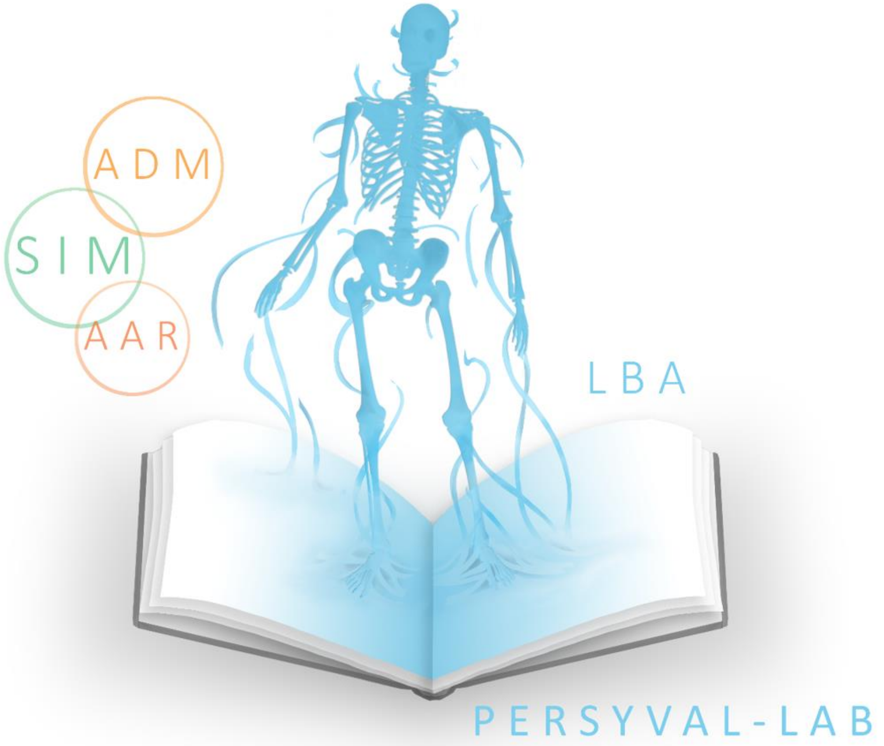
Modélisation anatomique utilisateur-spécifique et animation temps-réel. Application à l'apprentissage de l'anatomie.



Encadrants

Jocelyne TROCCAZ
François FAURE
Olivier PALOMBI

Rapporteurs

Marie-Odile BERGER
Stéphane COTIN

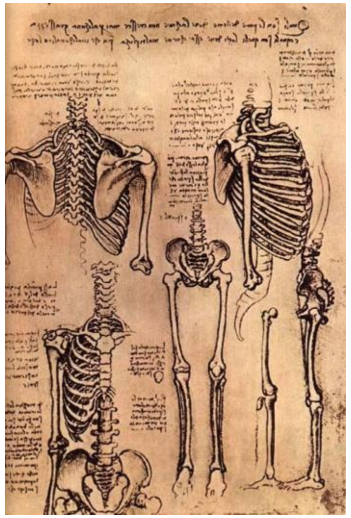
Examinateurs

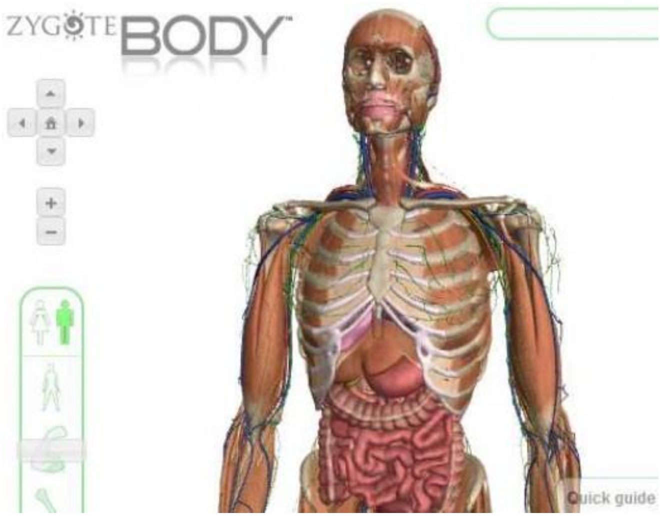
Laurence NIGAY
Nady EL HOYEK
Nassir NAVAB

This work has been partially supported by the LabEx PERSYVAL-Lab (ANR-11-LABX-0025-01) funded by the French program Investissement d'avenir

Les supports de connaissances anatomiques

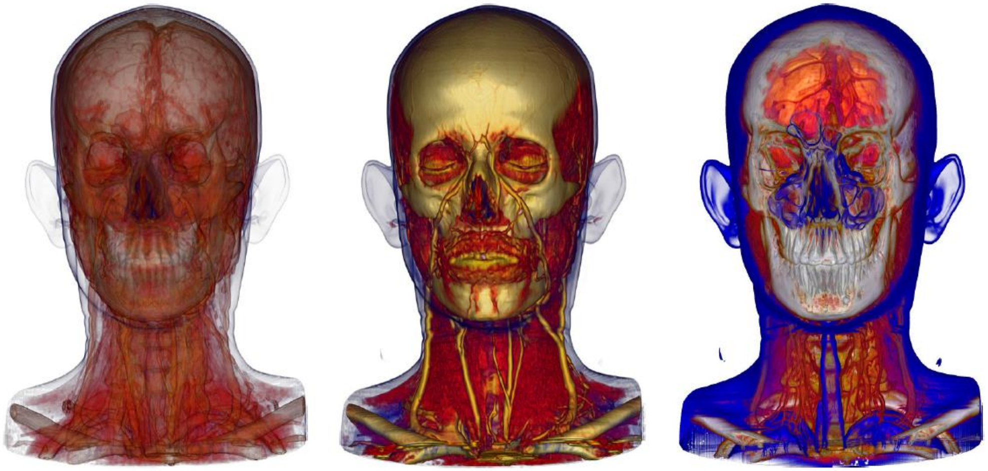
Le corps comme support





Représentations picturales et atlas anatomiques

Représentations en volume



Représentations numériques

« Living Book of Anatomy » (LBA)

IHM

Interaction et Réalité augmentée

Personnalisation utilisateur / modèle 3D

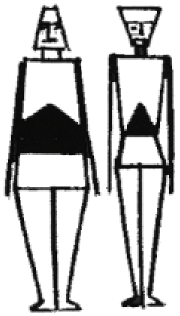
LBA

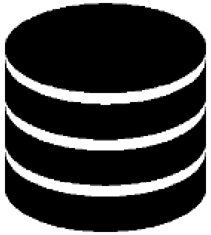
Capture et restitution du mouvement

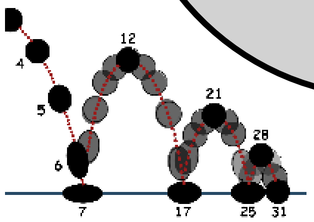
Base de connaissances

Etude de l'apport de l' apprentissage incarné

A+





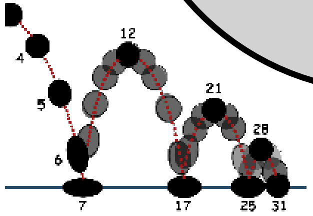


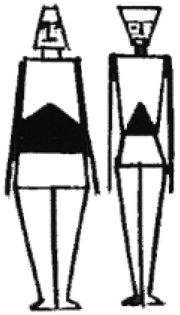
« Living Book of Anatomy » (LBA)

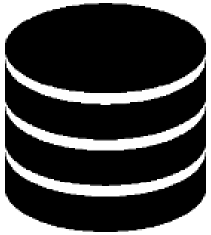
IHM

- Interaction et Réalité augmentée
- Personnalisation utilisateur / modèle 3D
- **LBA**
- Capture et restitution du mouvement
- Base de connaissances
- Etude de l'apport de l' apprentissage incarné

A+







Les nouvelles technologies : l’enseignement évolue

IHM

Interaction et Réalité augmentée

Personnalisation utilisateur / modèle 3D

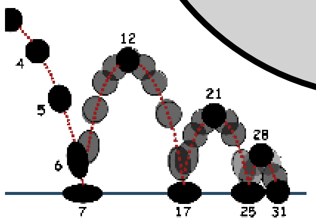
LBA

Capture et restitution du mouvement

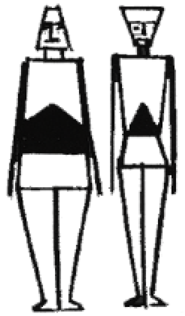
Base de connaissances

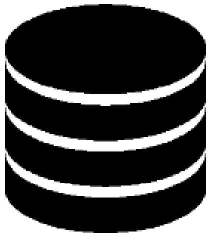
Etude de l’apport de l’apprentissage incarné

A+

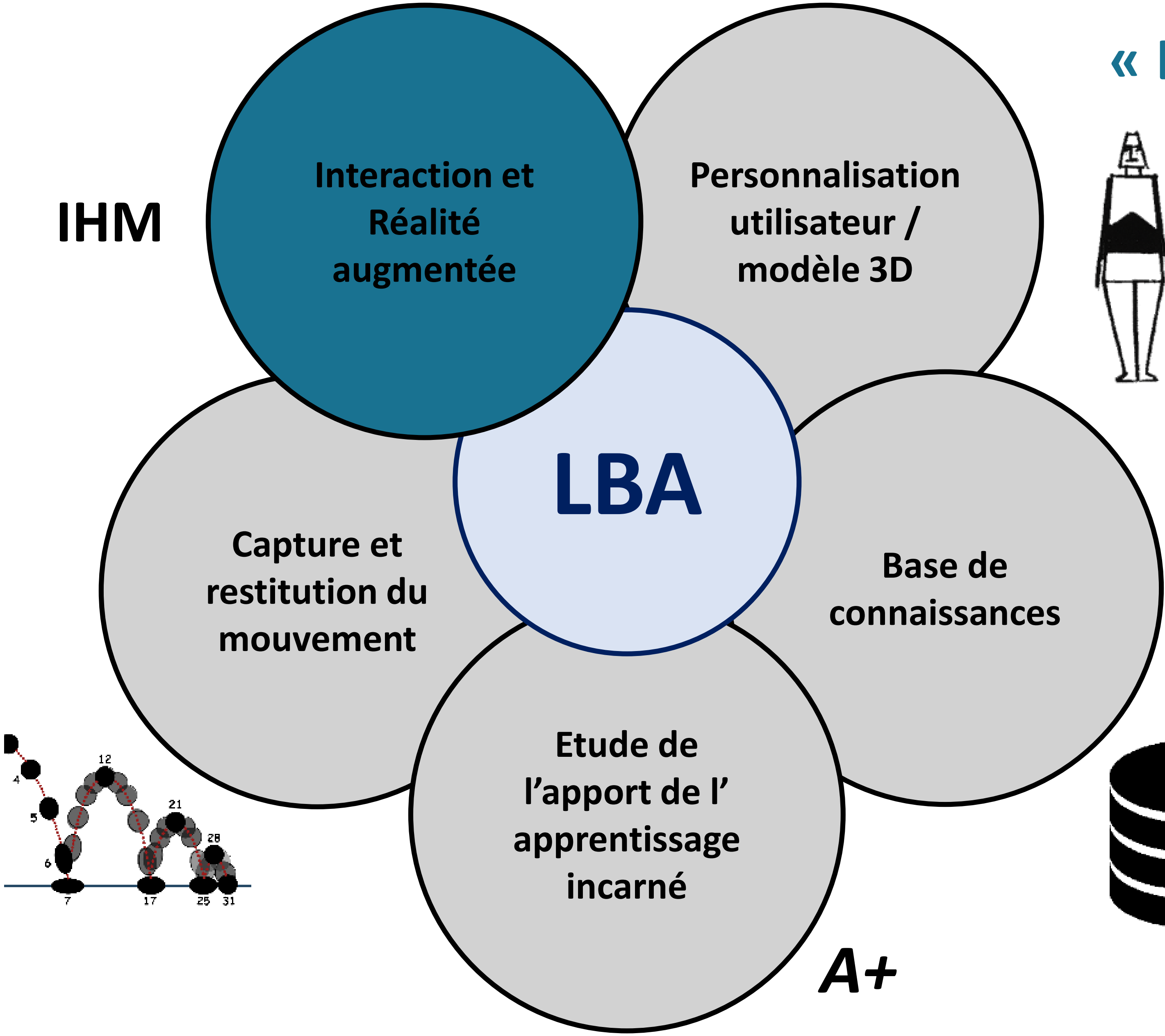


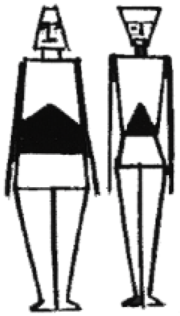
« Living Book of Anatomy » (LBA)

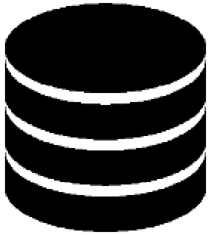




« Living Book of Anatomy » (LBA)







« Living Book of Anatomy » (LBA)

