;
    - Régularité spatiotemporelle des cycles de marche (variabilité);
    - Déplacement vertical
    - Axe CC: Bradykinésie (↓ A et Fréq);
      contraintes subies par les membres <;
    - Axes CC + ML: instabilités dynamiques;
    - Économie de marche et coût énergétique.


Locomotix
Fichier: TEST_1.MAT
Temps initial: 505.68 s
Date du test: 05 mai 2010
Date d'analyse: 10 mai 2010
Quitter
?
Imprimer
Mesures de la marche
Normes
Paramètres cinématiques des foulées:
Patient
Moyenne
Vitesse automatique : km/h 4,68 5,65
Longueur automatique (m) : 1,40 1,61
Vitesse mesurée (km/h) : 0,00 5,65
Longueur mesurée (m) : 0,00 1,61
Cadence des cycles (cycles/s): 0,93 0,95
Paramètres de coordination:
Régularité (plus de 300): 335 338
Symétrie (plus de 200): 143 243
Paramètres des contraintes articulaires :
Onde de choc pathogène (moins de 11%): 8,68 10,64
Paramètres énergétiques:
Puissance cranio-caudale (W/kg): 1,53 5,46
Puissance antéro-postérieure (W/kg) 1,06 2,04
Puissance médio-latérale (W/kg): 0,46 1,21
Instabilité médio-latérale (moins de 15%): 15,0 14,00
Puissance totale (W/kg): 3,04 8,71
Consommation d'oxygène (ml/min/kg): 13 17
Consommation d'énergie (kJ/h/kg): 10,94 31,36
Synthèse des résultats
Symétrie
Régularité
- Limite pathologique
- Patient
Normal
Puissance cranio-caudale
Cadence
Pathologique
Ondes de chocs pathogènes
Instabilité Médio-latérale
Compteur de calories dépensées
Poids (kg):
Exercice (h/jour):
Calories *** kJ *** kcal



❑ Accéléromètrie triaxiale et AQM

✓ Limites: influence du transfert des F

Transmission au bassin des F via hanche ⇒ *perturbations haut du corps*

⇓

mvts de rotation
du tronc et du bassin

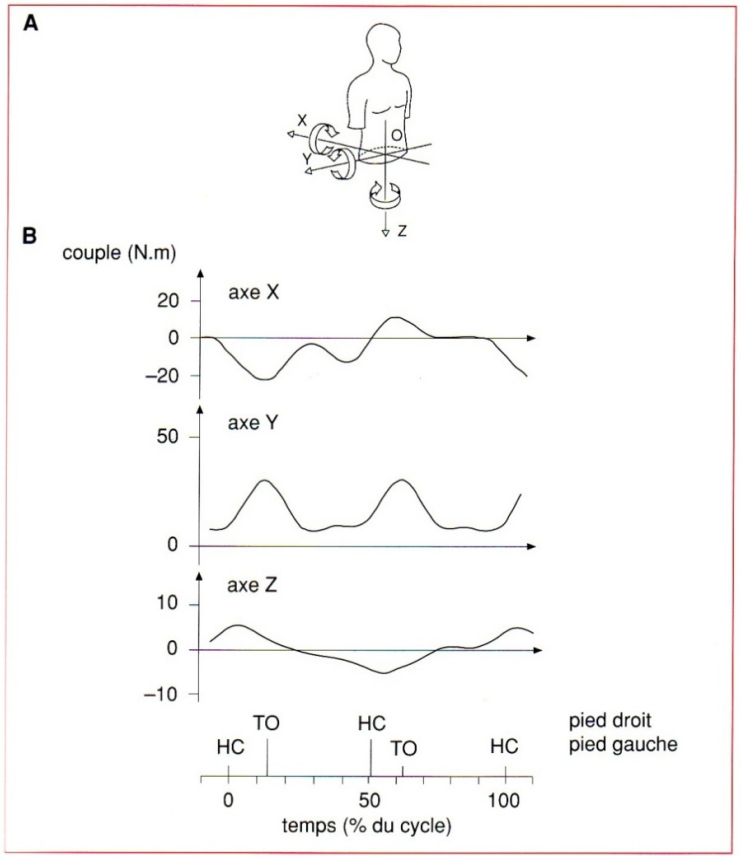


Figure 3.34 : Couples exercés par les muscles du tronc.
A, sens des axes de rotation et des couples musculaires. Un couple positif d'axe X évoque une rotation du tronc vers la gauche, d'axe Y une rotation du tronc vers l'arrière et d'axe Z une rotation du tronc dans le sens des aiguilles d'une montre.
B, de haut en bas : décours temporel des couples exercés par rapport aux axes OX, OY, OZ.
On remarque que le couple autour de l'axe OY est toujours positif, car la ligne de gravité passe au devant du centre de la 4e vertèbre lombaire, et que l'axe OY passe par l'intersection de la ligne de gravité avec le plan horizontal.
Courbes obtenues sur un sujet ; vitesse de marche 1,38 m/s (soit 4,97 km/h).
HC et HO, contact du talon et lever du pied.
(D'après Cappozzo 1983.)

