



DU 24 AU 26
SEPTEMBRE 2020
PALAIS DES
CONGRÈS DE
MONTPELLIER



Théories du (non-) Mouvement Challenges actuels

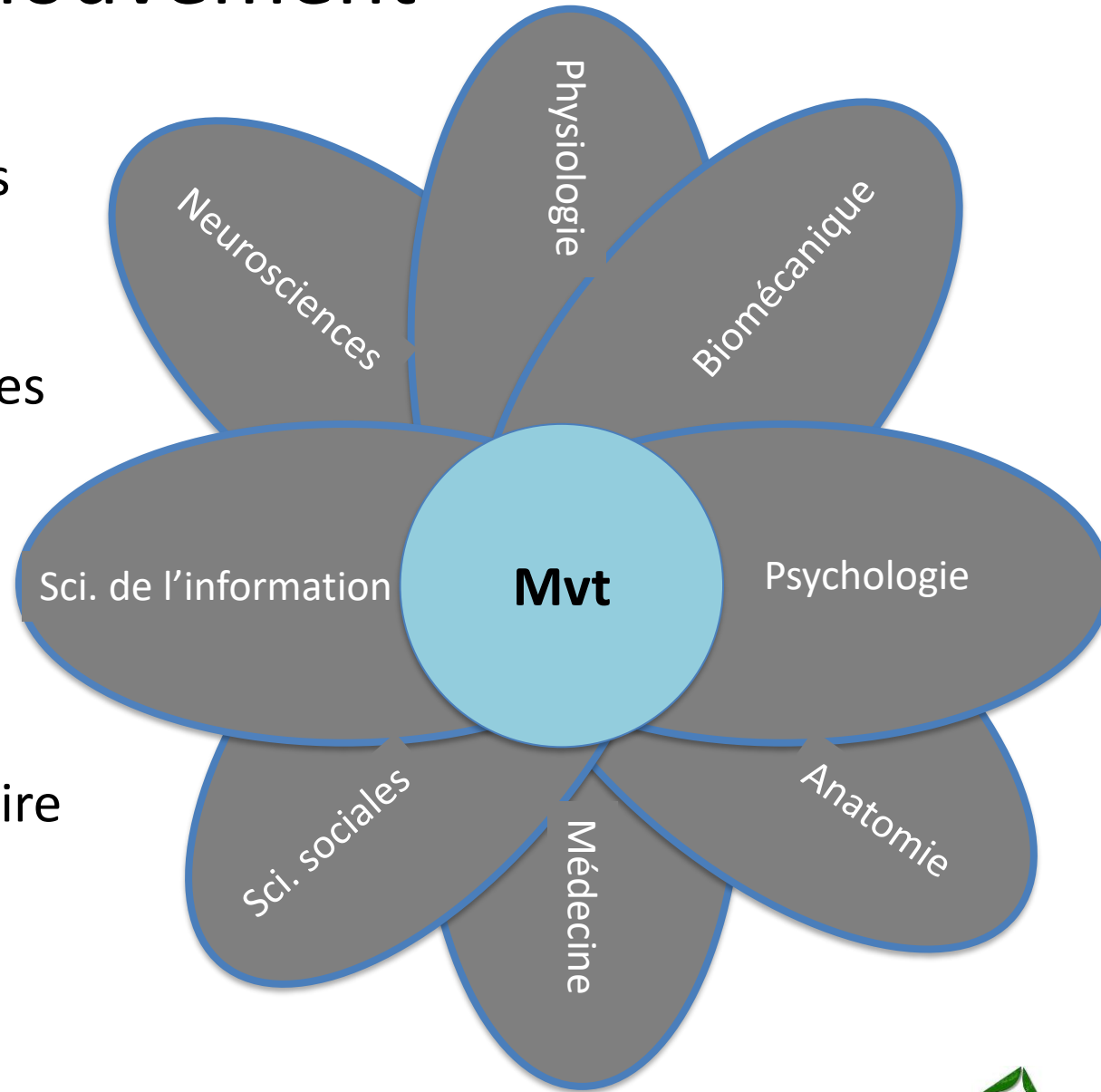
Benoît Bardy

*EuroMov Digital Health in Motion
Université de Montpellier, IMT Mines Alès*



La science du mouvement

- Relations disciplinaires houleuses
- Domination des sciences naturelles



-
- De plus en plus d'intégration disciplinaire
 - Connaissances fondamentales et cliniques

Questions brûlantes

Corps en mouvement = $10^2 \times 10^3 \times 10^{14}$

❑ Modèles de coordination et de contrôle

*Réduction des degrés de libertés,
Optimisation*

❑ Ontologies

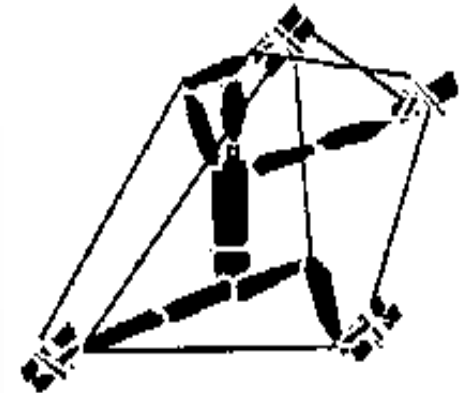
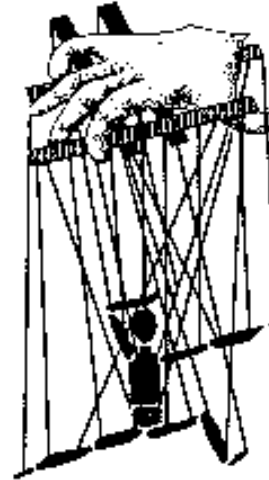
*Computationalisme vs. auto-organisation /
Hiérarchique vs. Hétérarchique / Perception
directe vs. indirecte, redondance vs.
abondance, etc.*

❑ Différentes échelles et niveaux

*Cerveau - Muscles – Articulations –
Segments – Interaction environnement*

❑ Populations & contextes

Au cours de la vie, expertise, pathologies, cultures



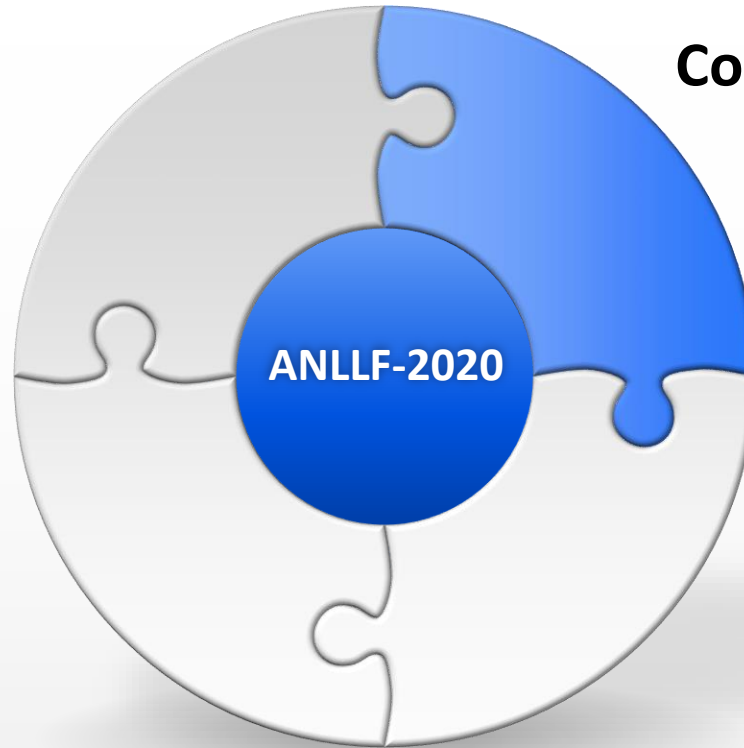
❑ Primitives de mouvement

*Marcher, courir, se tenir debout, danser,
jongler, atteindre, saisir, dessiner,
cuisiner, jongler, peindre, tailler, etc.*

Challenges actuels dans les sciences du mouvement



Challenges actuels dans les sciences du mouvement



Coordination & contrôle

de -150 000 à 0 à 100+

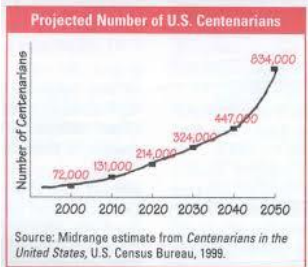
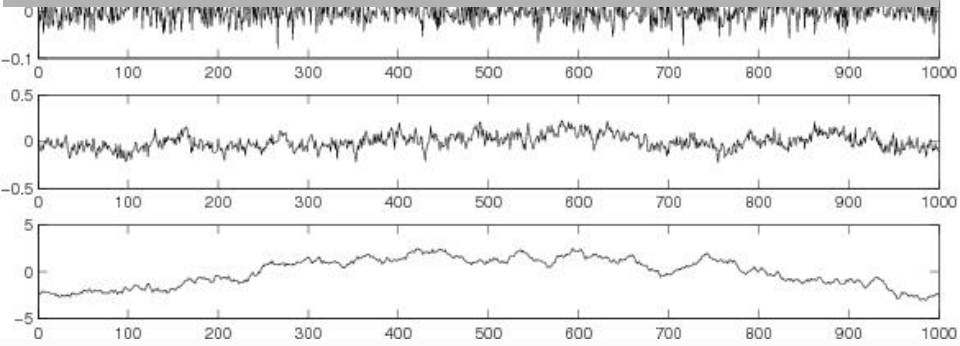
Du gène au comportement