IHM

Interaction et Réalité augmentée

Personnalisation utilisateur / modèle 3D

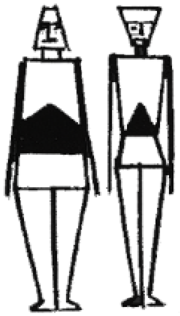
LBA

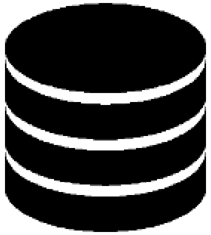
Capture et restitution du mouvement

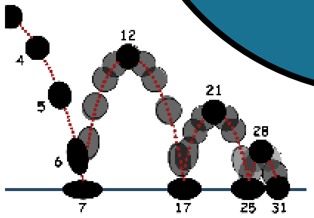
Base de connaissances

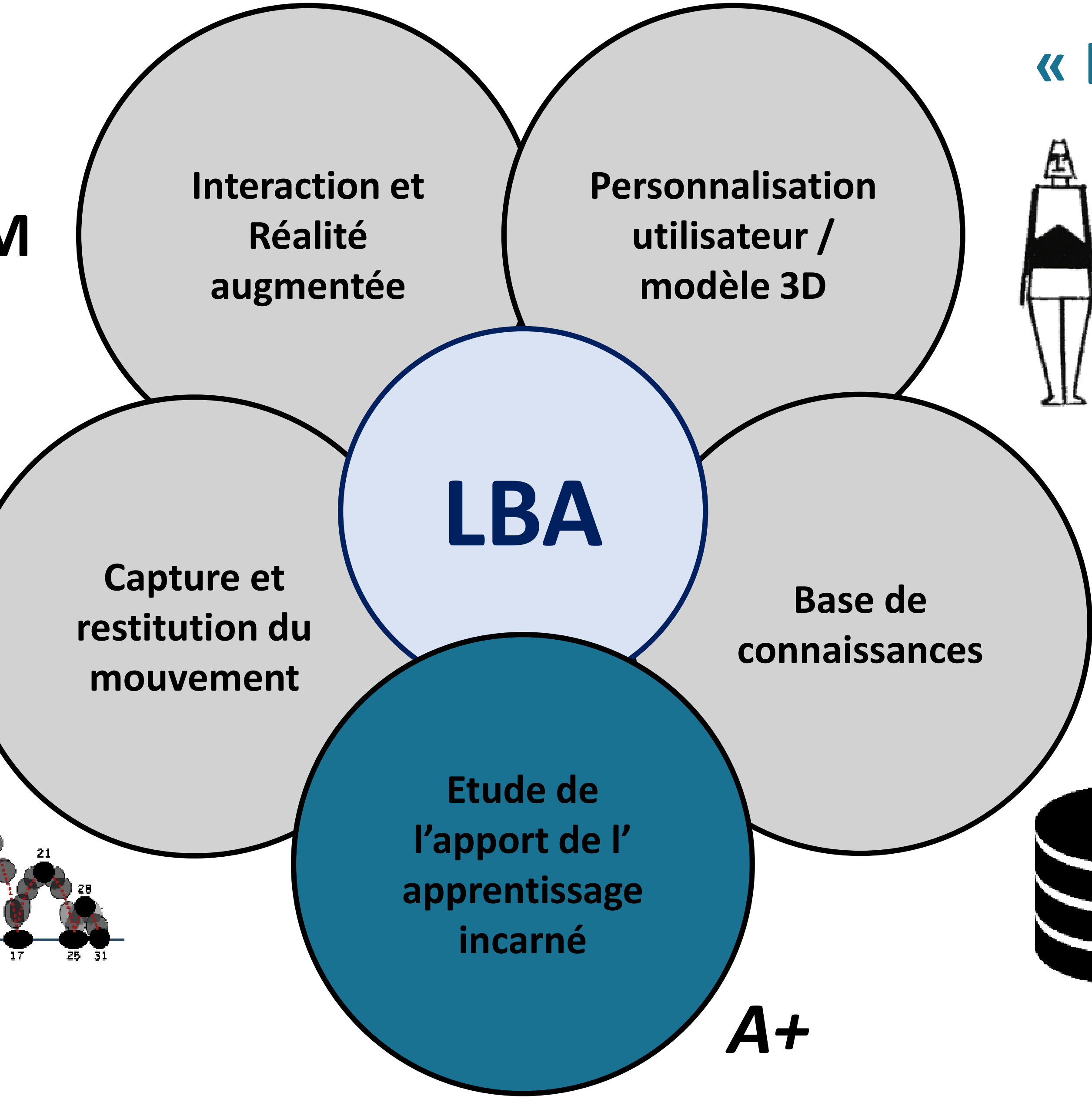
Etude de l’apport de l’ apprentissage incarné

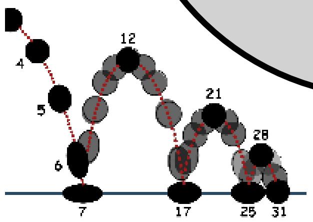
A+



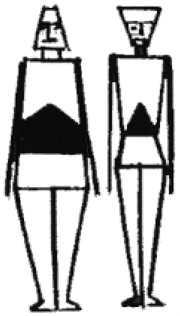


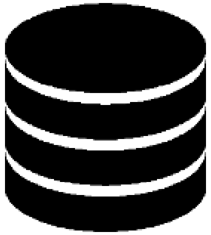






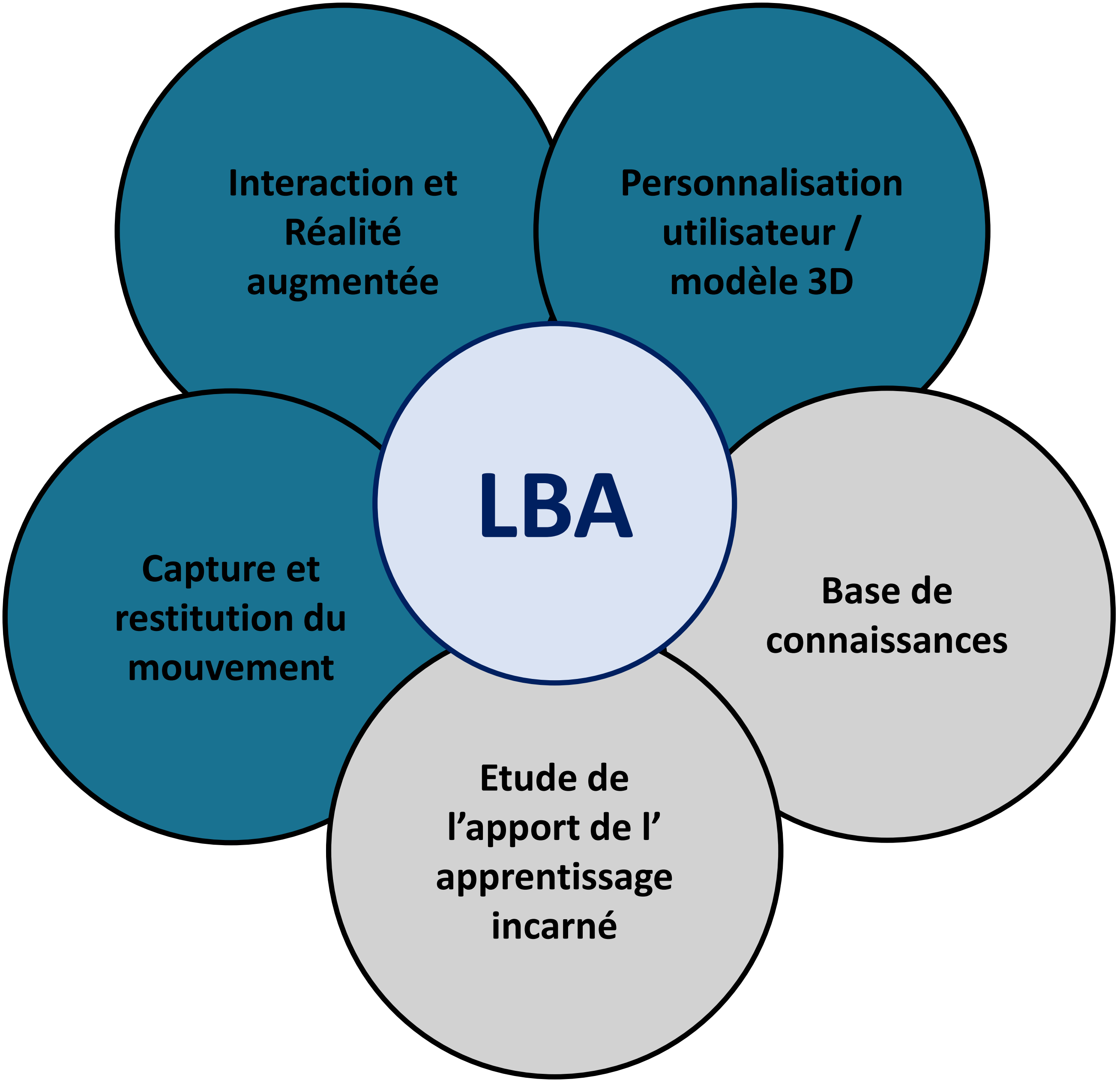
« Living Book of Anatomy » (LBA)



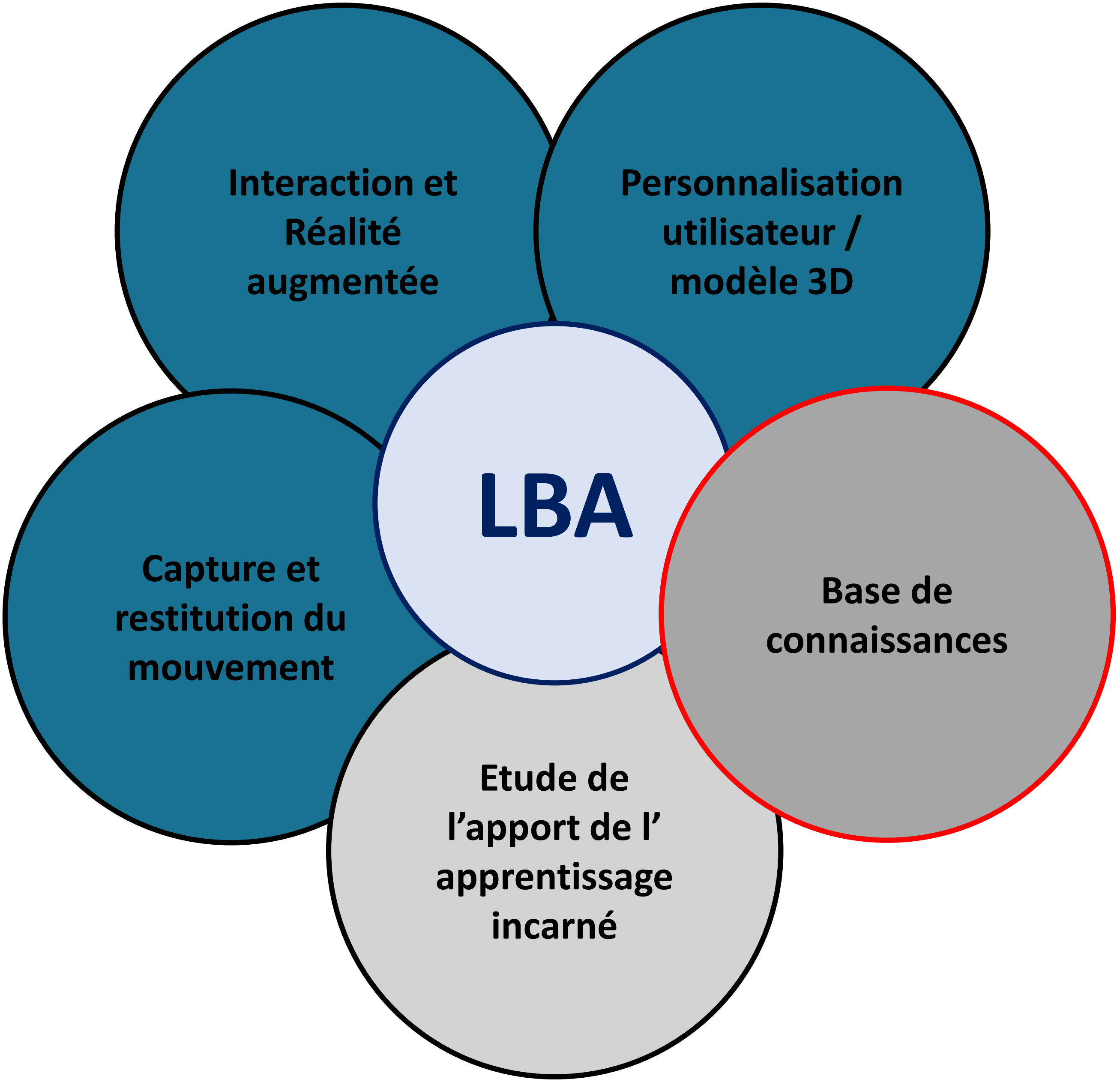


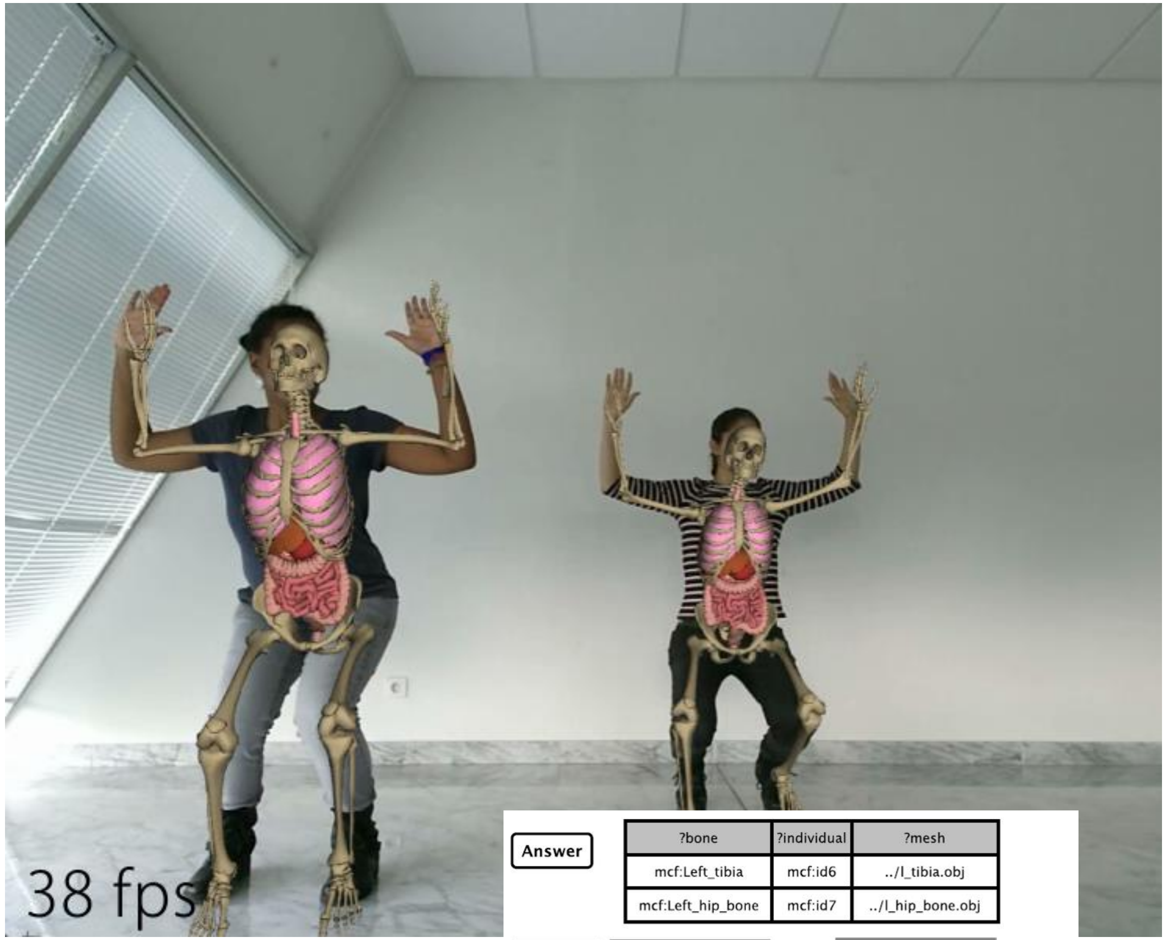
Les nouvelles technologies : l’enseignement évolue

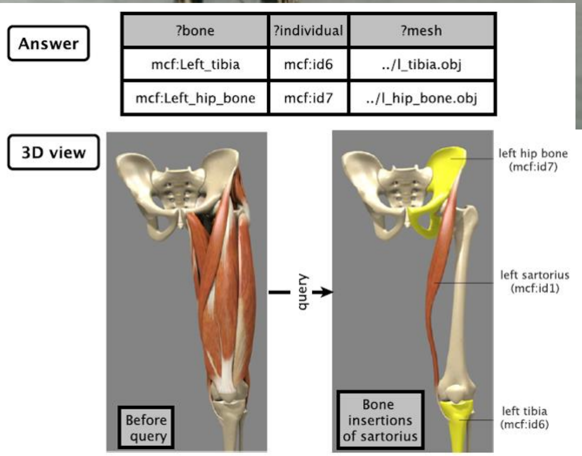
CONTEXTE



Les nouvelles technologies : l’enseignement évolue







?bone	?individual	?mesh
mcf:Left_tibia	mcf:id6	../l_tibia.obj
mcf:Left_hip_bone	mcf:id7	../l_hip_bone.obj