❑ Accéléromètrie triaxiale et AQM

✓ Limites: influence du transfert des F

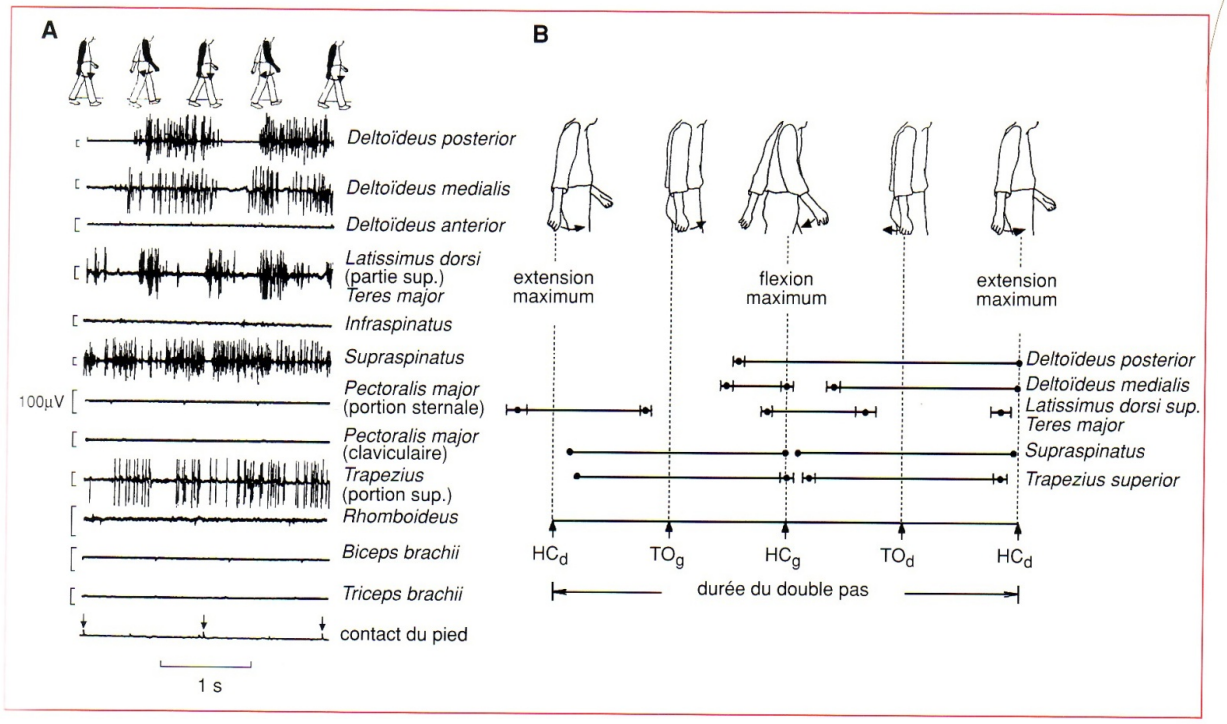
Transmission au bassin des F via hanche ⇒ *perturbations haut du corps*

⇓

mvts de rotation
du tronc et du bassin

⇓

oscillation de la tête



⇒ balancements des bras ⇒ correction des effets de la torsion du tronc

- Introduction

- *Locometrix*: qu'est-ce que c'est?