Plasticité cérébrale

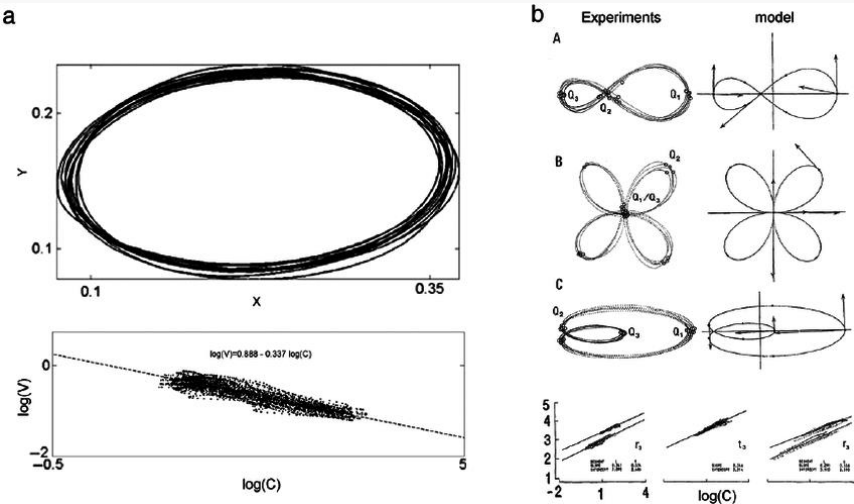
Lois fondamentales du contrôle moteur



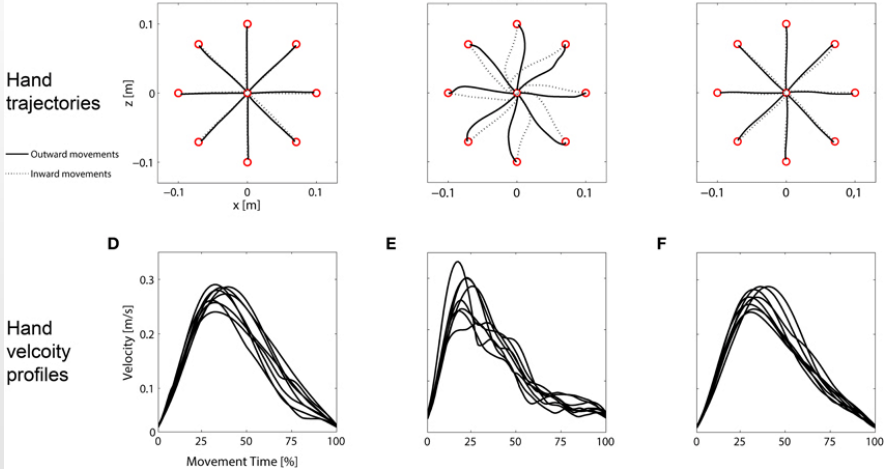
Fractalité du signal moteur



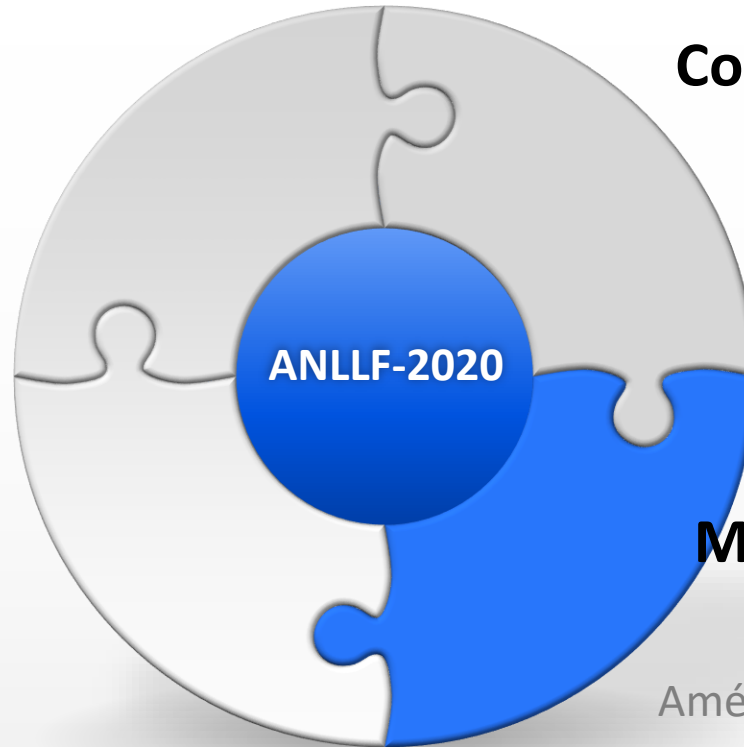
Loi de puissance 2/3



Asymétrie du profil de vitesse



Challenges actuels dans les sciences du mouvement



Coordination & contrôle