Capture très fines des mouvements

Données partielles et bruitées

Systèmes lourds

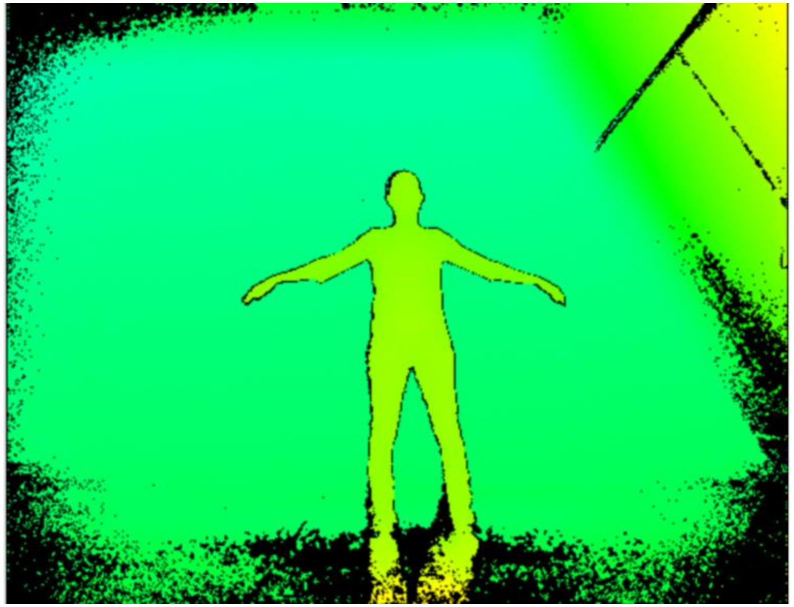
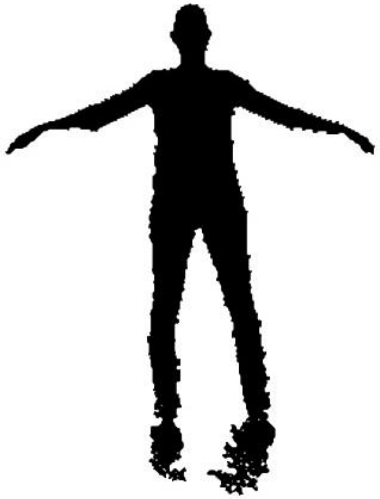
- Très chers
- Compliqués à installer

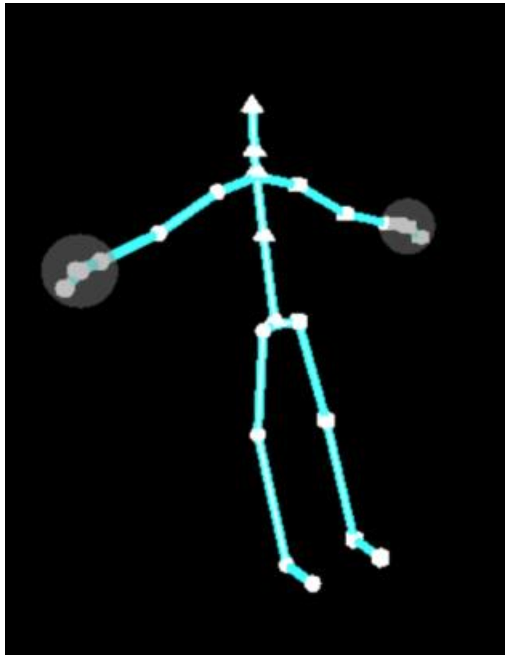
Systèmes légers

- Peu chers
- Simples à installer

long ⟷ **temps-interactif** ⟷ **temps-réel**

Sorties du SDK Kinect



« données partielles et bruitées »

Sorties du SDK Kinect :

- Carte de couleur RGB
- Carte de profondeur
- Silhouette
- Nuage de points
- Squelette d'animation

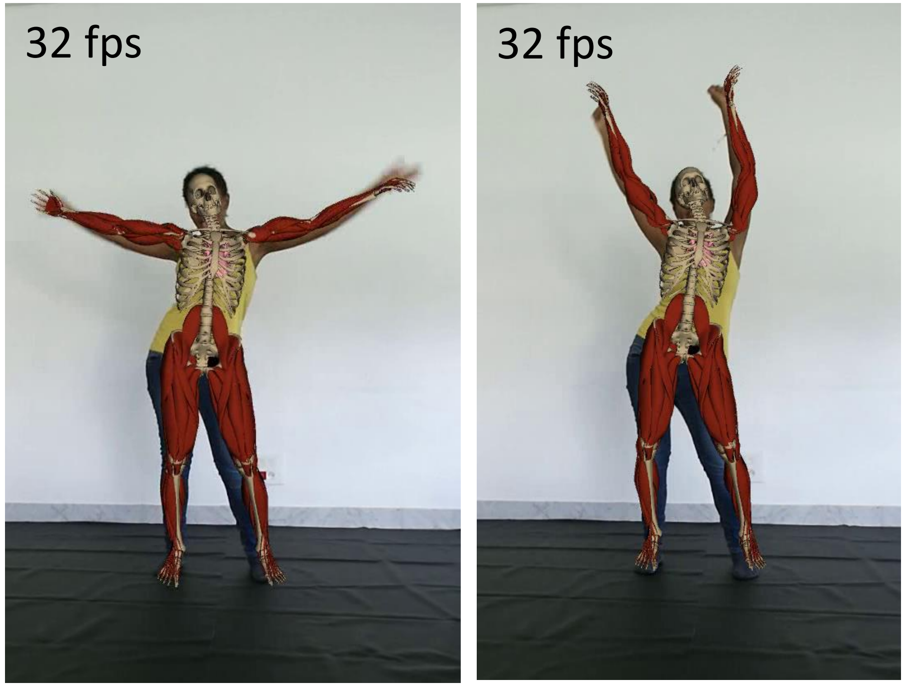
Son propre corps pour apprendre l'anatomie

Capture de données

+

Maquette 3D

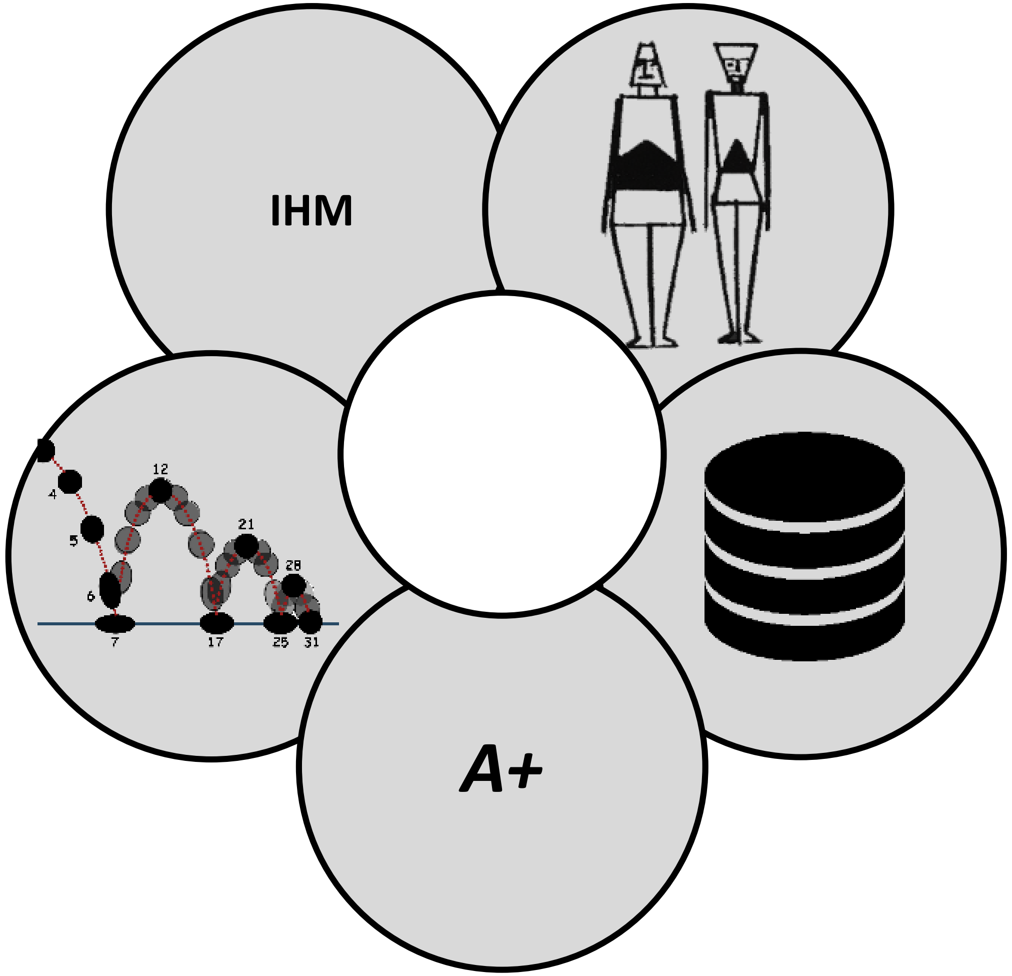
=



Entrées

Sortie en RA

État de l'art : grille d'évaluation

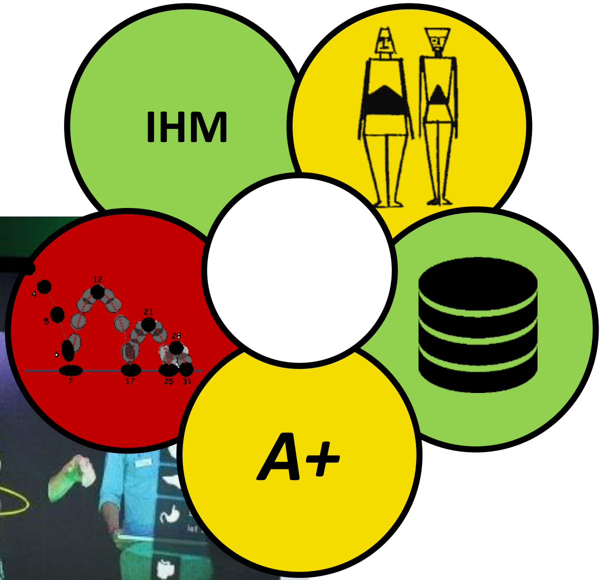


« Les miroirs interactifs »

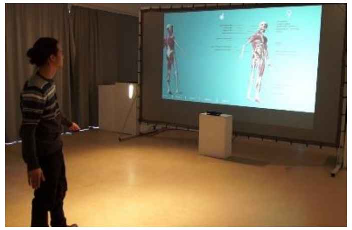
- Propose de bons résultats
- Traité partiellement
- Pas traité par le système

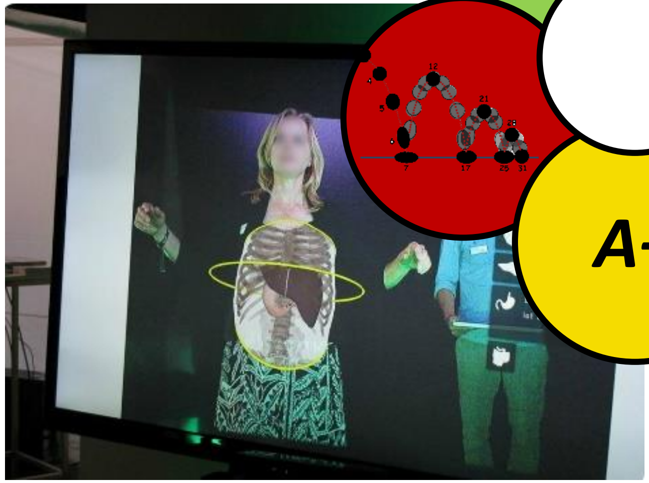
De la réalité au virtuel : le miroir interactif

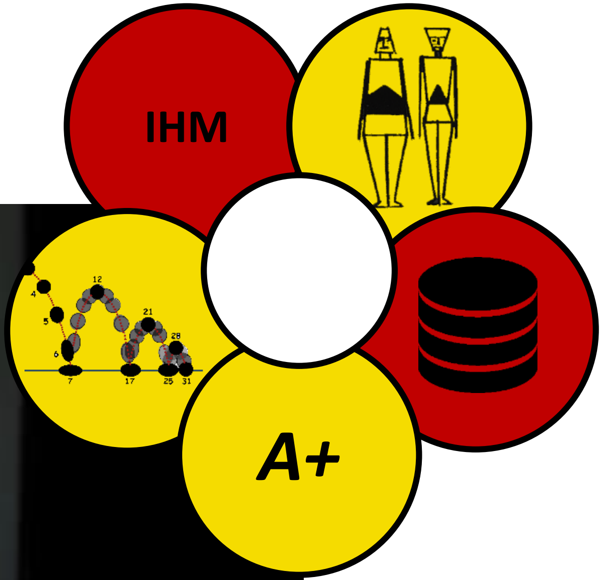
CONTEXTE



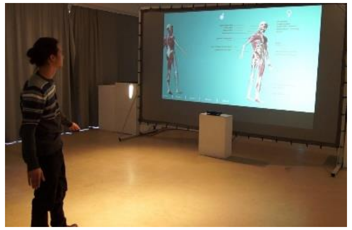
Le Magic Mirror [Navab et collègues - 2011]

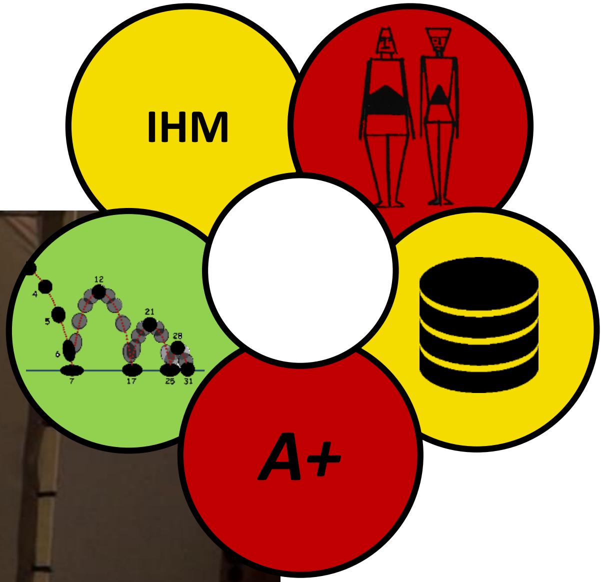






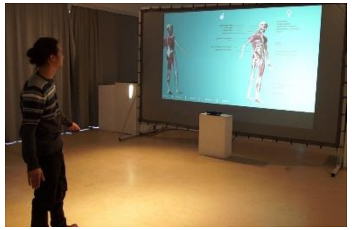
Le Digital Mirror [Maître et collègues - 2014]