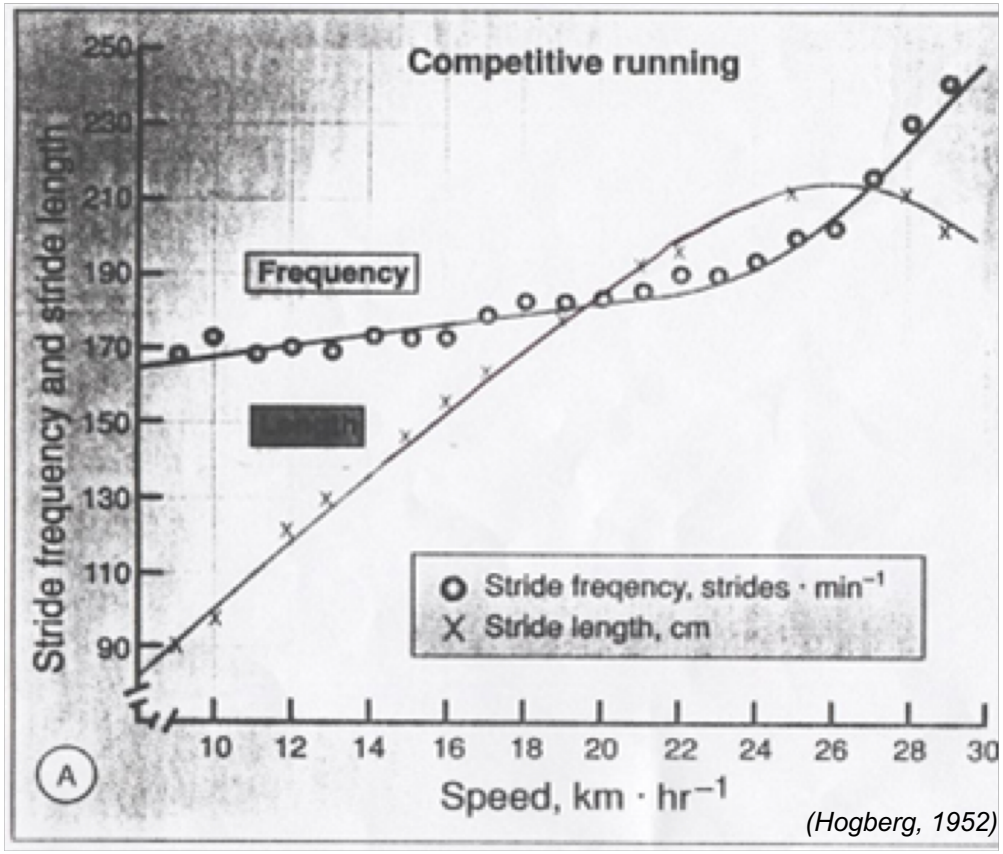
- Accéléromètre et quantification du geste sportif
  - ✓ exemple du saut vertical
  - ✓ exemple de la musculation

- Accéléromètre triaxial et Analyse Quantifiée de la Marche humaine
  - ✓ définition
  - ✓ pourquoi utiliser un accéléromètre pour une AQM?
  - ✓ limites

- ***Accéléromètrie*: évaluation, prévention de la blessure & réhabilitation?**

- Conclusions

- Alternance de phases d'activité des 2 membres <:



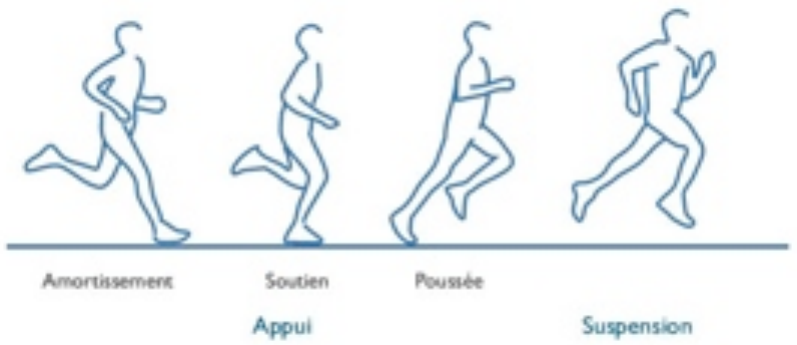
(Hogberg, 1952)

Linéarité de la relation cadence – amplitude entre 80-120 pas.min^{-1}

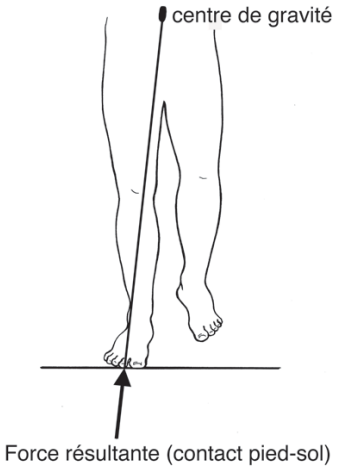
- Alternance de phases d'activité des 2 membres <:

Phase d'appui(PA)	Phase d'oscillation (PO)		
	Première phase d'oscillation (PO1)	Deuxième phase d'oscillation (PO2)	Troisième phase d'oscillation (PO3)
Elle commence à la pose du talon ipsi-latéral (noir) et se termine lorsque les orteils du même pied quittent le sol	Elle commence lorsque les orteils du pied ipsilatéral (noir) quittent le sol jusqu'à la pose du talon contralatéral (blanc). PO1est une phase aérienne (pied derrière)	Elle commence à la pose du talon contralatéral (blanc) jusqu'à ce que les orteils du même pied contralatéralquittent le sol : PO2 est une phase d'appui	Elle commence lorsque les orteils du pied contralatéral (blanc) quittent le sol et se termine à la pose du talon du pied ipsilatéral (noir) : PO3 est une phase aérienne (pied devant)