de -150 000 à 0 à 100+

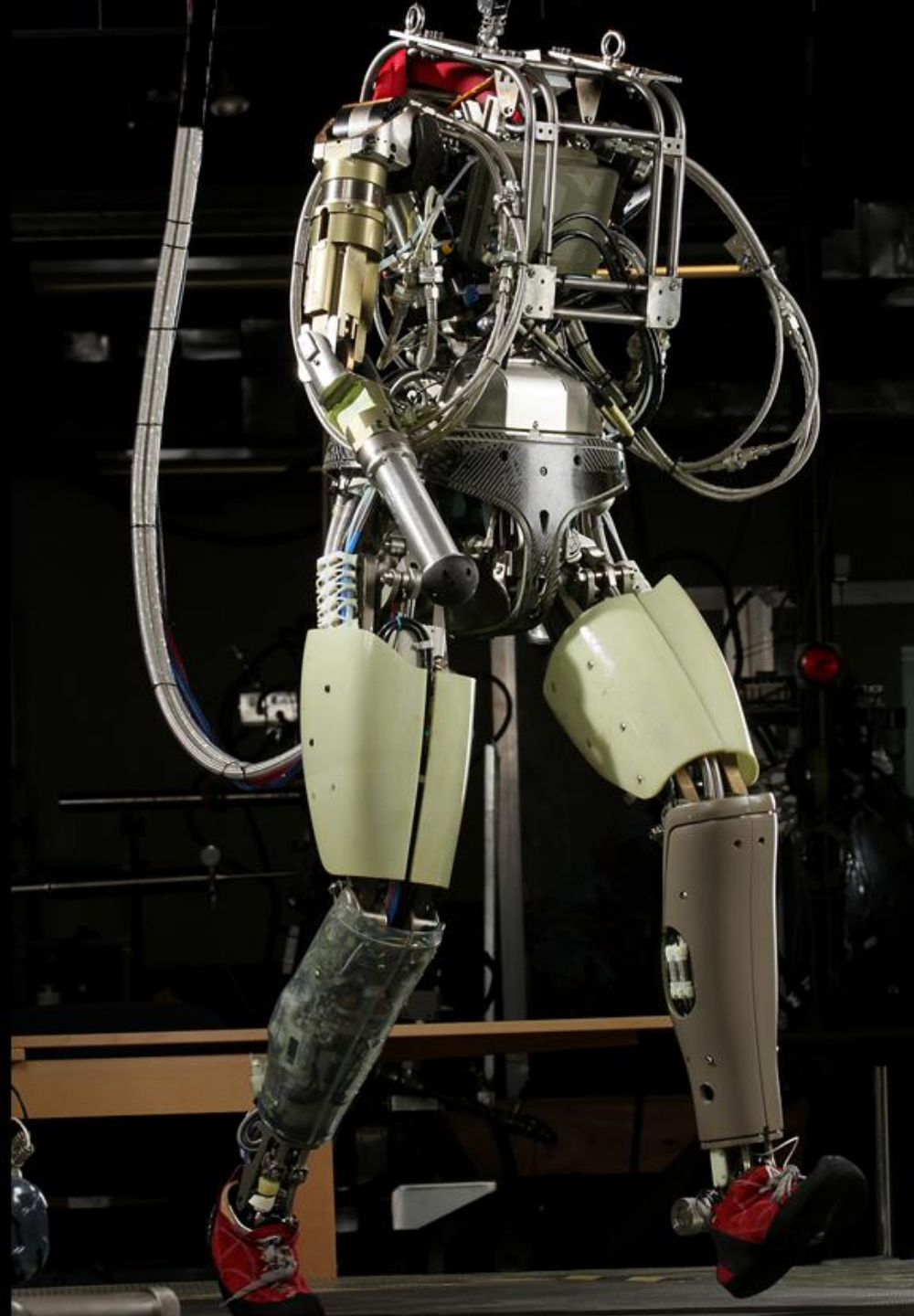
Du gène au comportement

Plasticité cérébrale

Mouvement biologique vs. artificiel

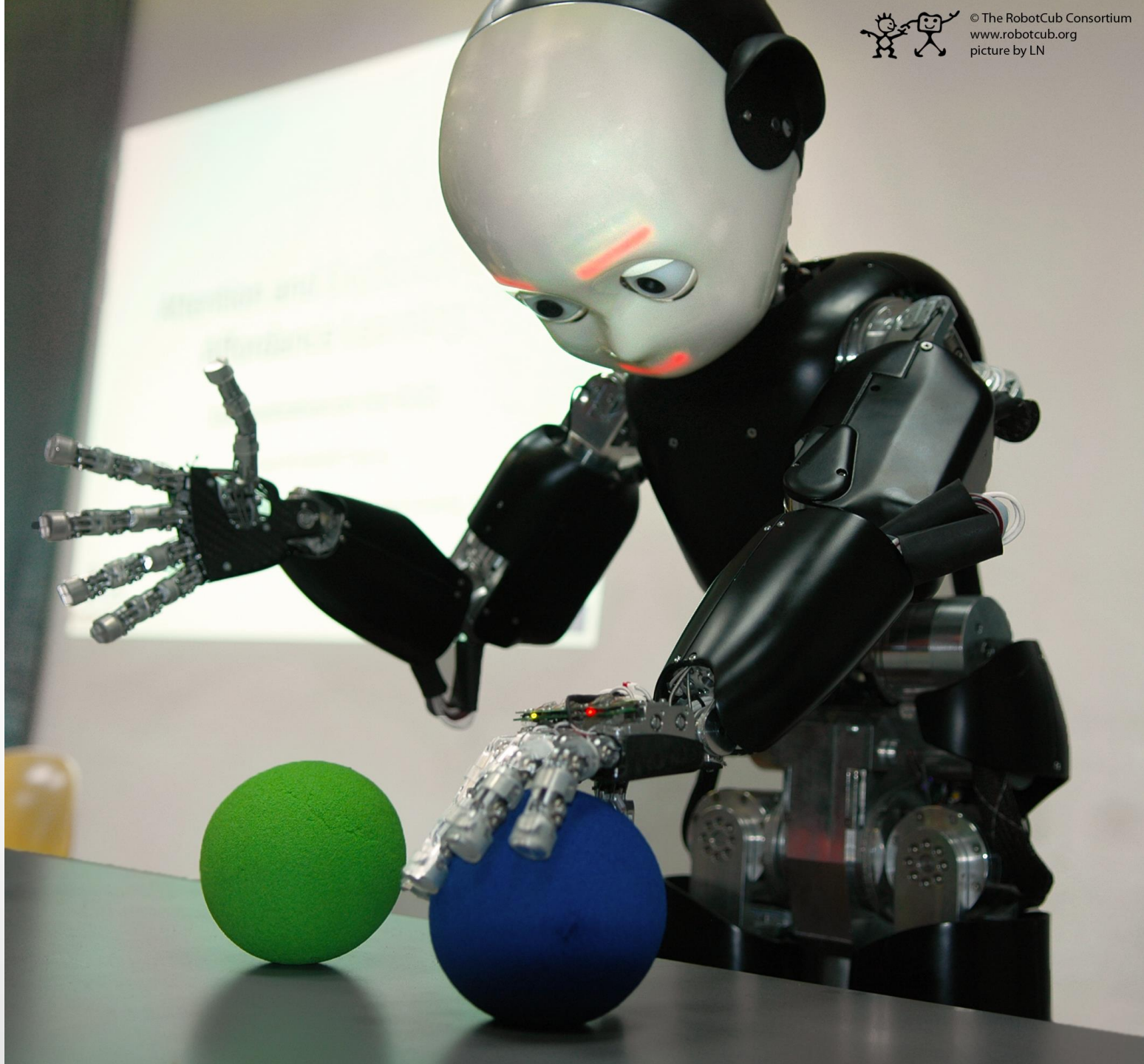
Amérique du nord– Europe – Asie

Robotique, HRI, VR, AR



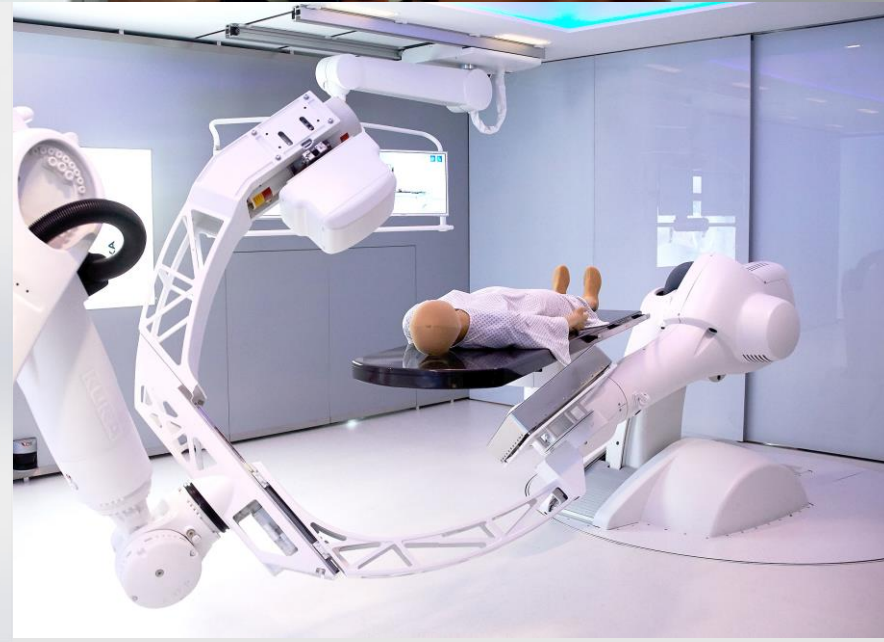
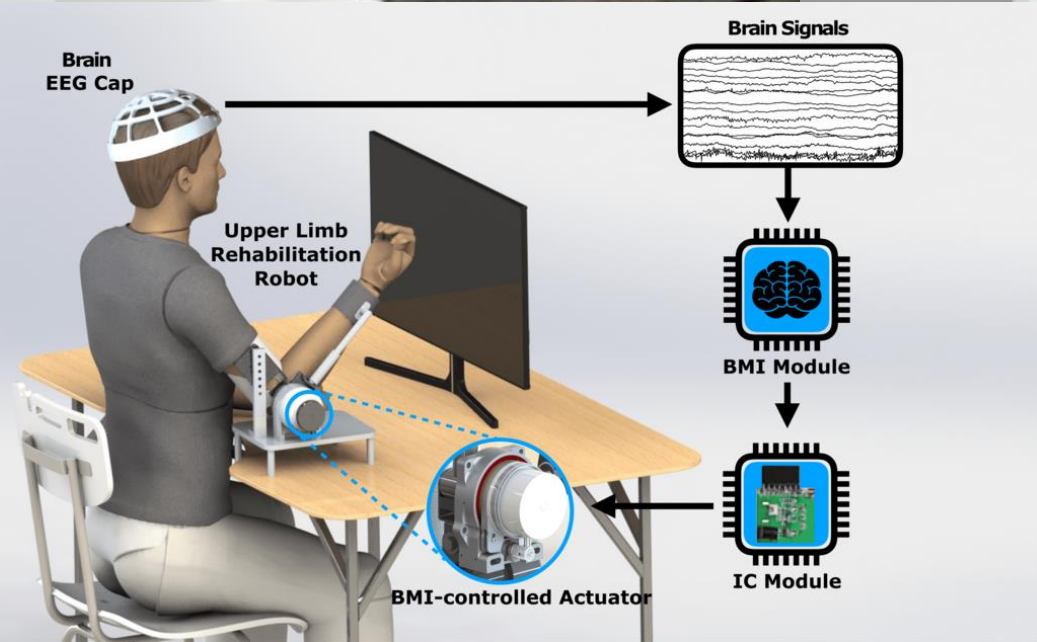