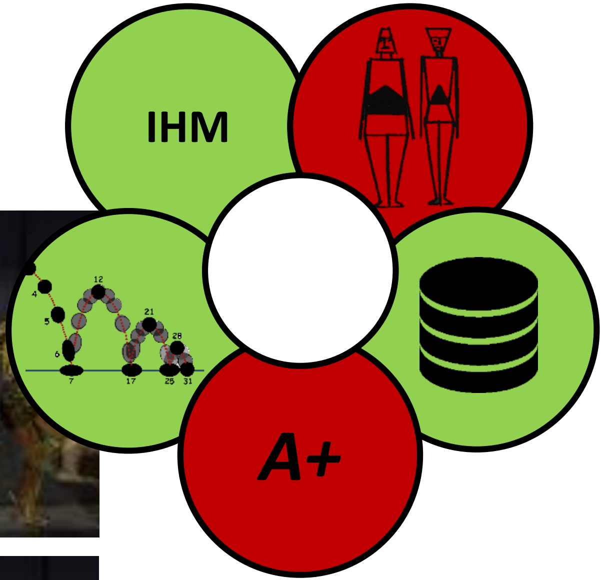




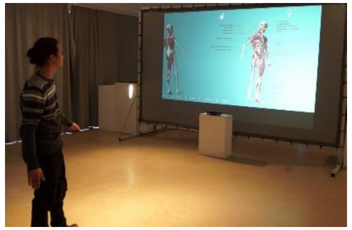
Anatomie Spiegel [Börner et collègues - 2015]

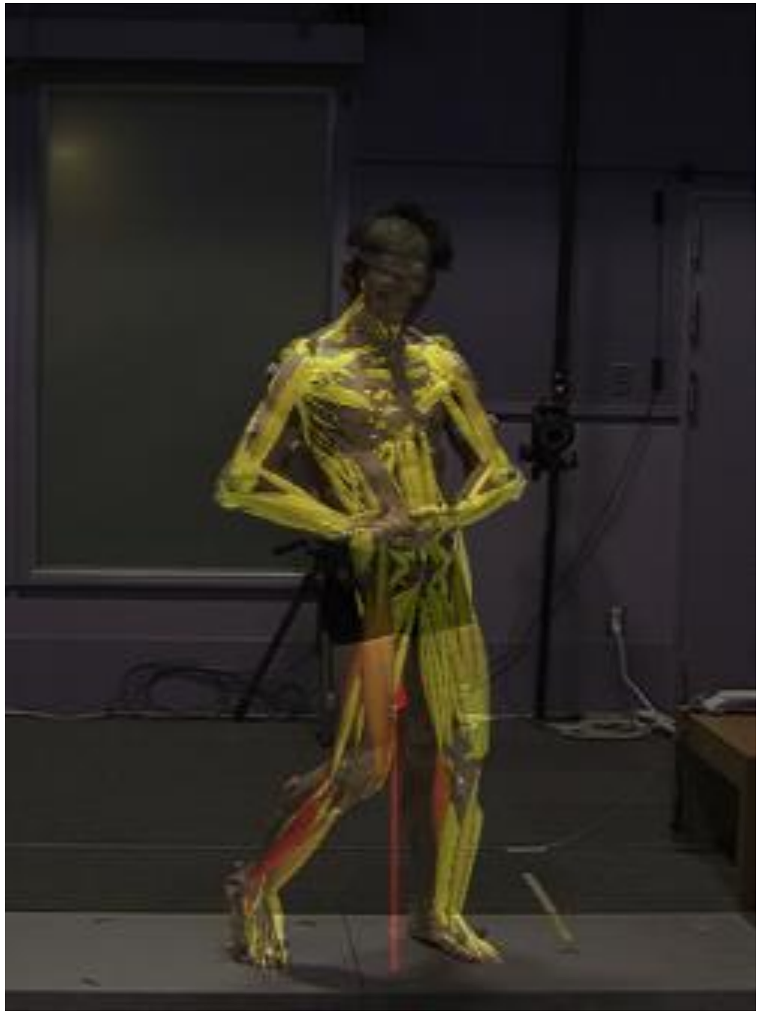


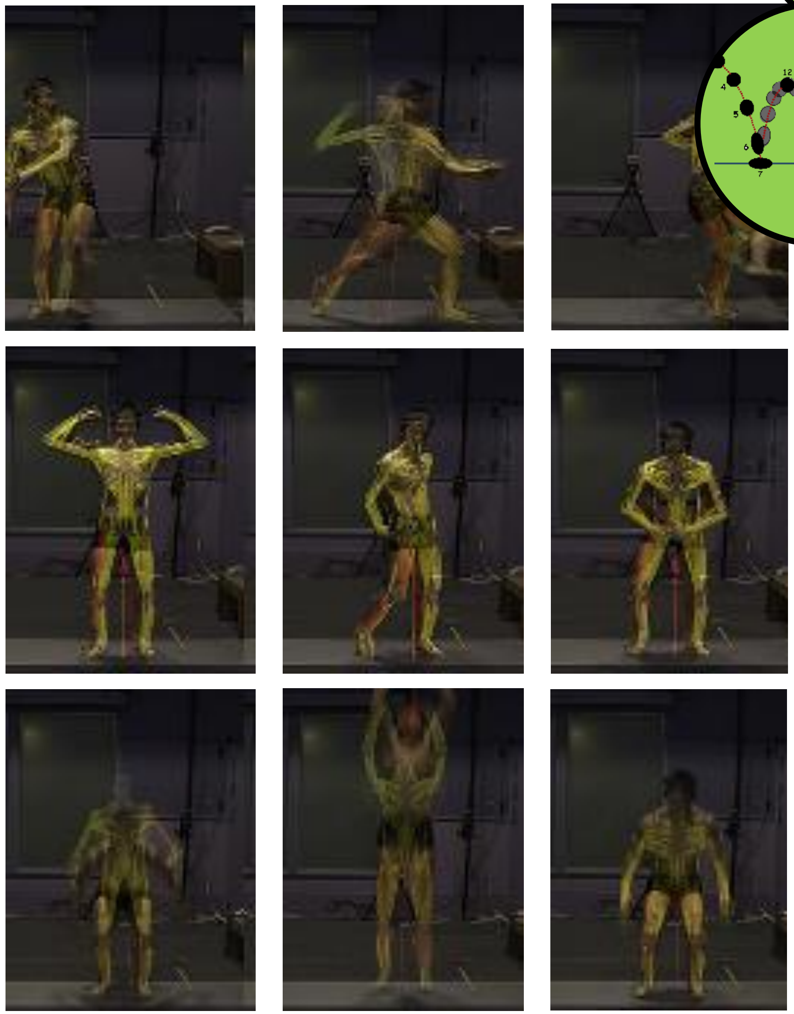


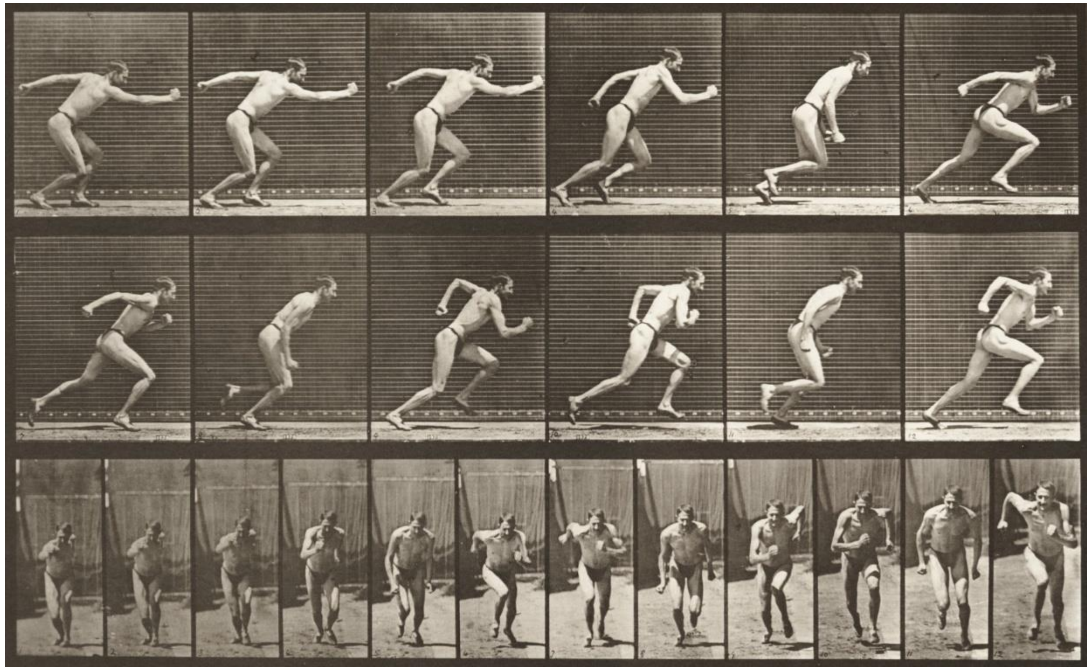


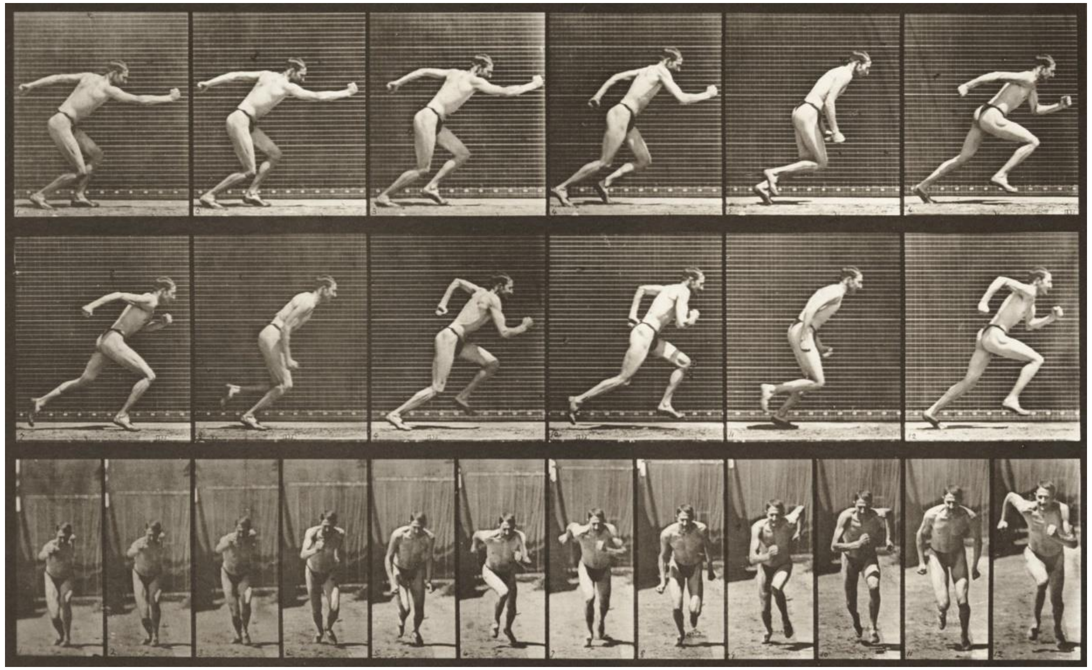
Musculoskeletal-see-through mirror [Murai et collègues - 2010]





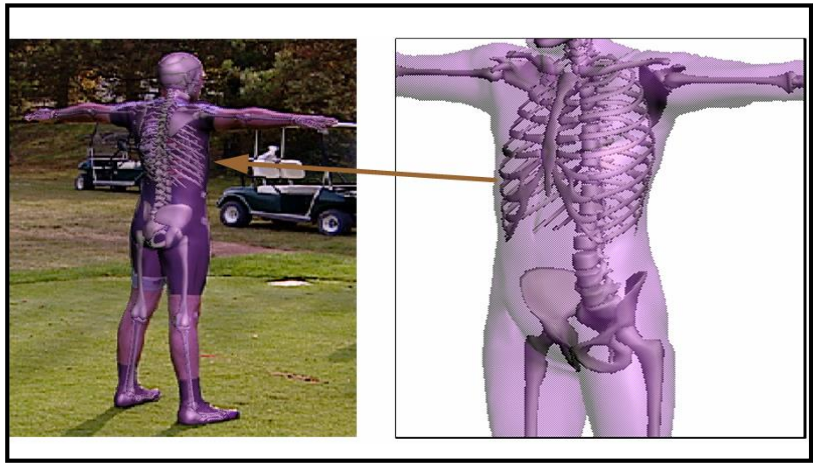




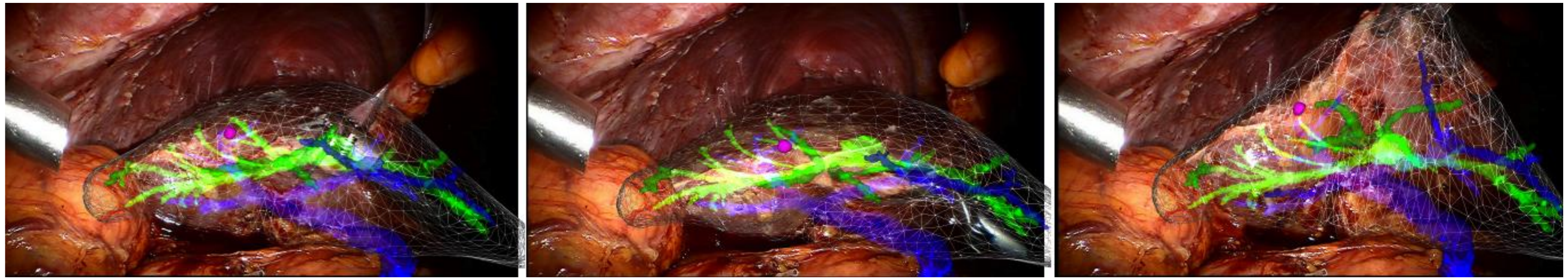


État de l'art : personnalisation d'une maquette anatomique

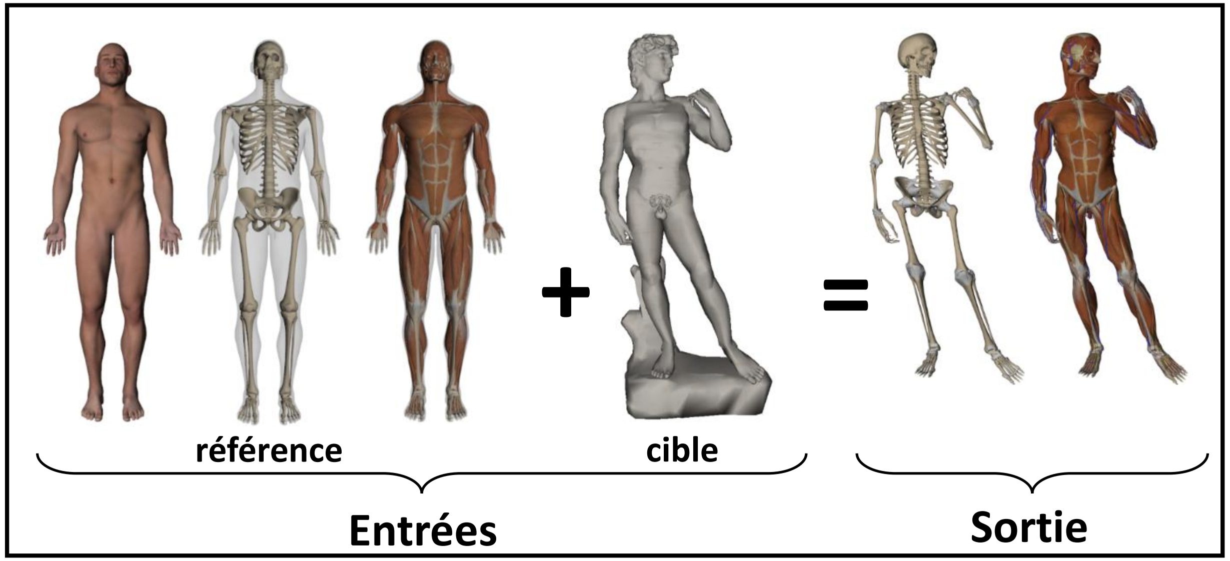
Quah et collègues [2005]