Appui contralatéral
Appui ipsi latéral

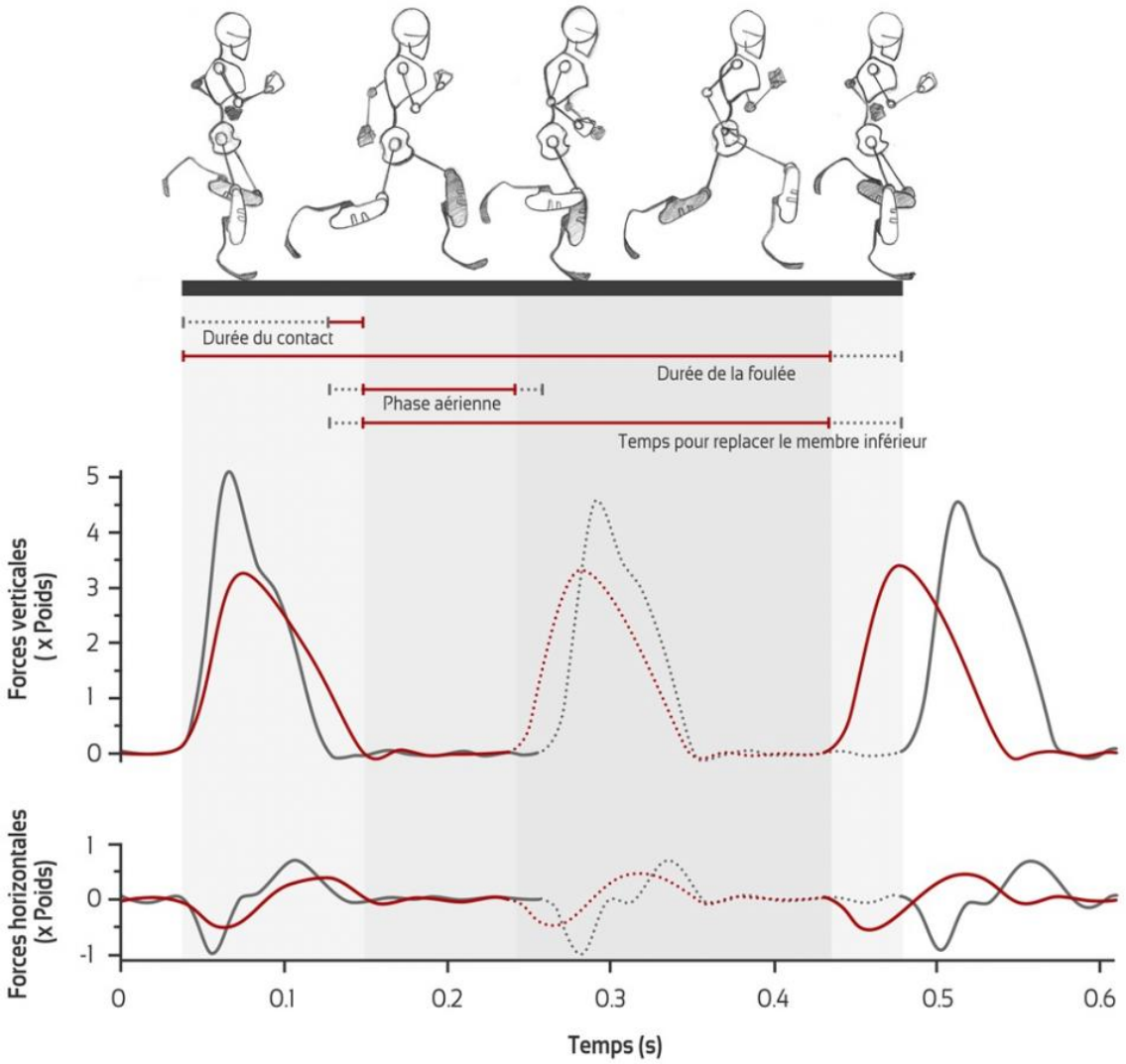


Analyse dynamique

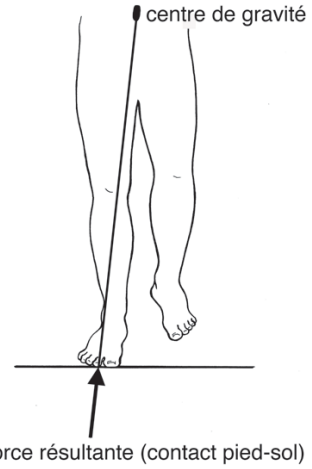


VOLODALEN