© The RobotCub Consortium
www.robotcub.org
picture by LN

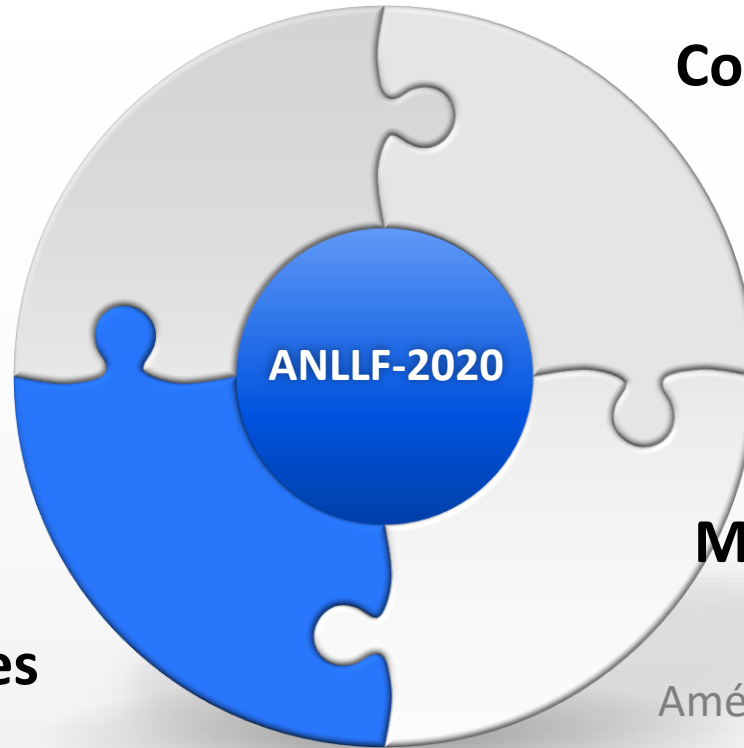








Challenges actuels dans les sciences du mouvement



Contextes, Situations naturelles

Primitives de mouvement

Wearables

Fouille, IA, & big data

Coordination & contrôle

de -150 000 à 0 à 100+

Du gène au comportement

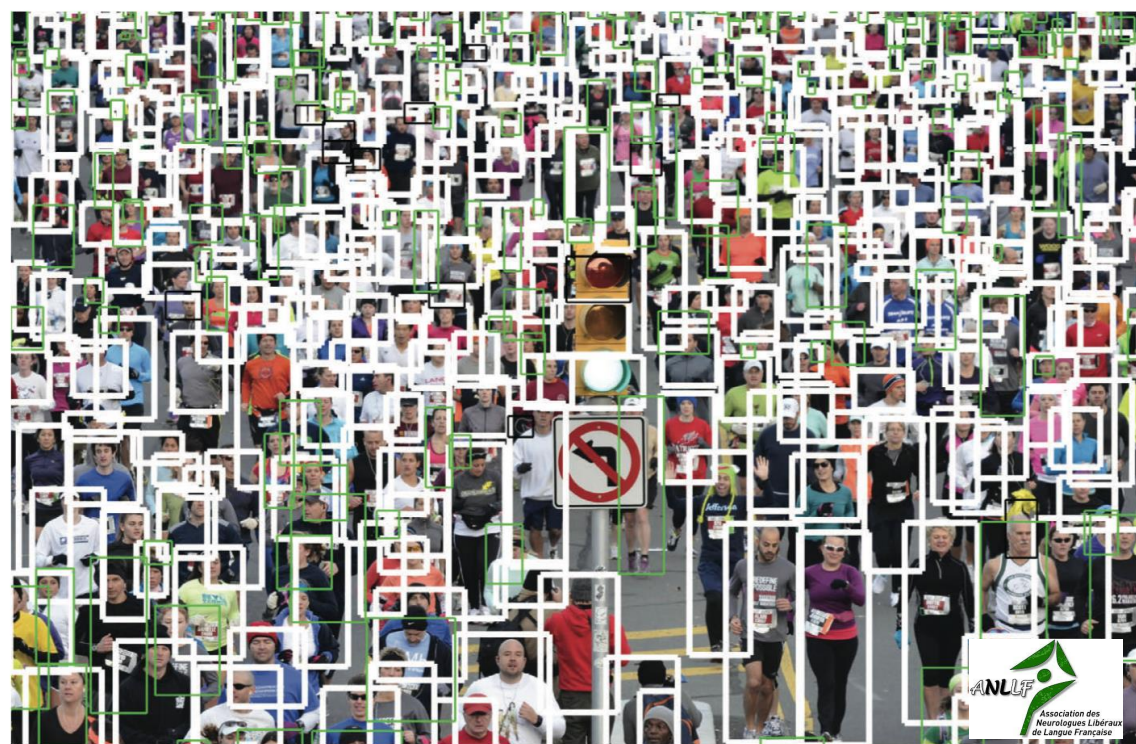
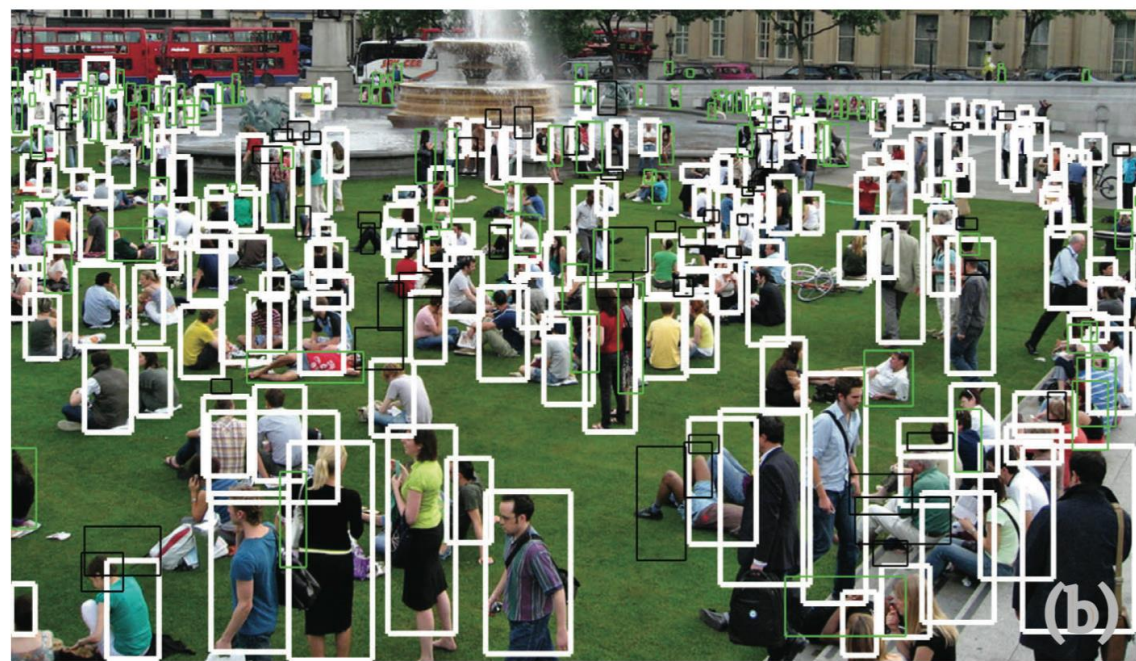
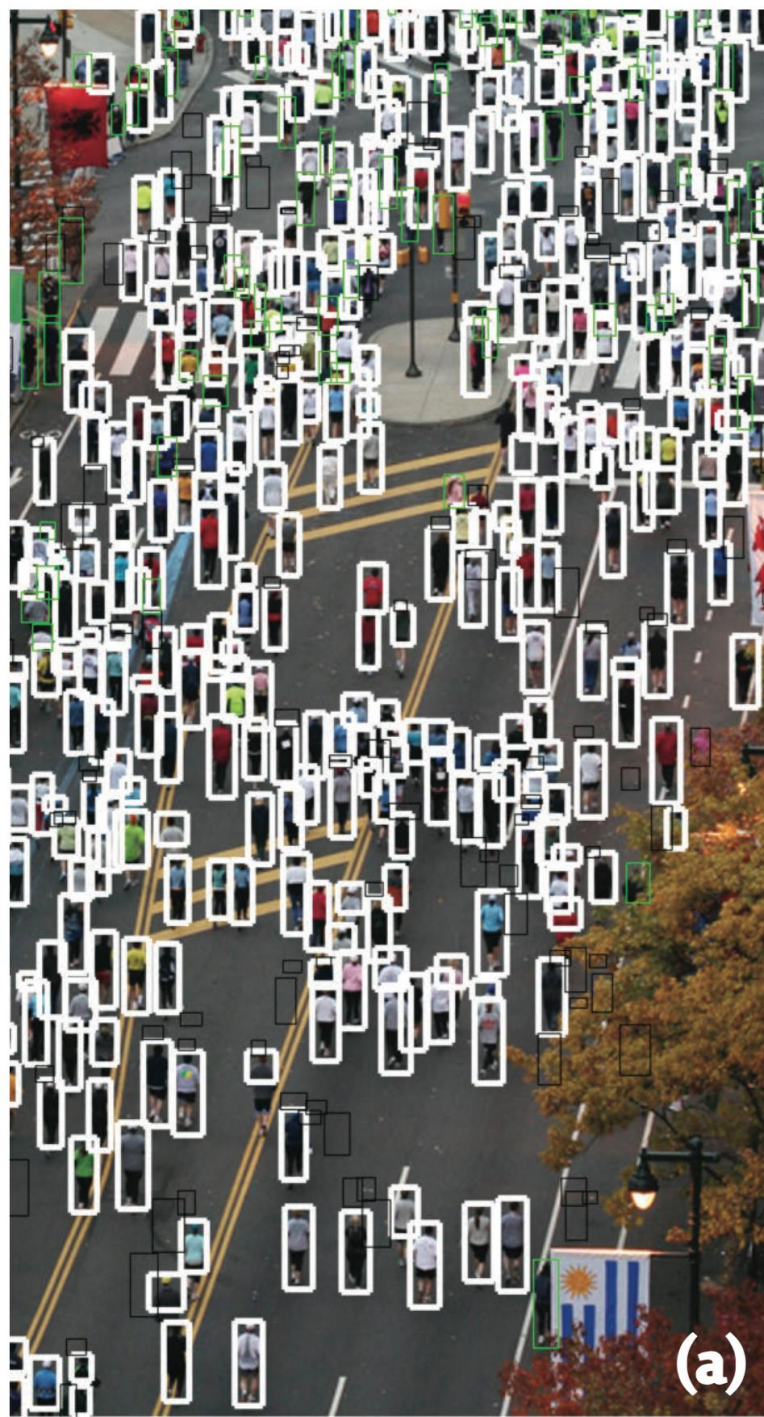
Plasticité cérébrale