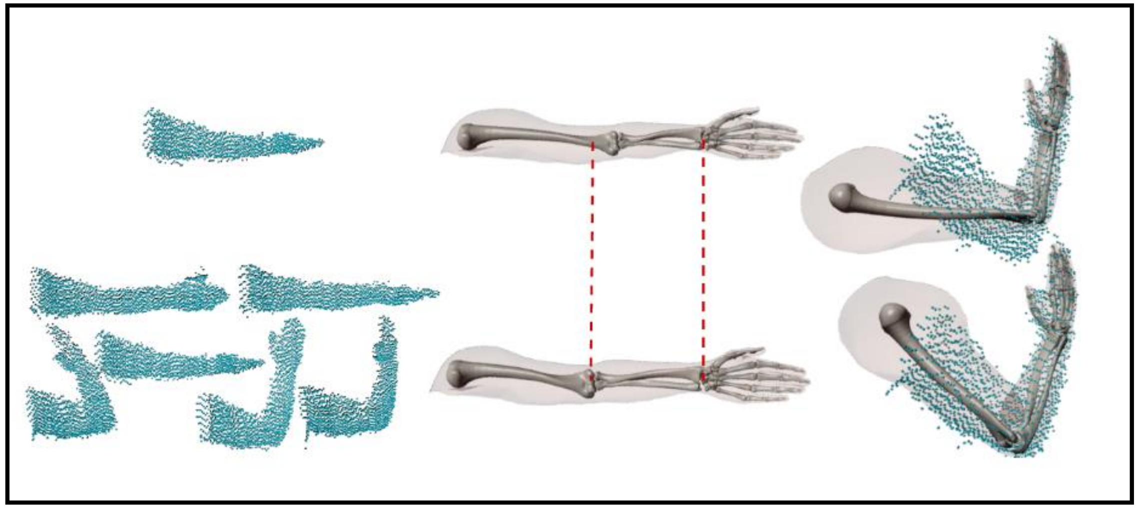
Haouchine et collègues [2013]



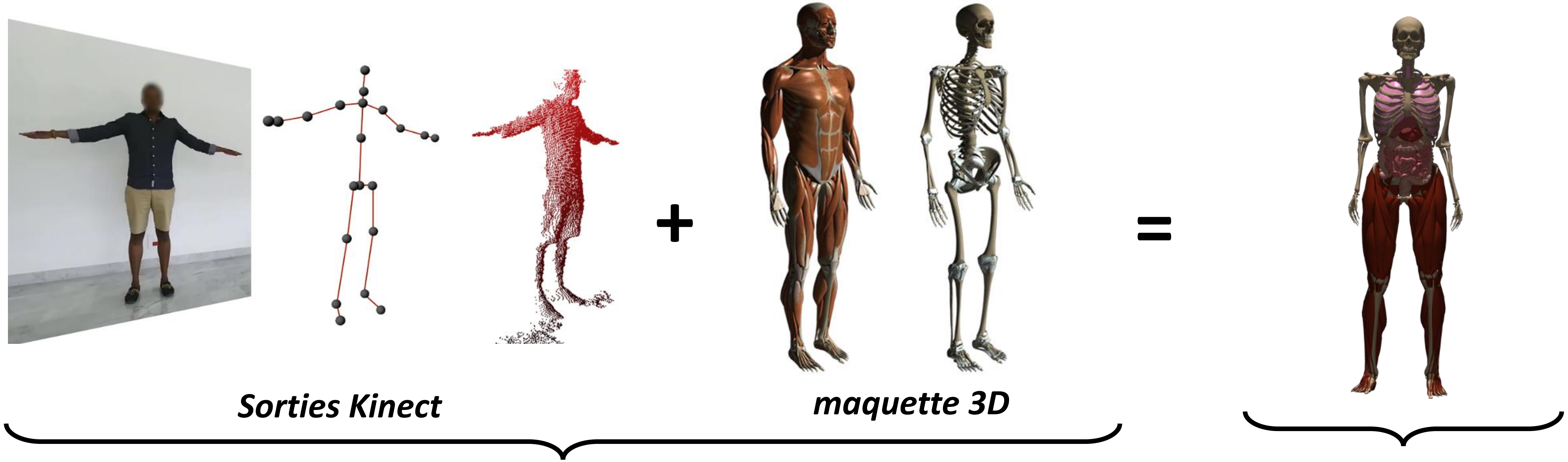
Anatomy Transfer - Dicko et collègues [2013]



Zhu et collègues [2015]



Notre approche, nos contraintes

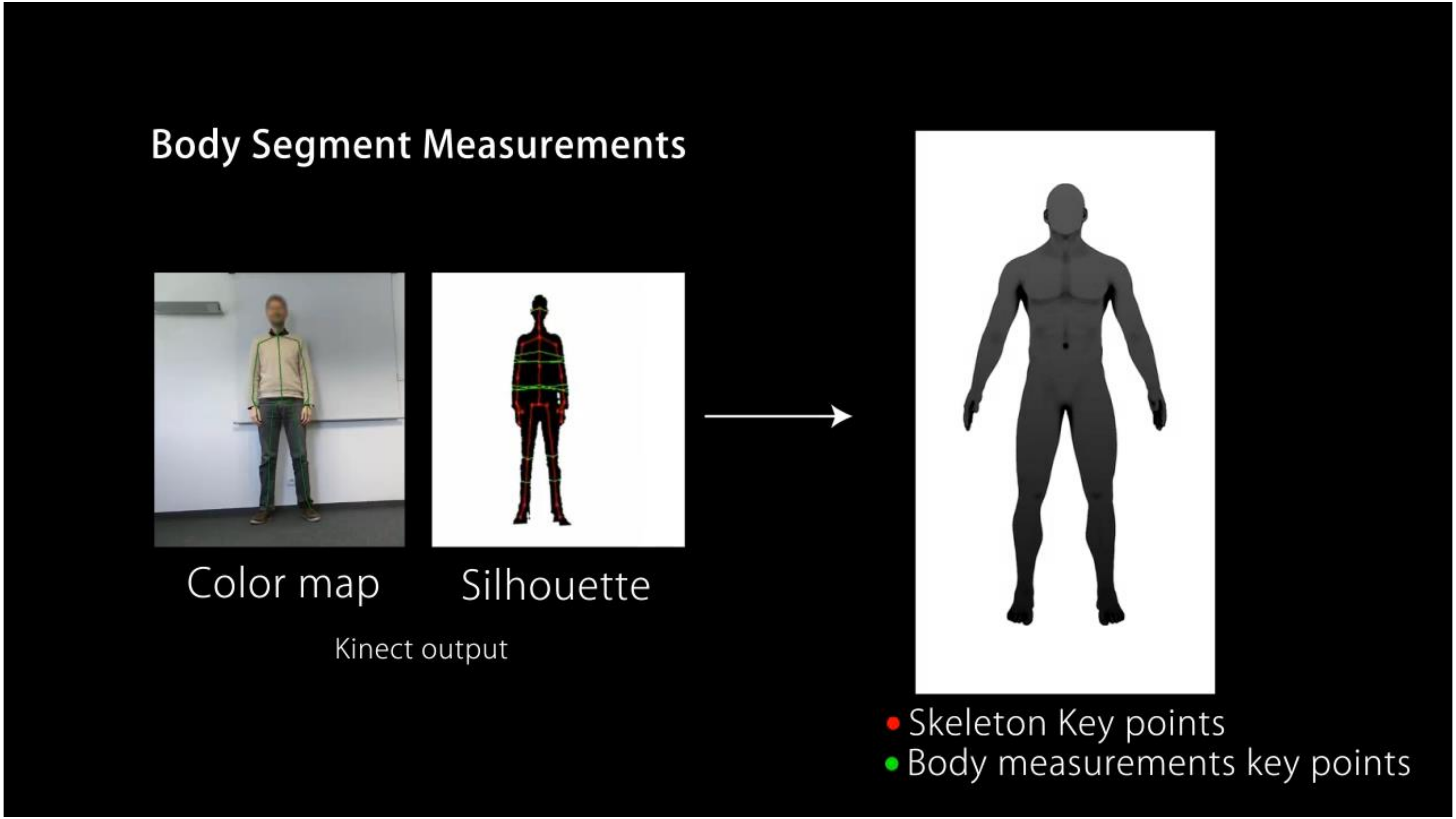


Critères de qualité :

- **R01**: garder les os long droits
- **R02**: garder la symétrie du corps
- **R03**: musculature proportionnelle à la corpulence
- **R04**: toutes les structures sont transférées
- **R05**: insertions musculaires préservées
- **R06**: déformation en fonction du type osseux
- **R07**: garder la cohérence des articulations

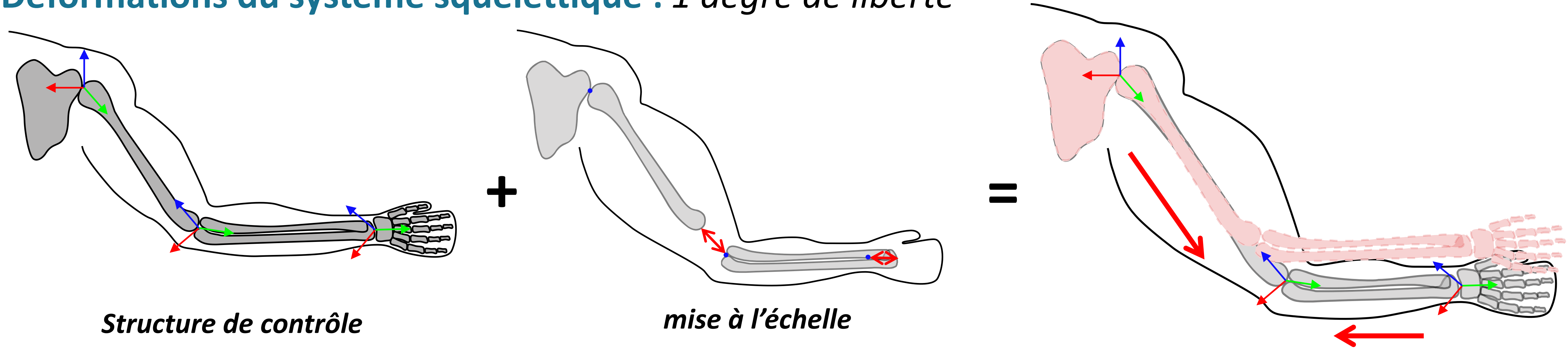
Morphotype de l'utilisateur : détermination de points spécifiques