sportillustrations
La préparation physique en 3Dimensions

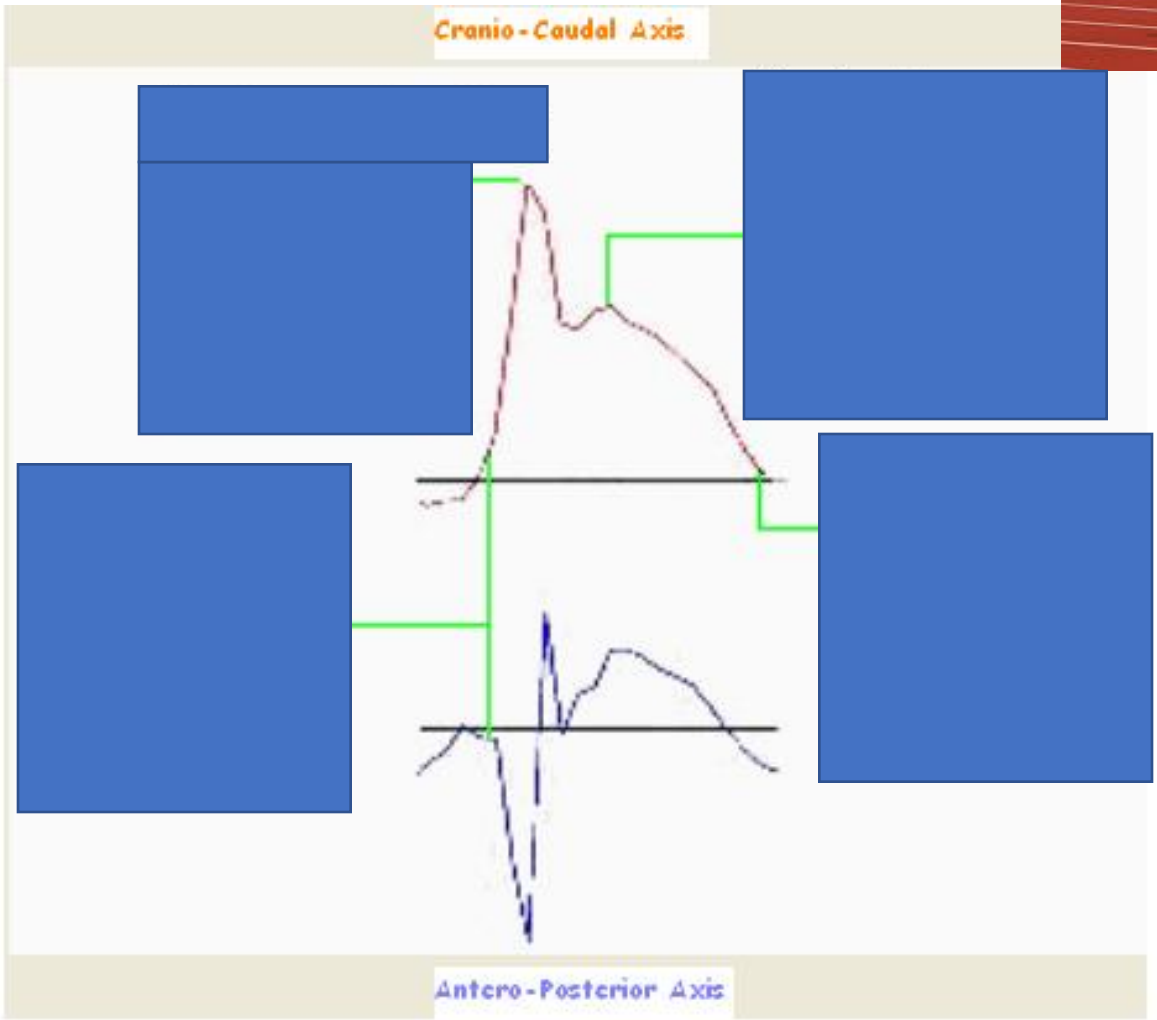
- Alternance de phases d'activité des 2 membres <:



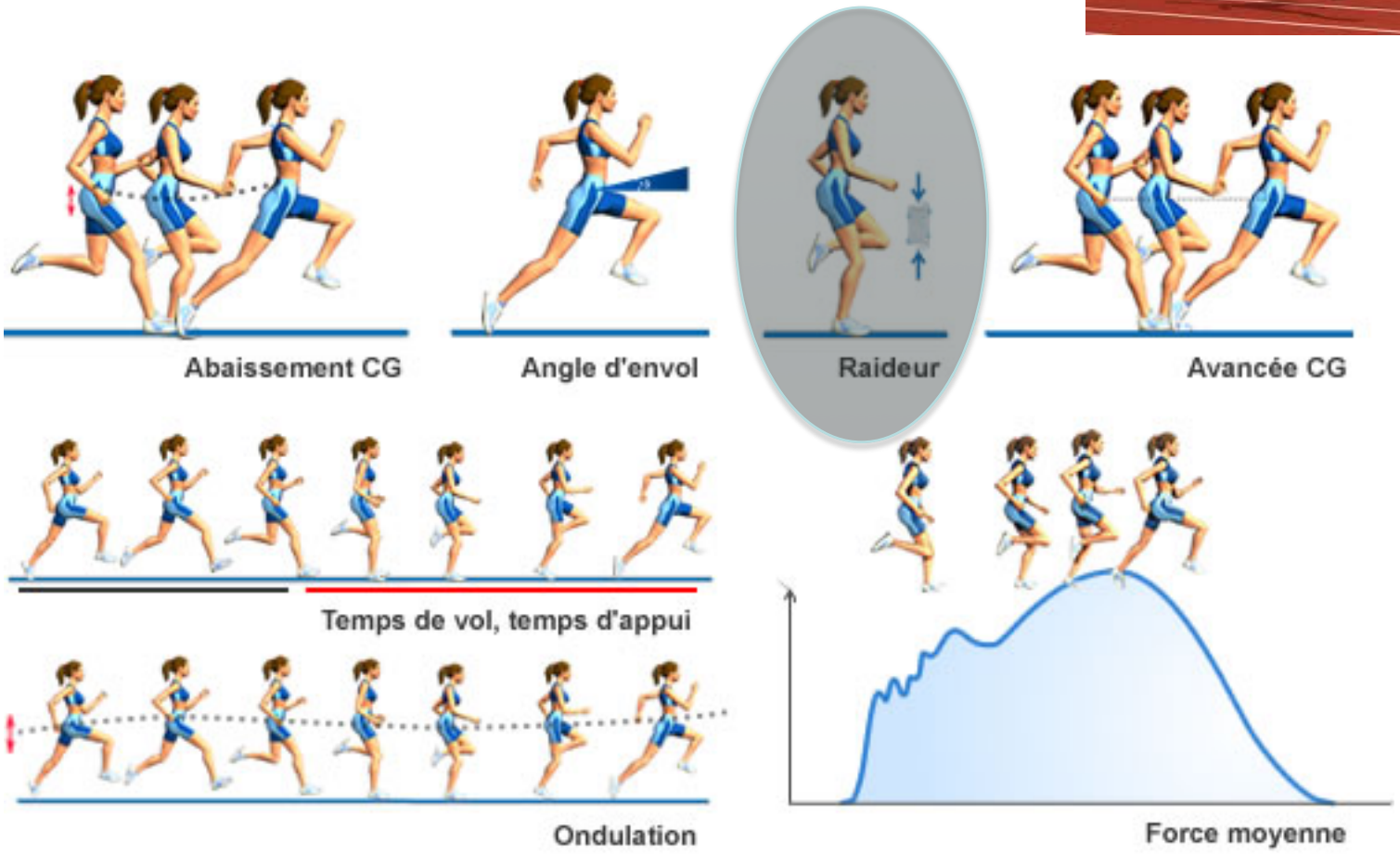
Analyse dynamique



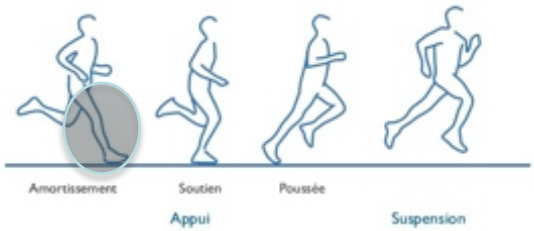
- Alternance de phases d’activité des 2 membres <:

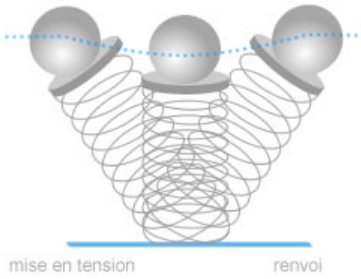


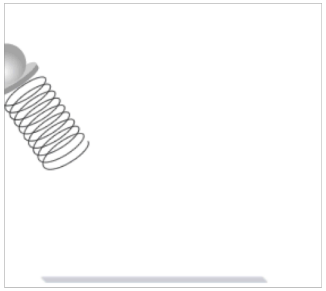
- Alternance de phases d’ activité des 2 membres <:

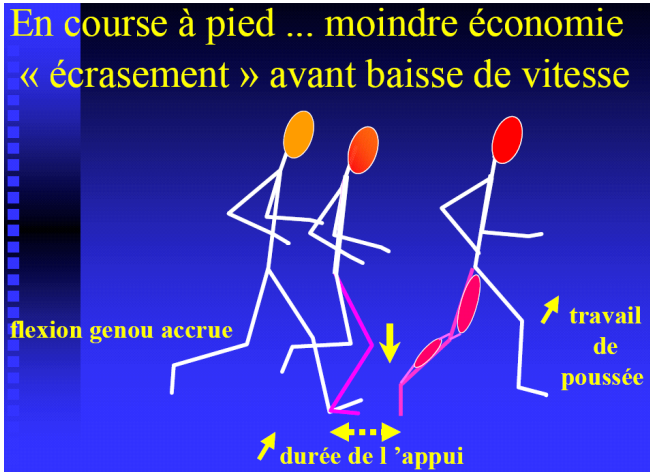


- Alternance de phases d’activité des 2 membres <:









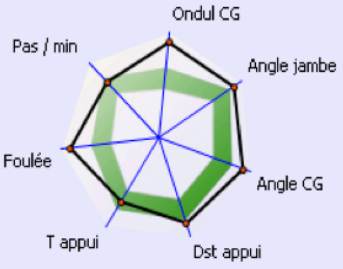
- Alternance de phases d’activité des 2 membres <:

Paramètres techniques		Moyenne
Nombre de pas par minute	179	168
Longueur de la foulée	112 cm	73 cm
Temps d'appui	95 ms	92 ms
Distance sur le temps d'appui	32 cm	27 cm
Angle de décollage du centre de gravité	19.4 °	14.7 °
Angle de pose de la jambe	80.0 °	66.6 °
Amplitude du centre de gravité	10.9 cm	6.8 cm

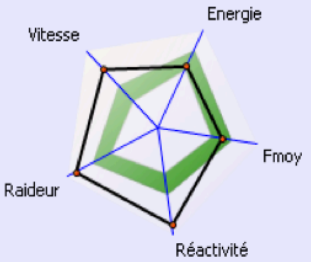
Paramètres physiques		
Vitesse	12.0 km/h	10.4 km/h
Raideur	106 kN/m	72 kN/m
Réactivité	2.5	1.5
Force moy sur l'appui (par kg de poids de corps)	33.6 N/kg	33.3 N/kg
Energie consommée sur 1 km	108 kcal	119 kcal

Paramètres d'efficacité	
Indice de régularité	94 %

Paramètres de prévention	
Asymétrie	8 %



Moyenne Valeurs



Me comparer à

Sexe:	☑ Homme	☐ Femme		
Age:	de	--	à	--
Poids:	de [kg]	75	à	80
Taille:	de [cm]	--	à	--
Vitesse:	◉ de [km/h]	10	à	15
	○ Distance [km]	--	Temps	--

- Introduction

- *Locometrix*: qu'est-ce que c'est?

- Accéléromètre et quantification du geste sportif
  - ✓ exemple du saut vertical
  - ✓ exemple de la musculation

- Accéléromètre triaxial et Analyse Quantifiée de la Marche humaine
  - ✓ définition
  - ✓ pourquoi utiliser un accéléromètre pour une AQM?
  - ✓ limites

- *Locometrix*: évaluation, prévention de la blessure & réhabilitation?