Mouvement biologique vs. artificiel

Amérique du nord– Europe – Asie

Robotique, HRI, VR, AR

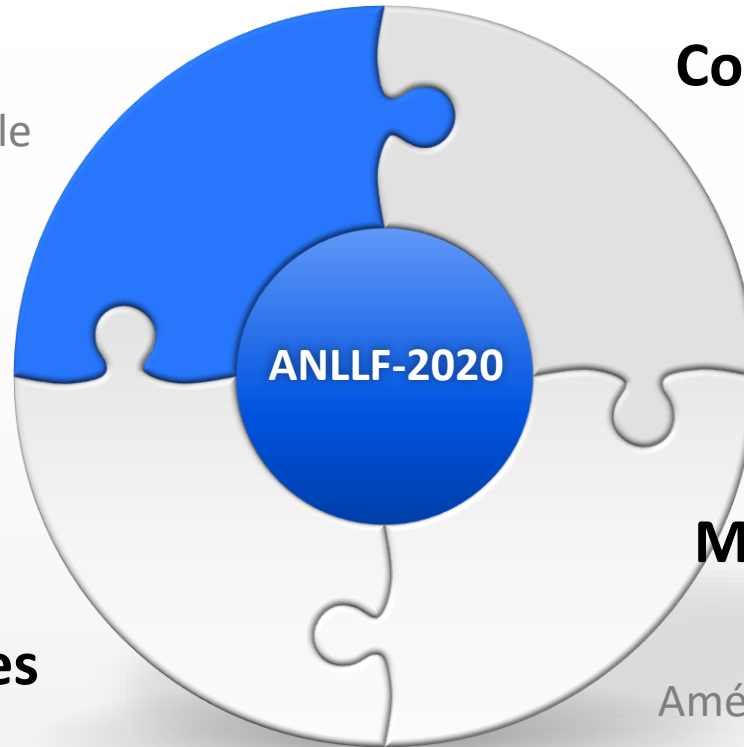




Challenges actuels dans les sciences du mouvement

Embodiment

Dynamique moto-sensorielle
Enaction
Cognition incarnée
Neurosciences sociales



Coordination & contrôle

de -150 000 à 0 à 100+
Du gène au comportement
Plasticité cérébrale

Contextes, Situations naturelles

Primitives de mouvement
Wearables
Fouille, IA, & big data

Mouvement biologique vs. artificiel

Amérique du nord – Europe – Asie
Robotique, HRI, VR, AR

WHAT YOUR MOVES SAY ABOUT YOU



*Sponge Bob, Clone, Single Ladies, Cabbage Patch, **Valérie**, Soulja Boy, Dougie, **Leonardo**, Vogueing, Robot, Bump, Hustle, Prep, Cha Cha Slide, MC Hammer, Wobble, Electric Slide, Cupid Shuffle, Moon Walk ?*

C. Rivero, The Washington Post, 2015

Une nouvelle révolution en sciences cognitives (naturelles et artificielles)

- **Affordances** (Gibson, 1977; Turvey, 1990; Warren, 2006)
- **Spécification cinématique de la dynamique** (Johansson, 1973; Runeson et al., 1983)
- **Psychophysique active** (Flach, 1990; Rasmussen, 1990)
- **Enaction** (Varela et al., 1993)
- **Contingences sensori-motrices** (O'Regan & Noe, 2001)
- **Perception incarnée** (Profitt, 2006)
- **Cognition motrice** (Wilson, 2002)
- **Socialité incarnée** (Marsh et al., 2011)
- **Psychiatrie incarnée** (Isenhower et al., 2012; Varlet et al., 2012)
- **Cognition musicale gestuelle** (Leman, 2007; Dalla-Bella et al., 2007)
- **Approche motrice du langage** (Olmstead et al., 2009; Everett, 2012)
- **La santé en mouvement** (Studenski et al., 2011)
- **Neurones miroirs/ Résonance motrice** (Rizzolatti et al., 1992, 1996, 1998)
- **Robotique** (Brooks, 1991; Pfeifer, 2001, 2007)

Dans le silence et le mouvement

Marcel Marceau (1923 - 2007)





DU 24 AU 26
SEPTEMBRE 2020
PALAIS DES
CONGRÈS DE
MONTPELLIER



Rythmes et synchronisation

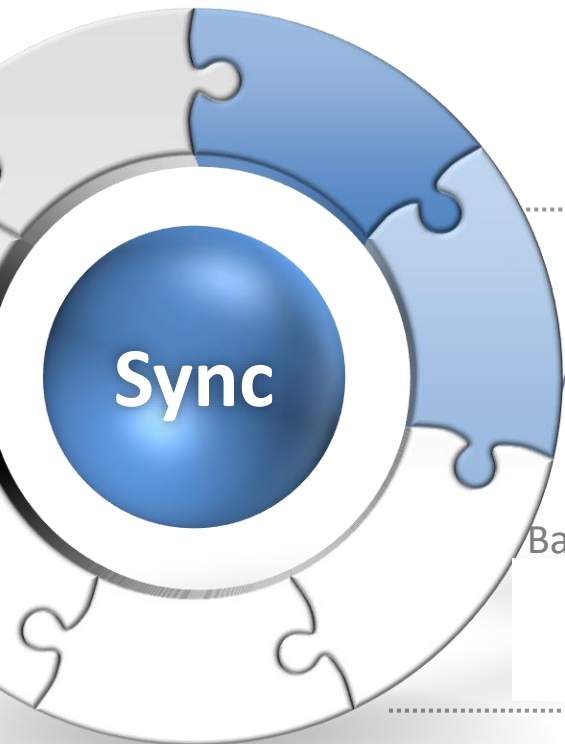
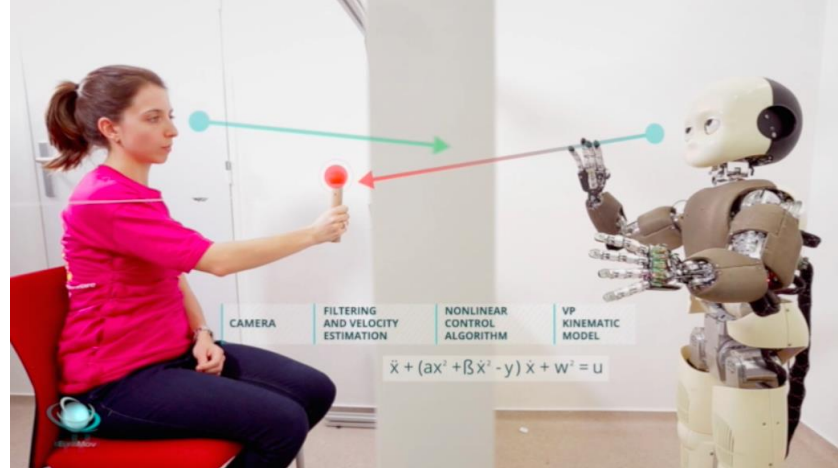
Benoît Bardy

*EuroMov Digital Health in Motion
Université de Montpellier, IMT Mines Alès*



Entre agents

Interactions humain-avatars et santé mentale
(Slowinski et al., 2016)



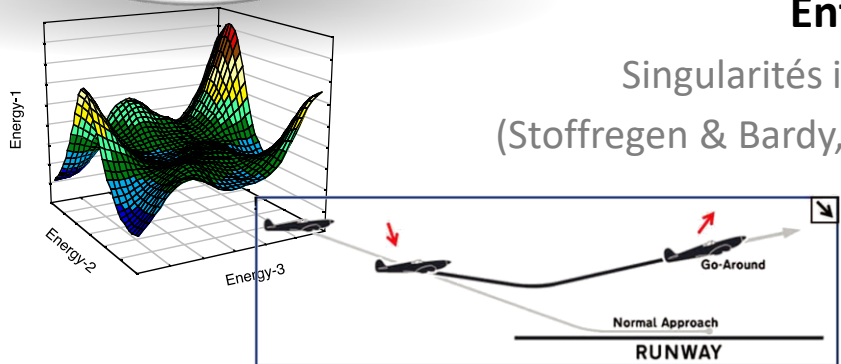
Entre musique et mouvement

Synchronisation musicale
induite des rythmes
biologiques
(Bardy et al., 2015, Dotov et al., 2017)