PERSONNALISATION

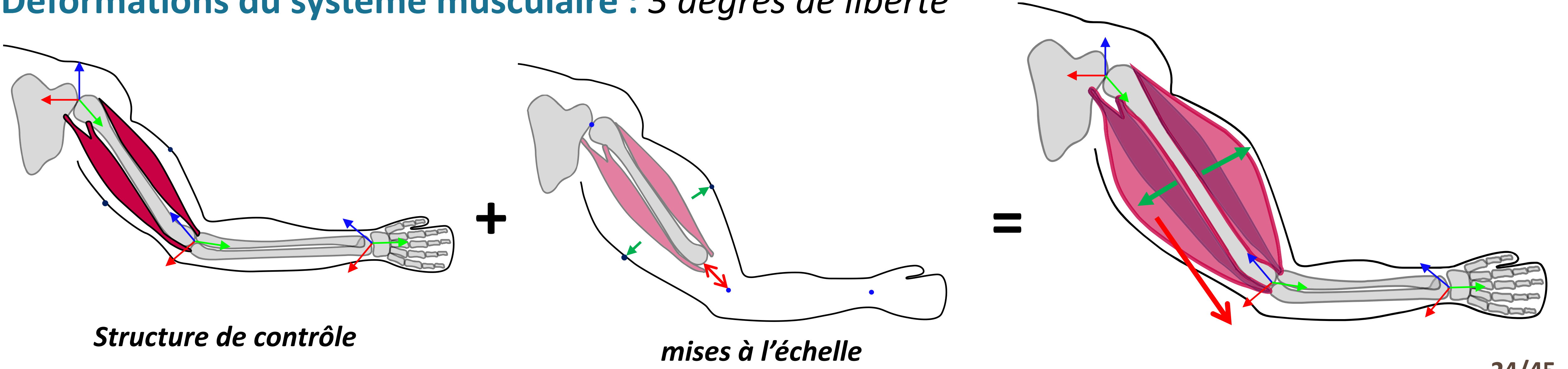


Première approche : recalage géométrique

Déformations du système squelettique : *1 degré de liberté*



Déformations du système musculaire : *3 degrés de liberté*



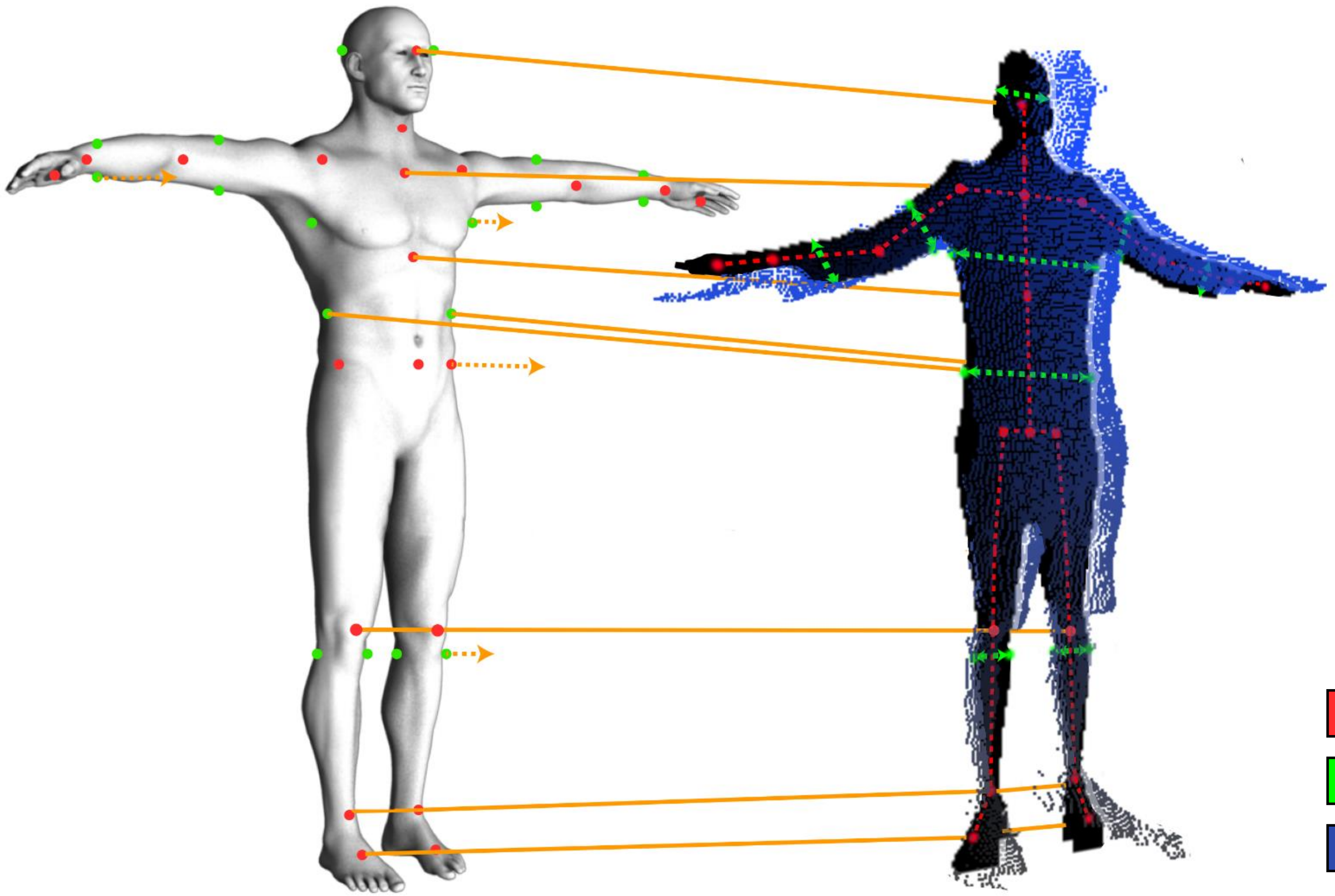
Seconde approche : recalage complexe

1
Recalage :
Enveloppe de peau

2
Recalage :
Système squelettique

3
Recalage :
Système musculaire

Recalage de l'enveloppe de peau



- Points articulations
- Points silhouette
- Nuage de points

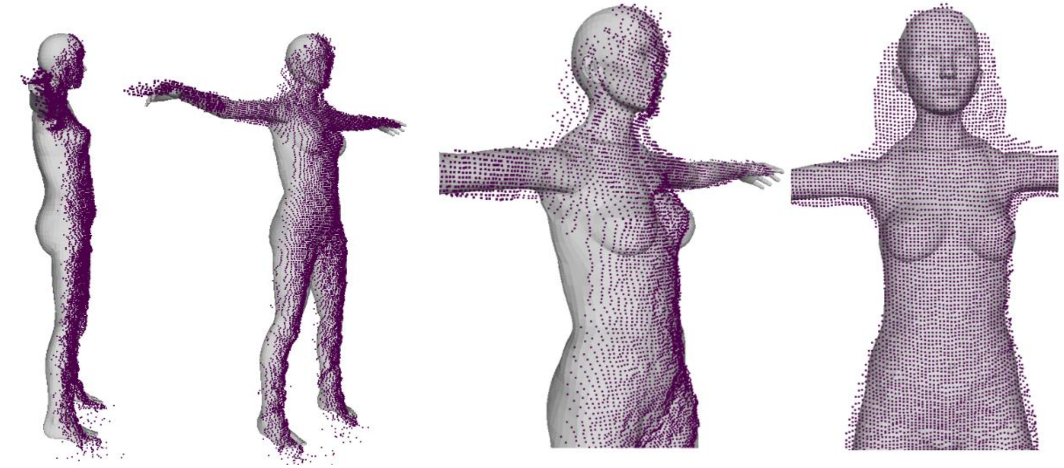
$$E_{skeleton} = \sum_{i=1}^{21} \frac{1}{2} K_{skeleton} d_i^2$$

$$E_{keypoint} = \sum_{i=1}^{18} \frac{1}{2} K_{keypoint} d_i^2$$

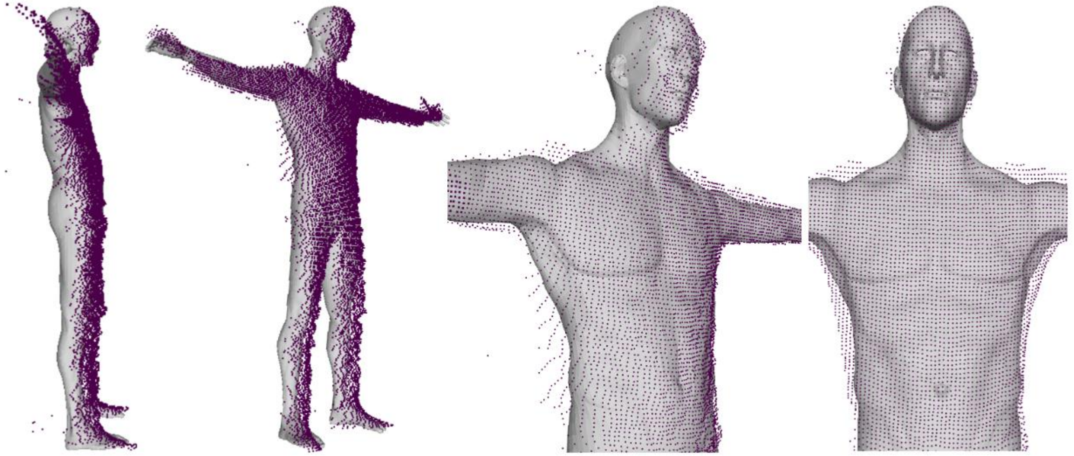
$$E_{cloudpoint} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{2} K_{cloudpoint} d_i^2$$

Résultats du recalage de l’enveloppe de peau

Robustesse inter-utilisateurs et intra-utilisateurs

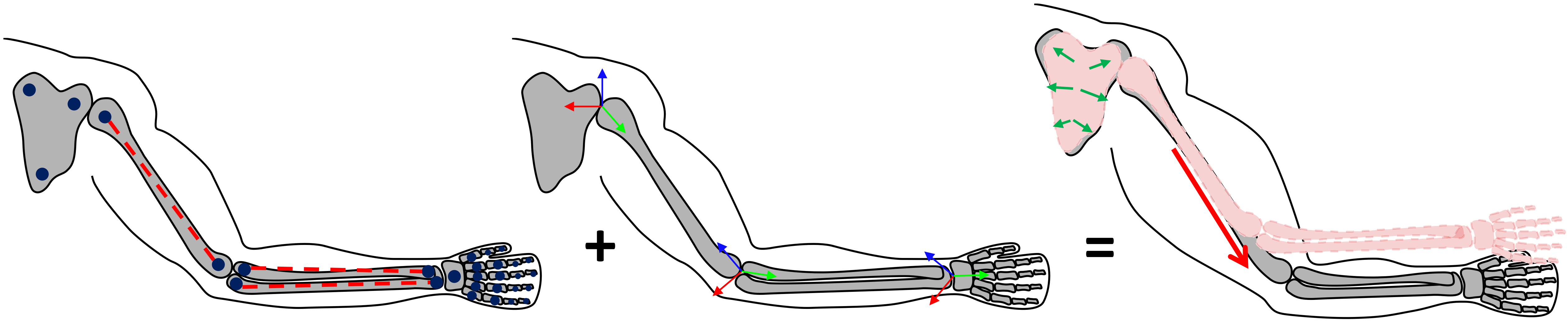


> female 1,55m



> male 1,85m

Recalage de l'anatomie interne

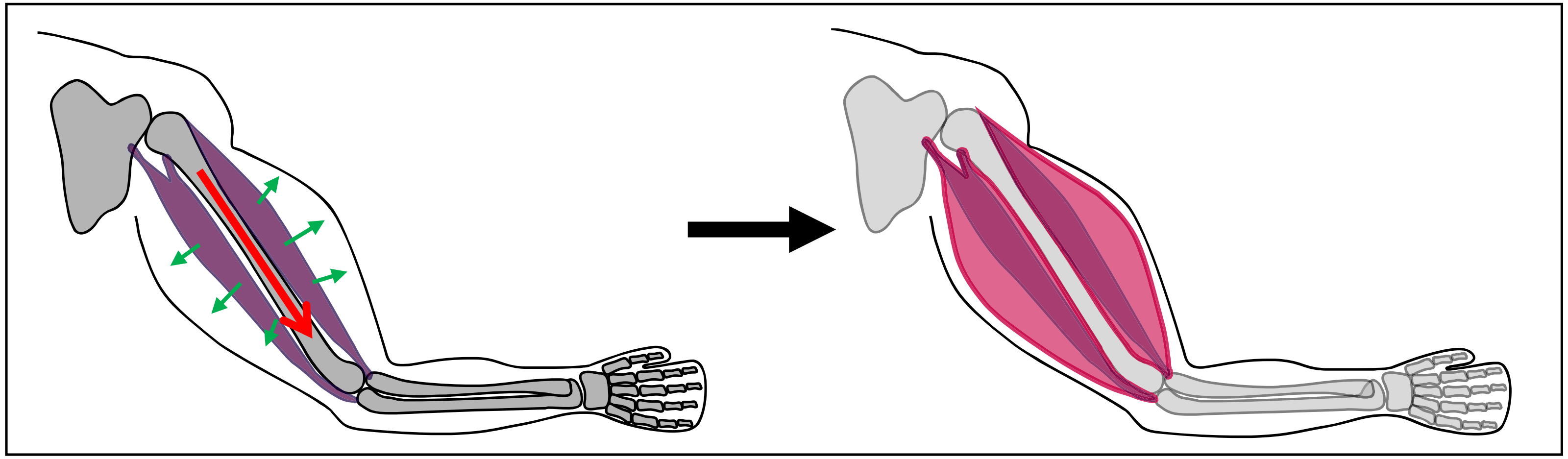


Différents types osseux :

- **Os court :** 1 repère
- **Os long :** 2 repères
- **Os plat :** 3 repères
- **Os irrégulier :** 3 à 4 repères
- **Crâne :** 5 repères

Contraintes des articulations :

- **Type articulaire** (*1, 2 ou 3 degrés de liberté*)
- **Butées articulaires** (*angles max et min*)



Validation des résultats

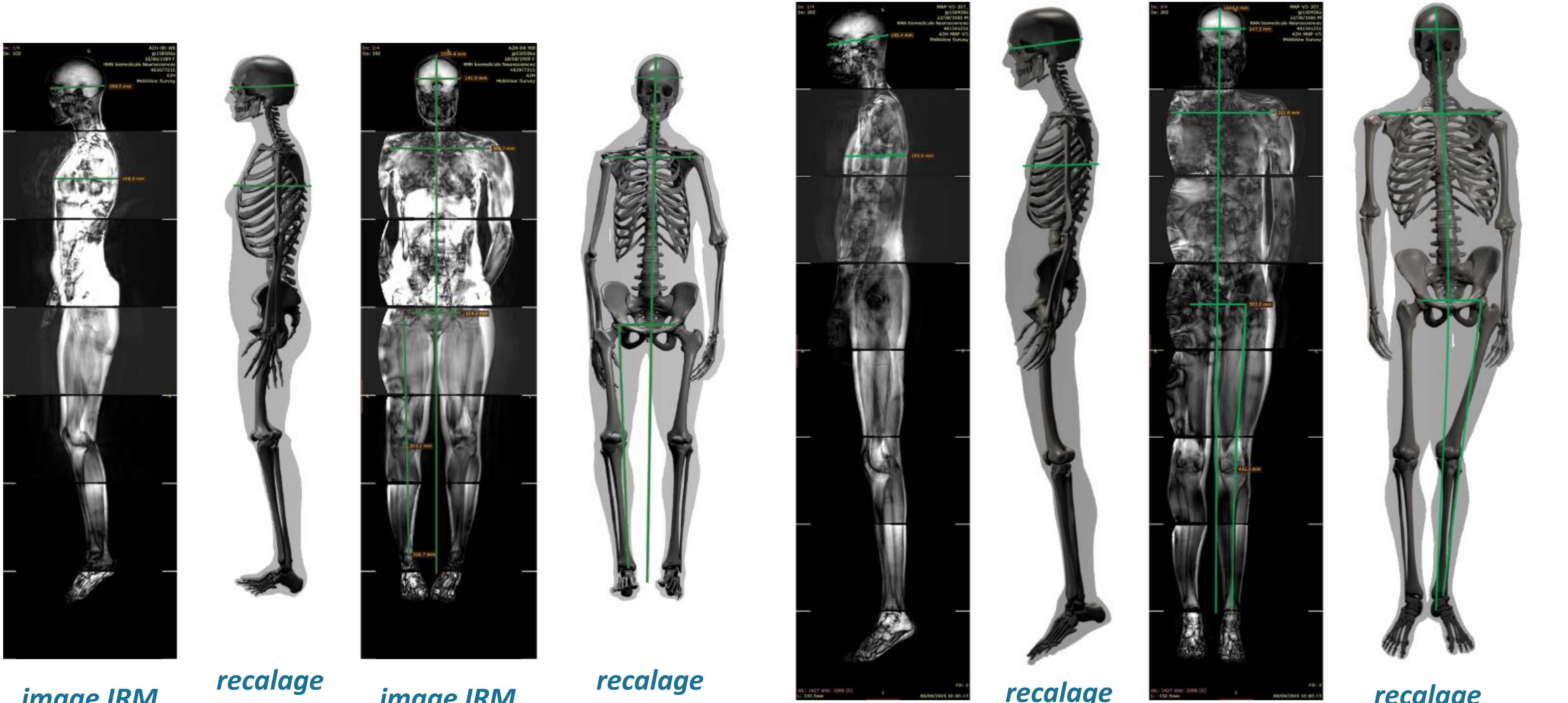
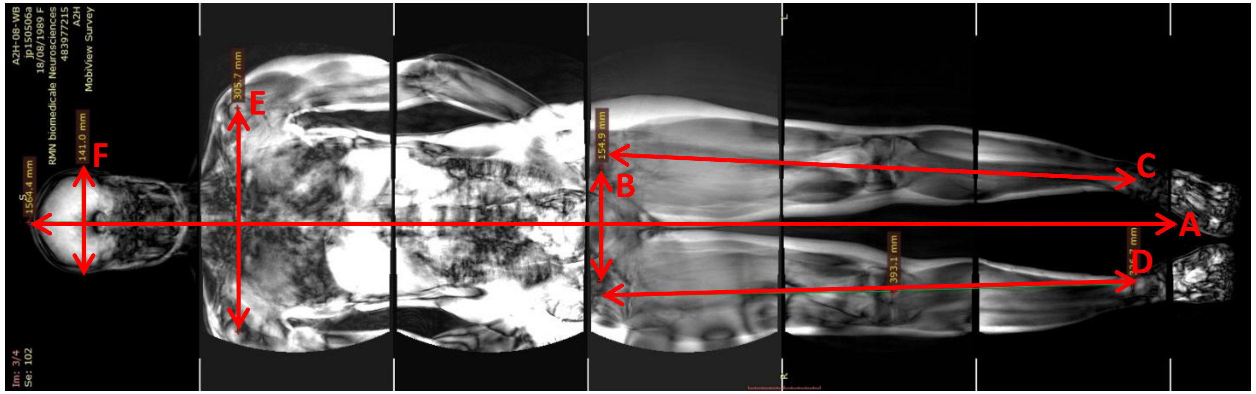