- **Conclusions**

❑ Analyse Quantifiée…

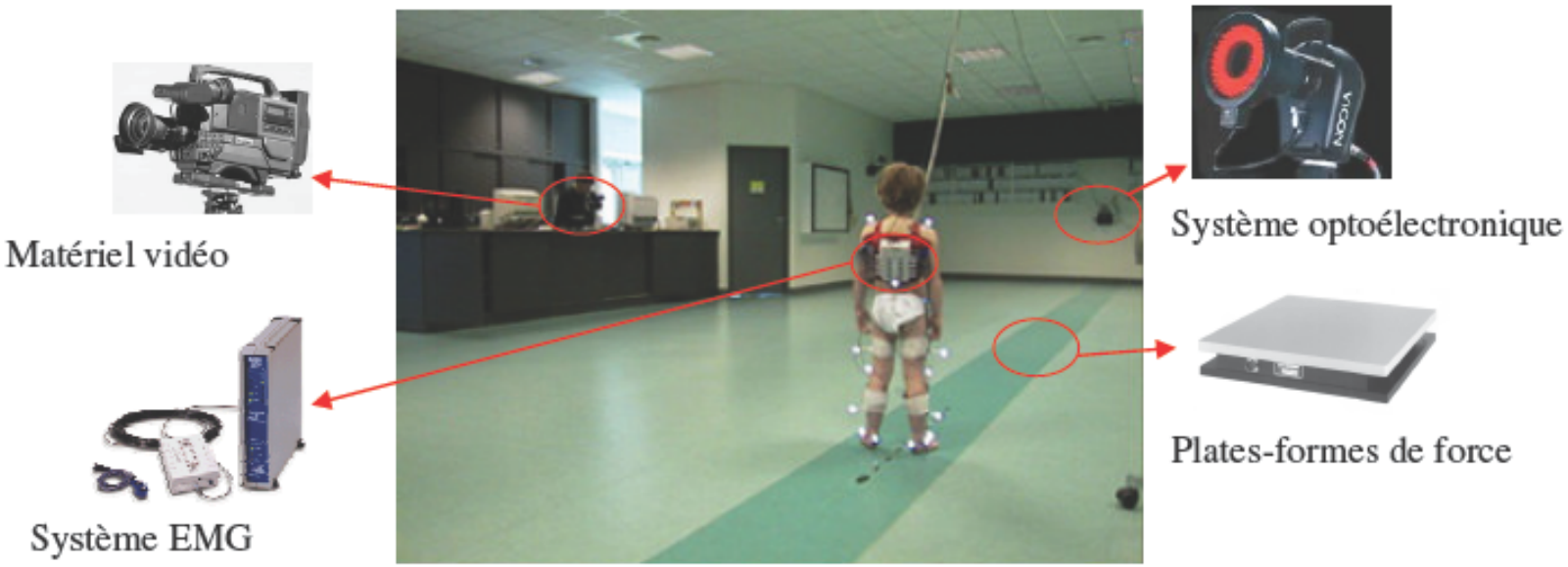
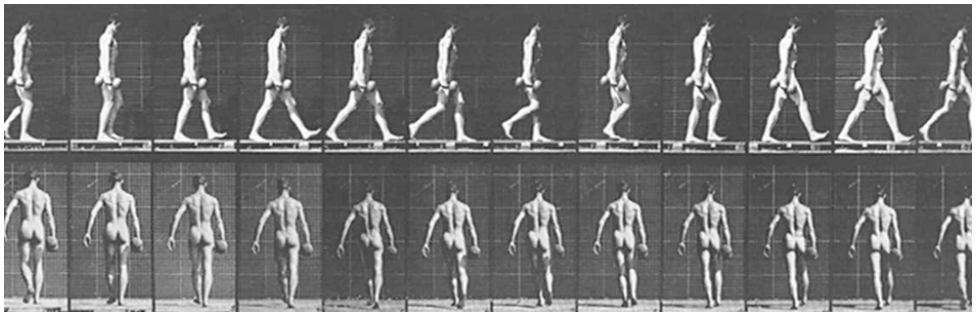
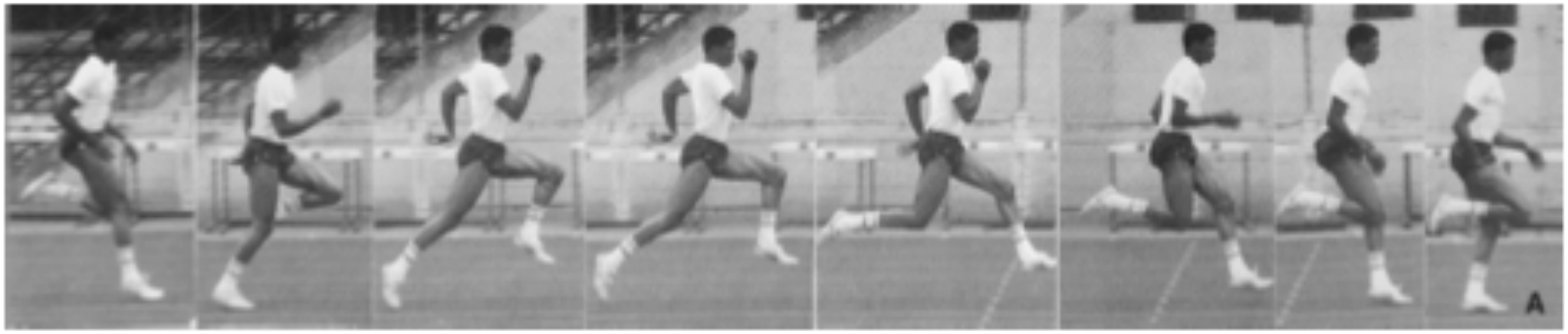


Figure 7 : Salle et matériel standard d'un laboratoire d'analyse du mouvement : exemple du laboratoire de l'Institut Saint-Pierre à Palavas (34, France)

- **Analyse Quantifiée…**





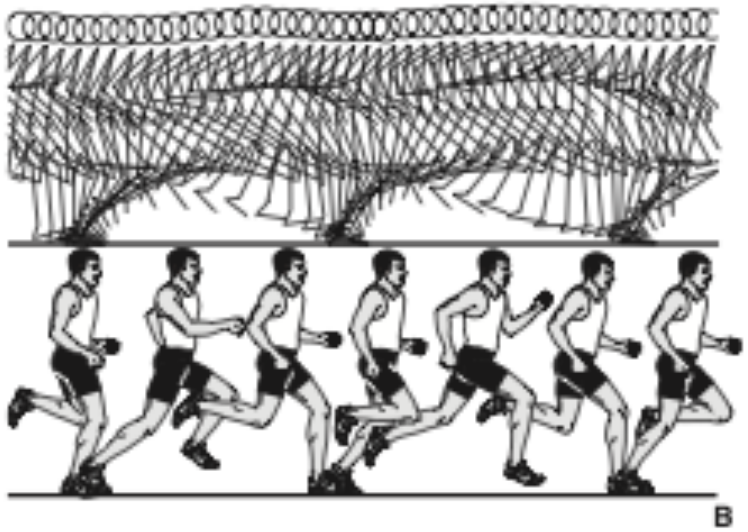
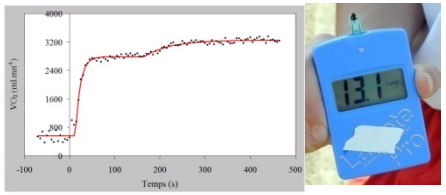


Figure 4.
A. Kinogramme photo.
B. Kinogrammes stylisés.

❑ Analyse Quantifiée…

… et réalité de terrain

Accélérométrie



VO_2 et de lactate