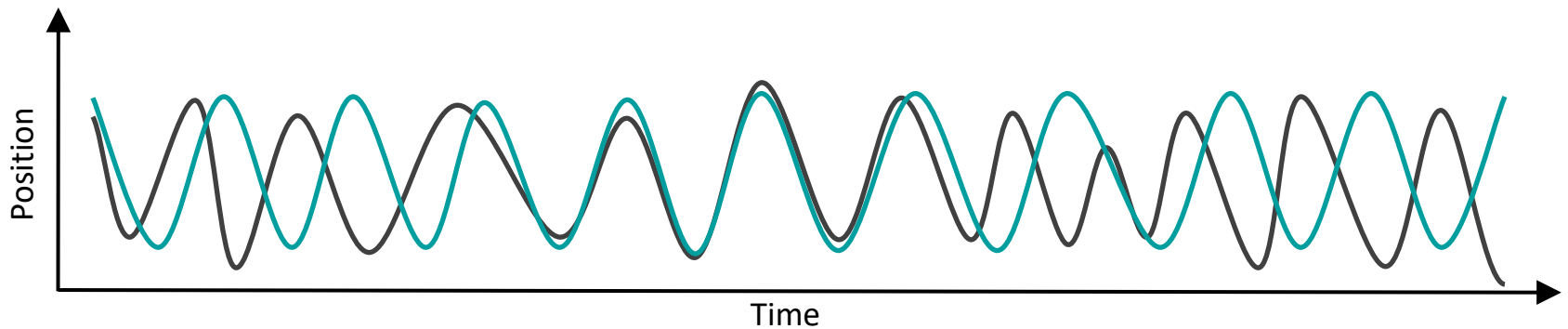


Entre les sens

Singularités intermodales
(Stoffregen & Bardy, 2001; 2017)



Déficits sociaux dans les synchronisations rythmiques interpersonnelles



Schmidt et al., 1997; 1998; Marsh et al., 2006; Isenhower et al., 2012, Varlet et al., 2012

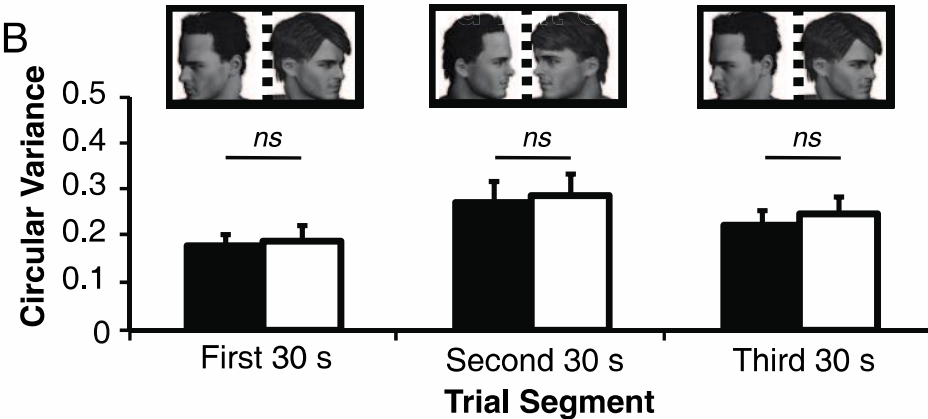
Déficits attentionnels, retrait social, Apathie etc.: Schizophrénie, phobie, troubles ASD

A



Unintentional Social Coordination

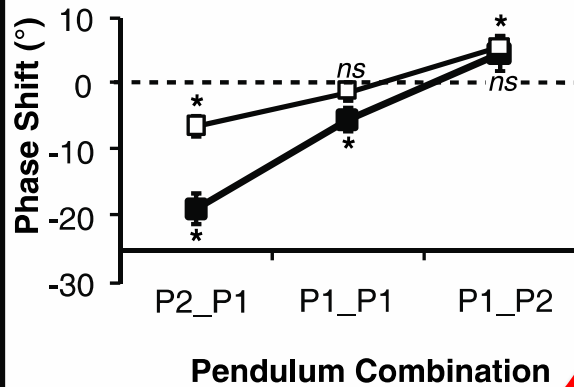
B



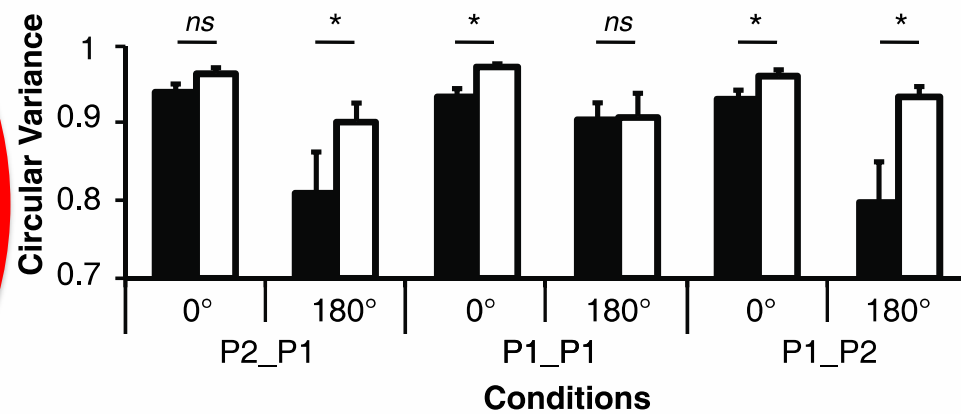
Intentional Social Coordination

■ Schizophrenia
□ Control

C



D



Modèle: couplage d'oscillateurs

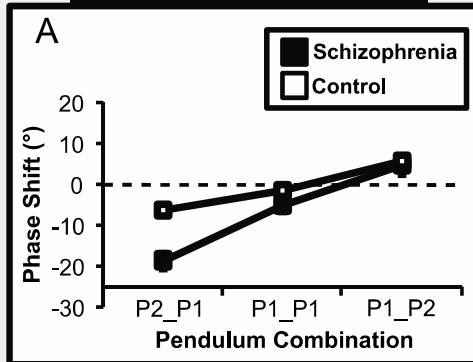
Dynamique cycle limite

Fonction de couplage

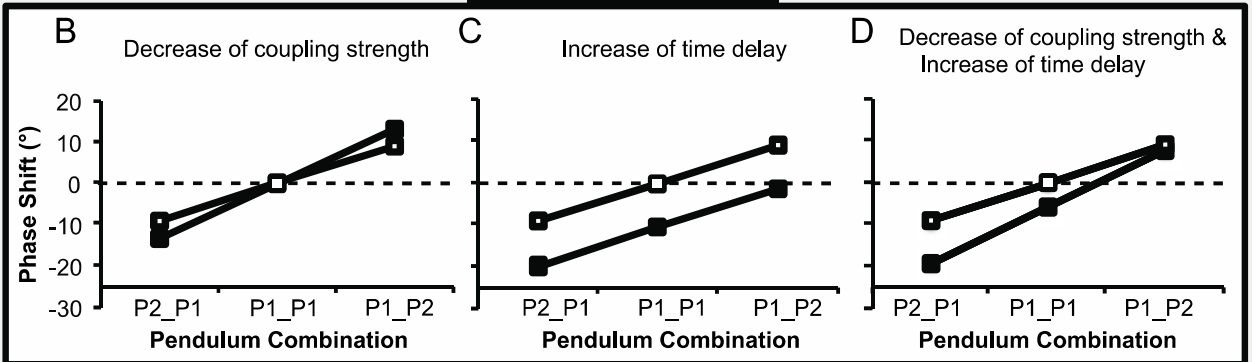
$$\ddot{x}_1 + \delta \dot{x}_1 + \lambda \dot{x}_1^3 + \gamma x_1^2 \dot{x}_1 + \omega^2 x_1 = K_1 \left(\dot{x}_1 - \dot{x}_{2\tau_1} \right) \left[a + b(x_1 - x_{2\tau_1})^2 \right]$$

$$\ddot{x}_2 + \delta \dot{x}_2 + \lambda \dot{x}_2^3 + \gamma x_2^2 \dot{x}_2 + \omega^2 x_2 = K_2 \left(\dot{x}_2 - \dot{x}_{1\tau_2} \right) \left[a + b(x_2 - x_{1\tau_2})^2 \right]$$