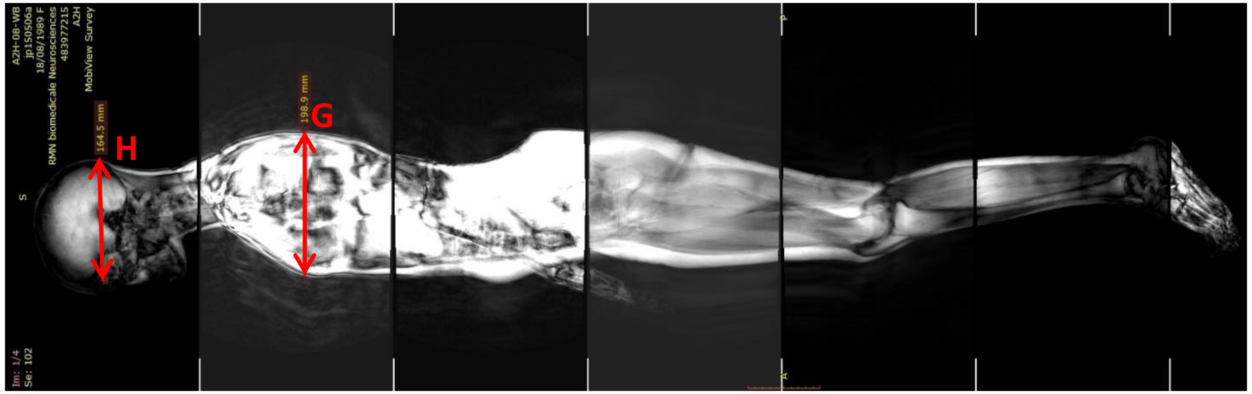
image IRM | recalage complexe | image IRM | recalage complexe

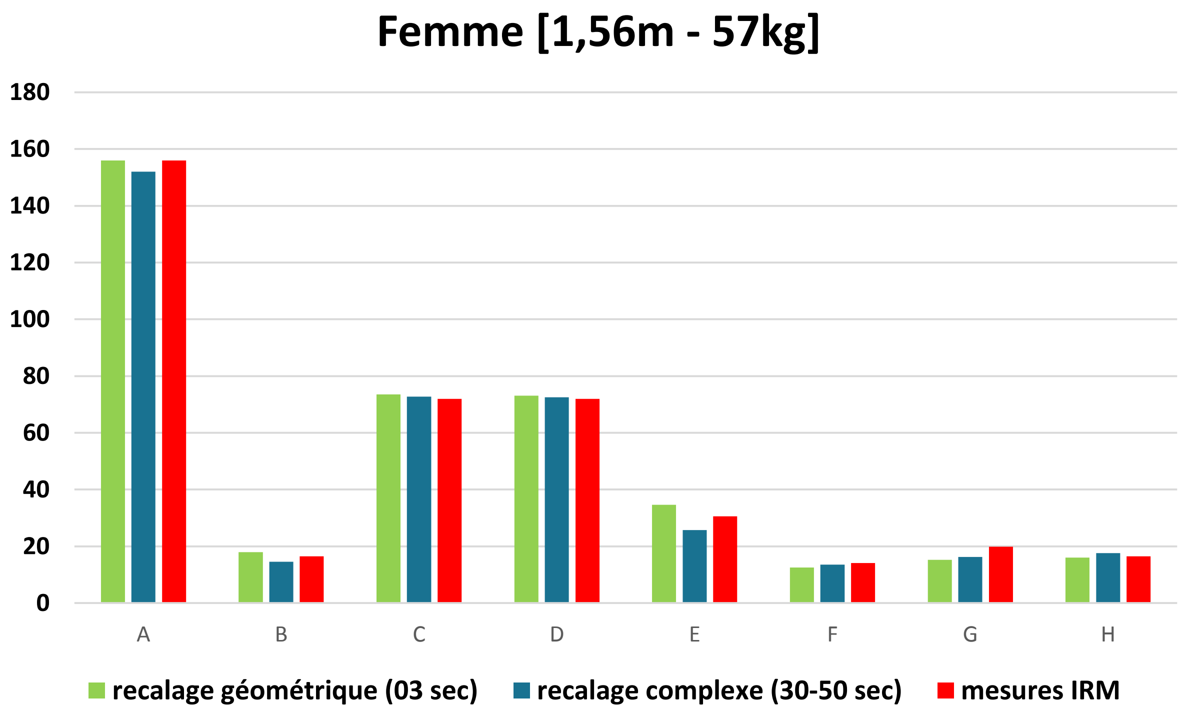
image IRM | recalage complexe | image IRM | recalage complexe

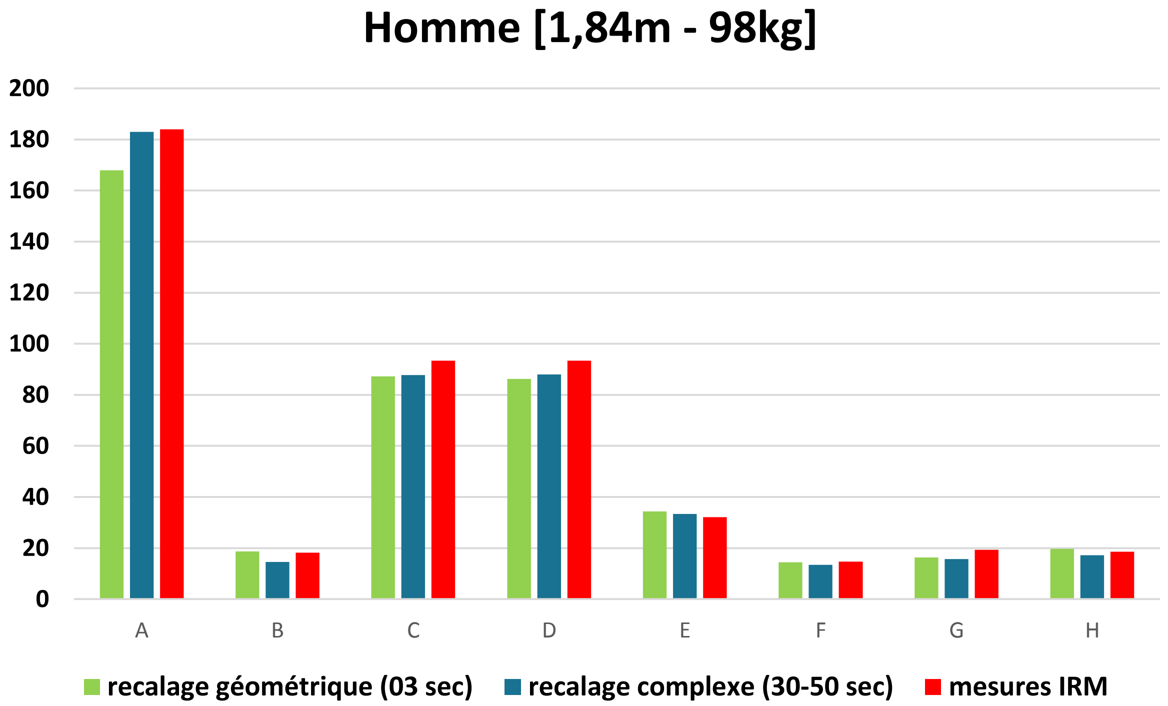
Femme 1,56m **Homme 1,84m**

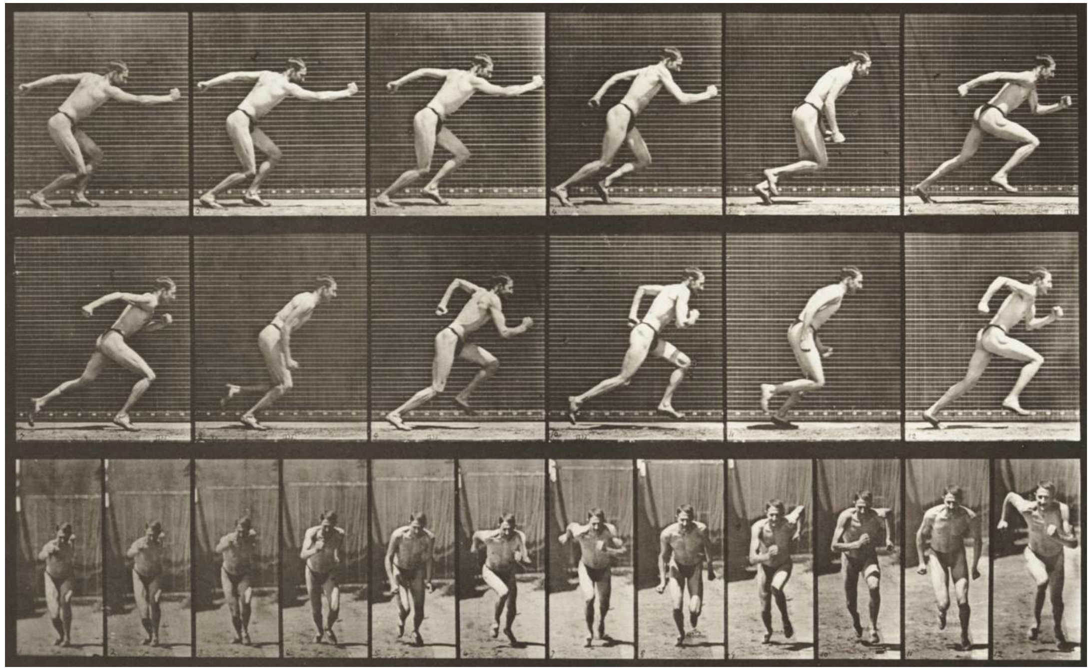
Validation des résultats : comparaison de 8 distances



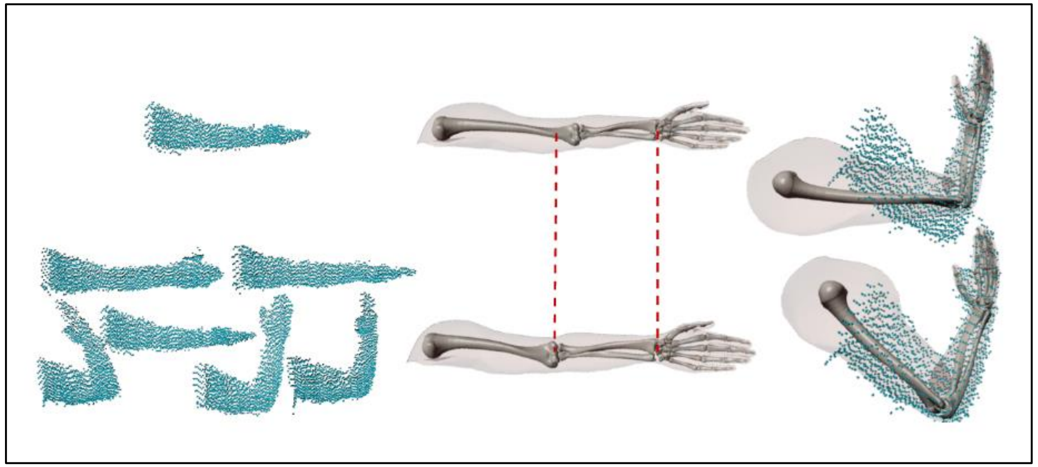




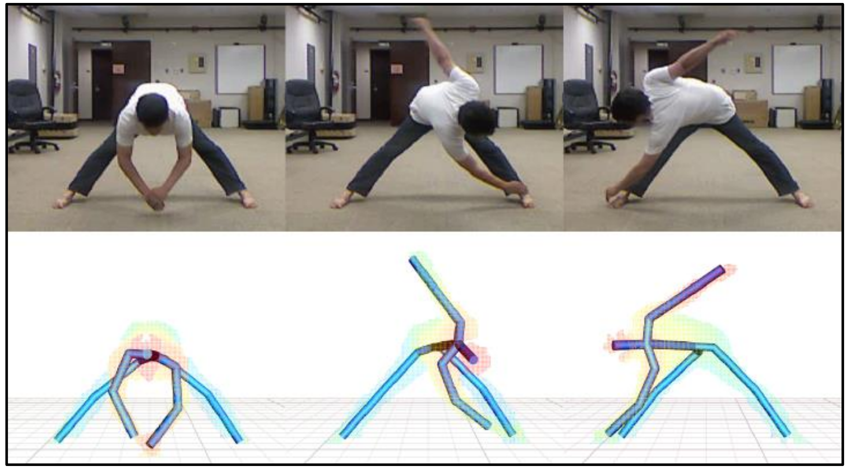




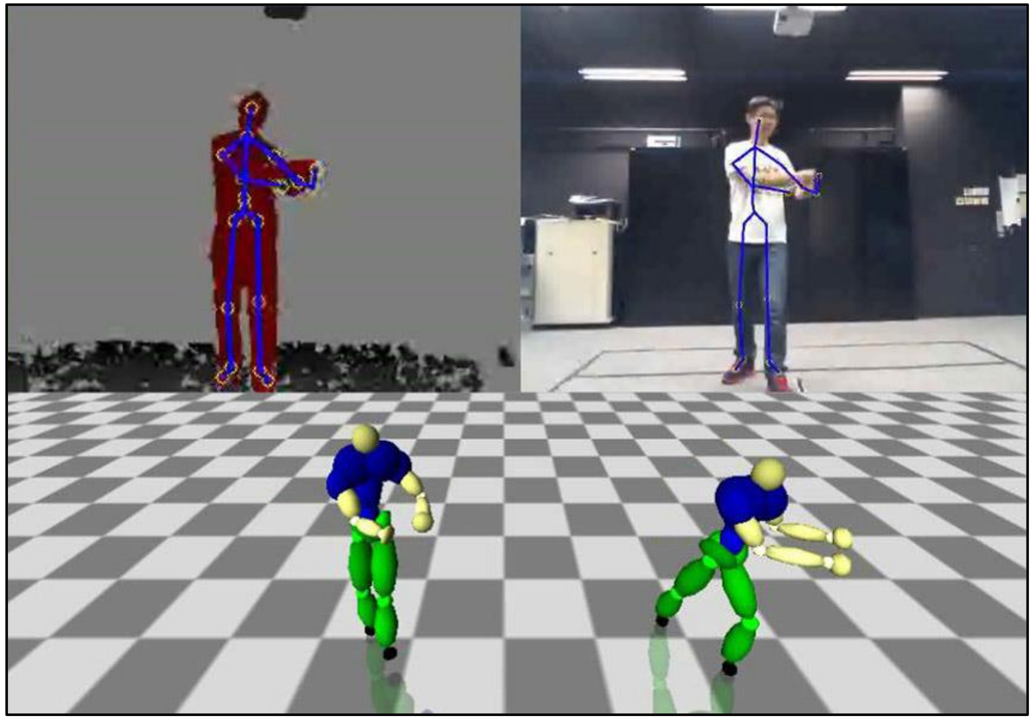
État de l'art : amélioration de la capture de mouvements



Zhu et collègues [2015]



Wei et collègues [2012]



Zhou et collègues [2014]