Experimental Data

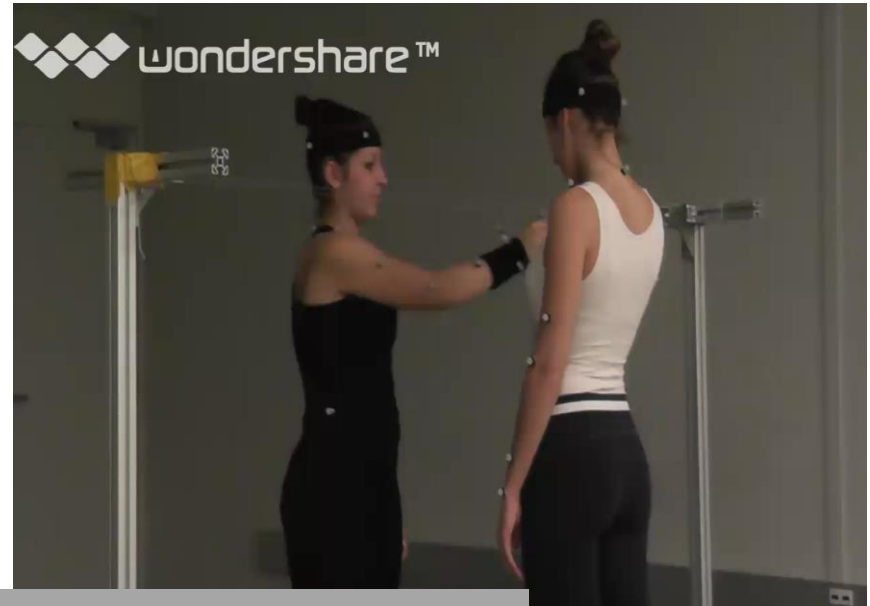
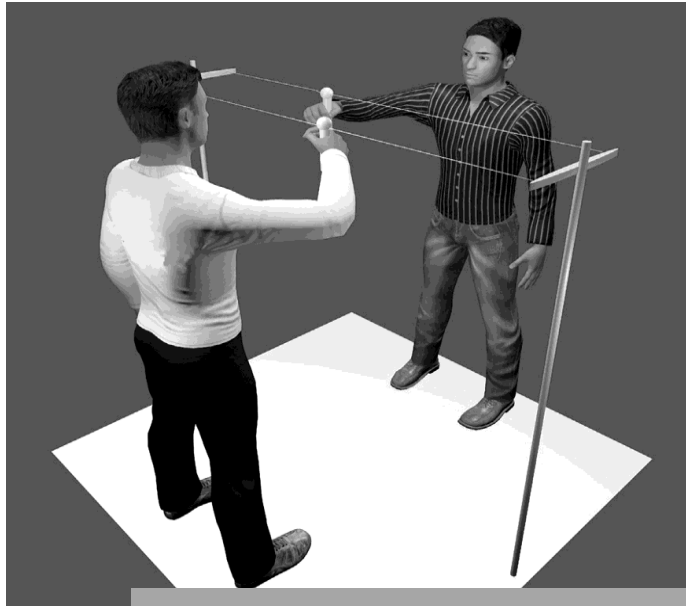


Simulated Data

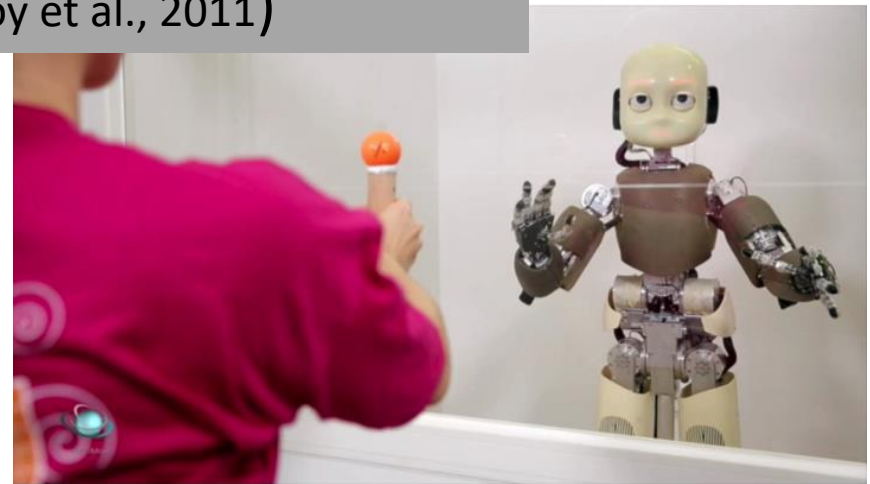


Signatures motrices de la schizophrénie

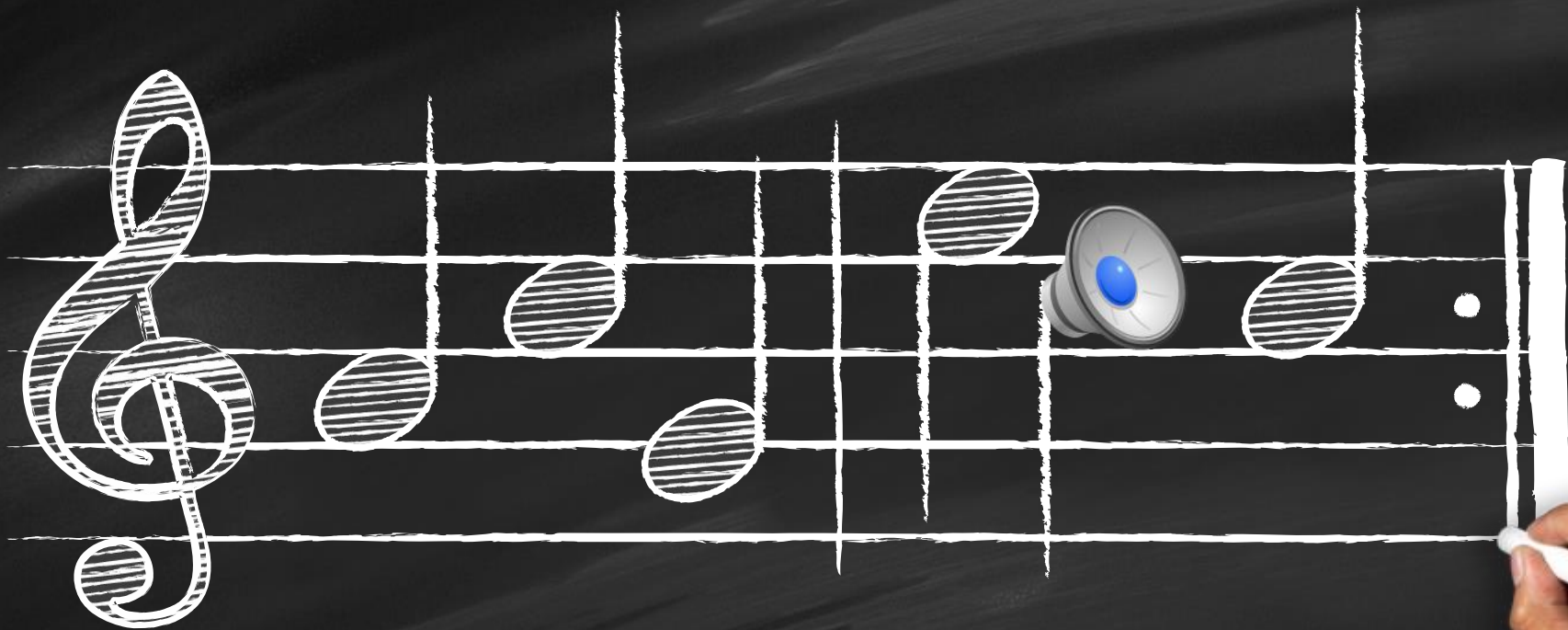
Effet de la similarité sur la synchronisation



Le jeu en miroir (e.g. Noy et al., 2011)



Similarité -> Synchronisation -> Affiliation, empathie, liens pro-sociaux

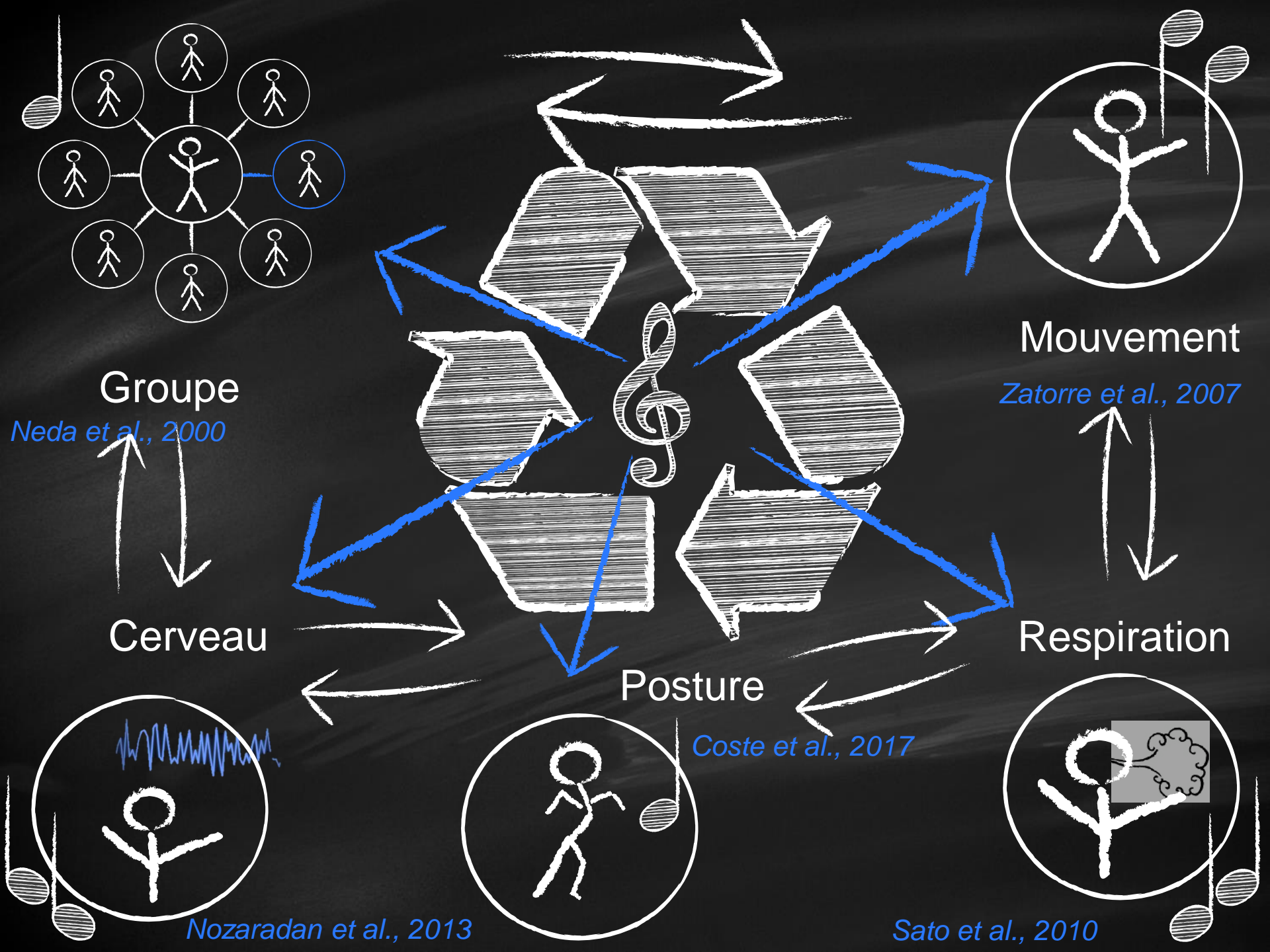


La musique entraîne le mouvement !

- ❑ Puissant lien entre rythme & mouvement
- ❑ Entraînement naturel vers des régimes de synchronisations
- ❑ Universel
- ❑ Places and cultures
- ❑ Précoce
- ❑ Plutôt humain
- ❑ Concerne tous les humains (avec quelques exceptions)
- ❑ Motivation, plaisir
- ❑ Favorise les comportements sociaux
- ❑ Une circuiterie neuronale dédiée
- ❑ Capturé par les principes physiques de la synchronisation



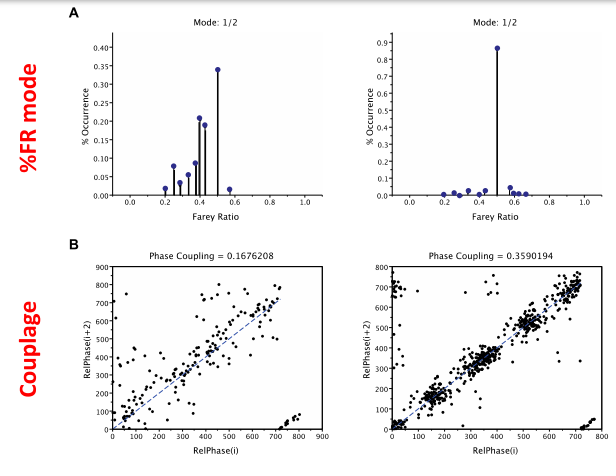
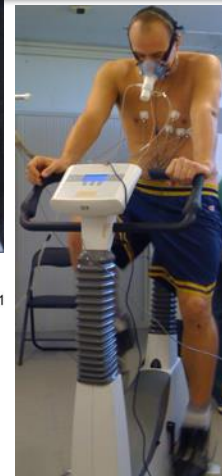
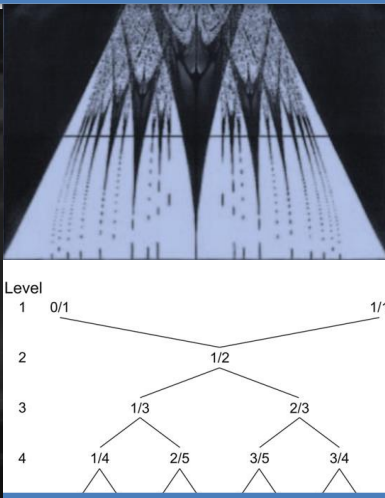
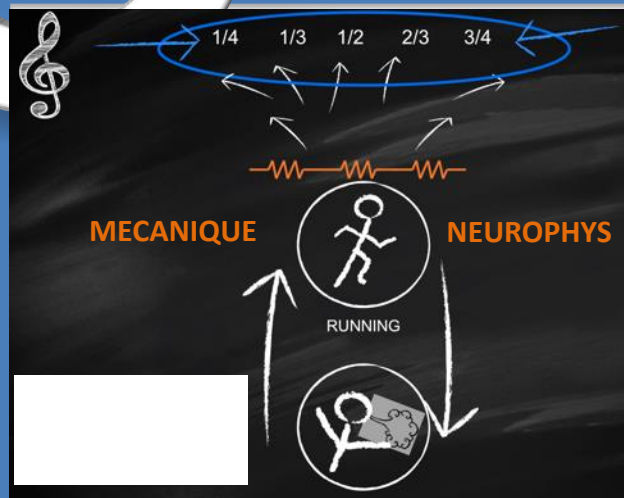
e.g., Besson, 2001; Hove & Risen, 2009; Kirschner & Tomasello, 2009; McNeill, 1995; Nettle, 2000 ; Phillips-Silver et al., 2010, 2011; Repp, 2005; Wallin et al., 2000 ; Wing, 2002; Zatorre et al., 2007, 2014



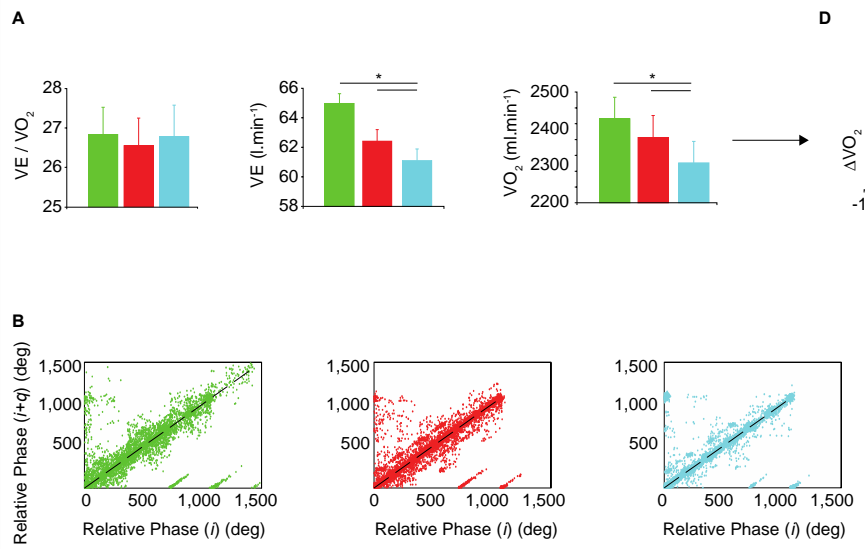


ENTRE MUSIQUE & MOUVEMENT

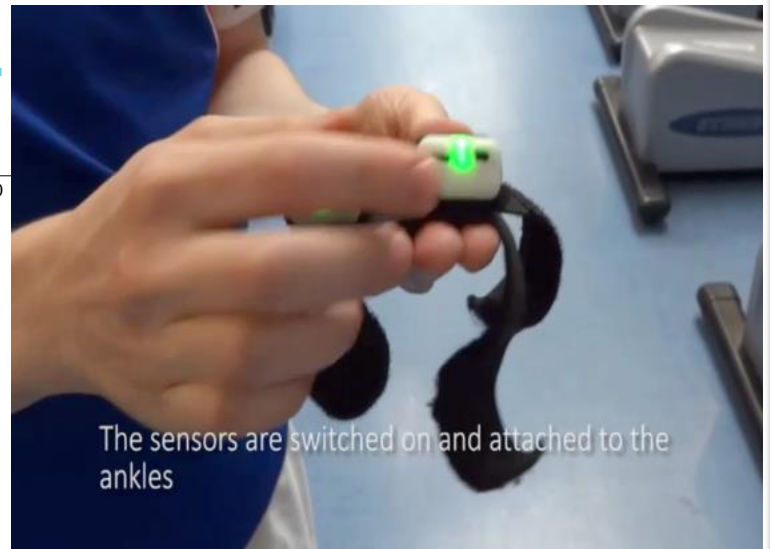
Bardy et al., 2015; Dotov et al., 2019; Cochen et al. 2018; Damm et al., 2020



Stabilisation musicale de la course et du couplage Respiration/Locomotion (LRC)



■ Silence ■ Metronome ■ Music



La synchronisation musique - mouvement

- ❑ Stabilise les paramètres locomoteurs (e.g., variabilité du pas)
- ❑ Stabilise les variables de couplage (e.g. LRC)
- ❑ Peut améliorer l'efficacité physiologique
- ❑ Musique (+6%) et métronome (+3%)
- ❑ Musique: Coordination des rythmes biologiques