Capture de mouvements et restitution

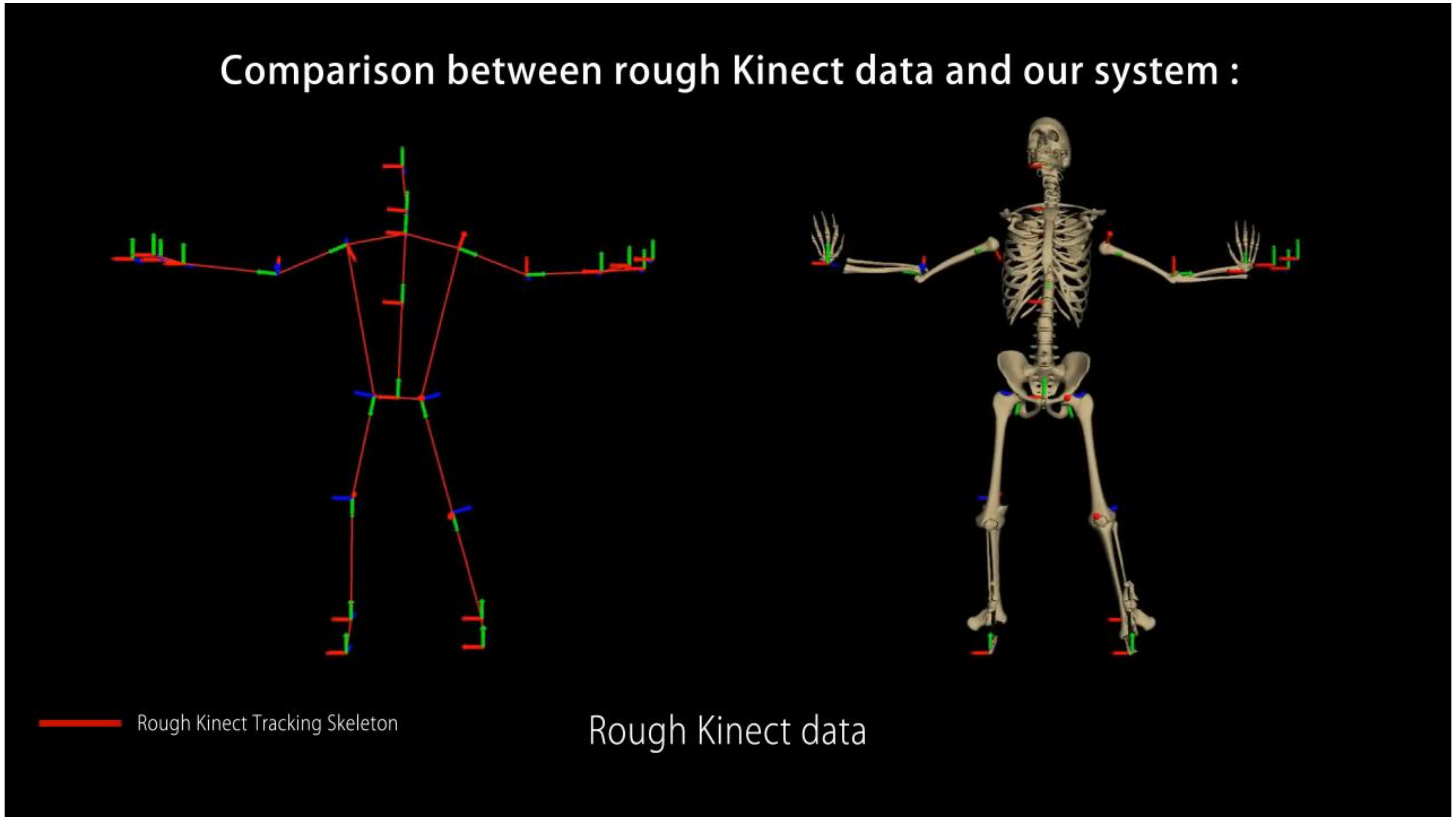
Input : **Body tracking skeleton**
(25 joints positions)

Smoothing of small tracking noise
(Kalman filter on positions)

Hierarchical body tracking system
(in-between joint distances)

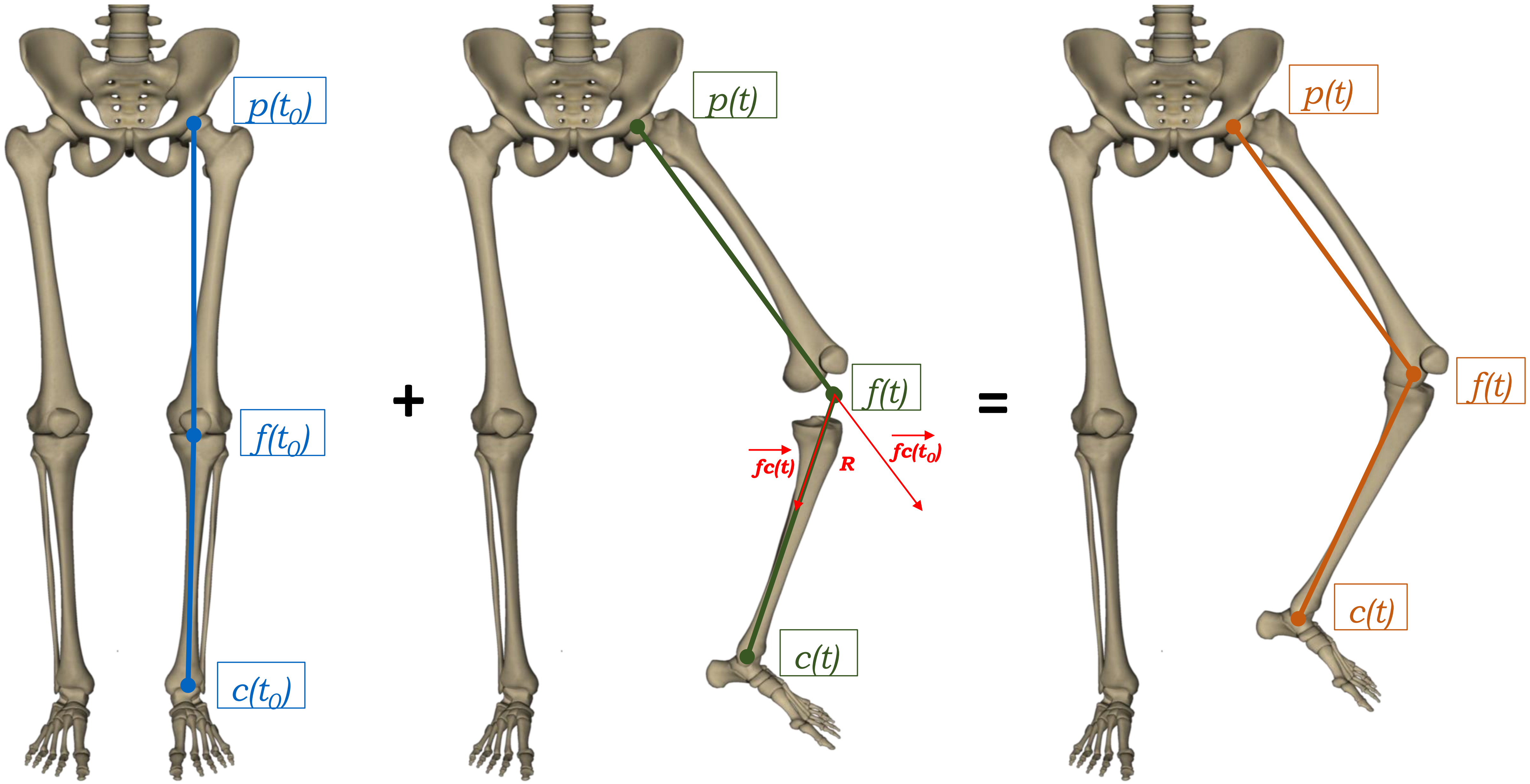
Anatomically contrained joint Orientations
(dofs and angle limits)

Output : **Realistic body tracking**
(body joints position and orientations)



Définition du squelette d'animation hiérarchique

CAPTURE

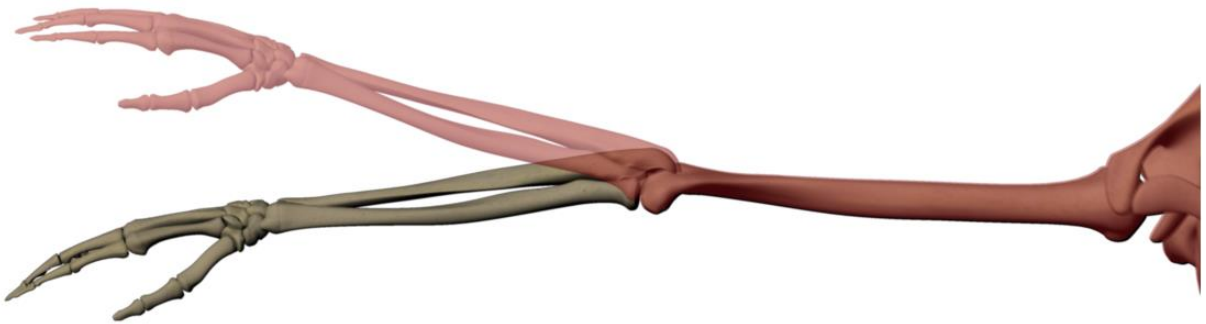


Squelette hiérarchique

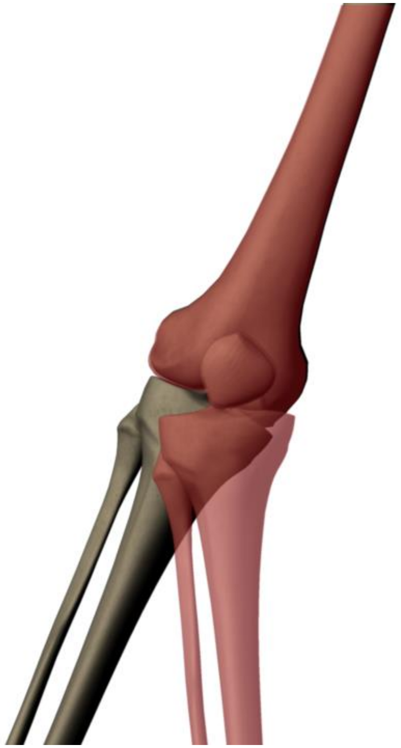
Données Kinect

Sortie

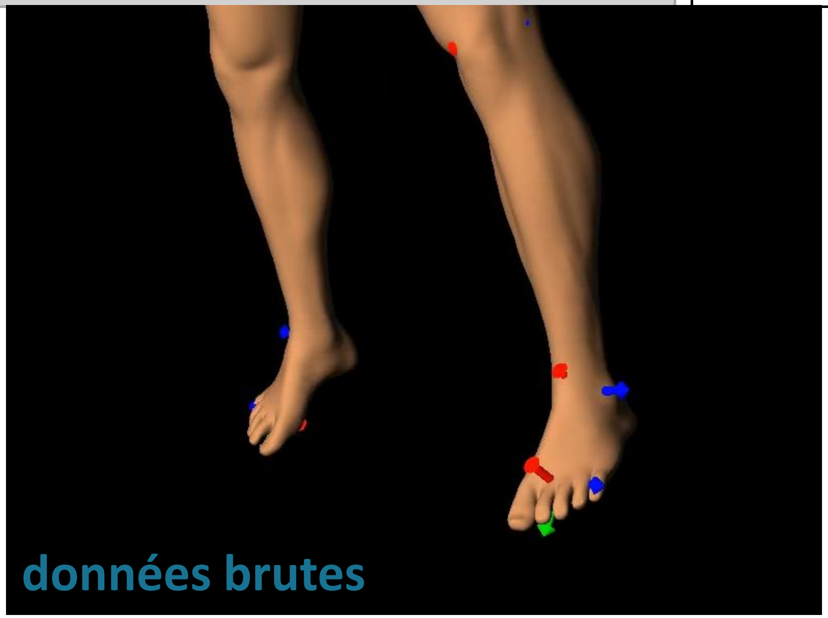
Correction « anatomique » des articulations



(coude) articulation kinect hors des limites angulaires



(genou) erreurs sur le type d'articulation (trop degrés de liberté)



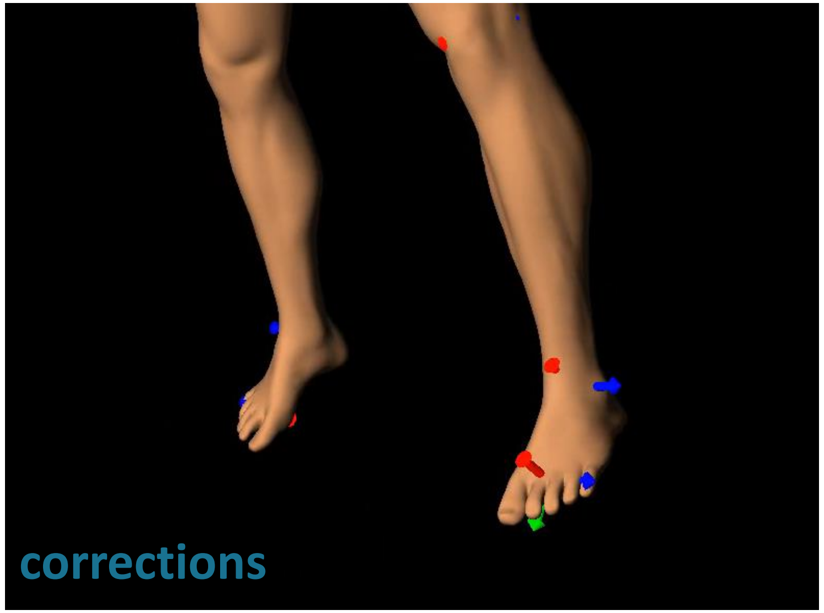
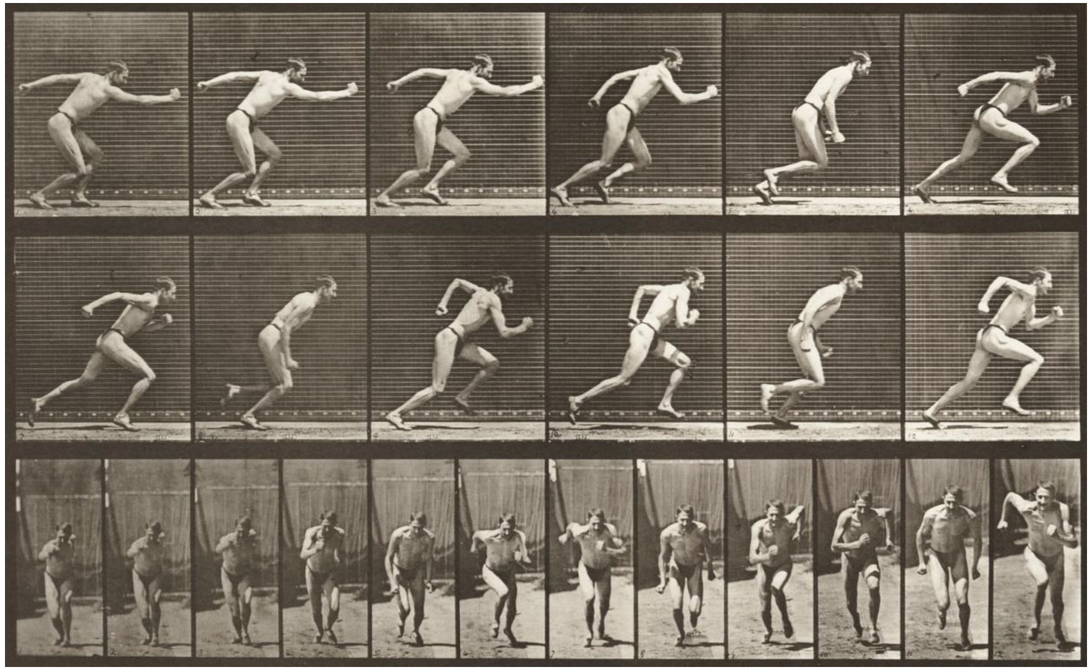


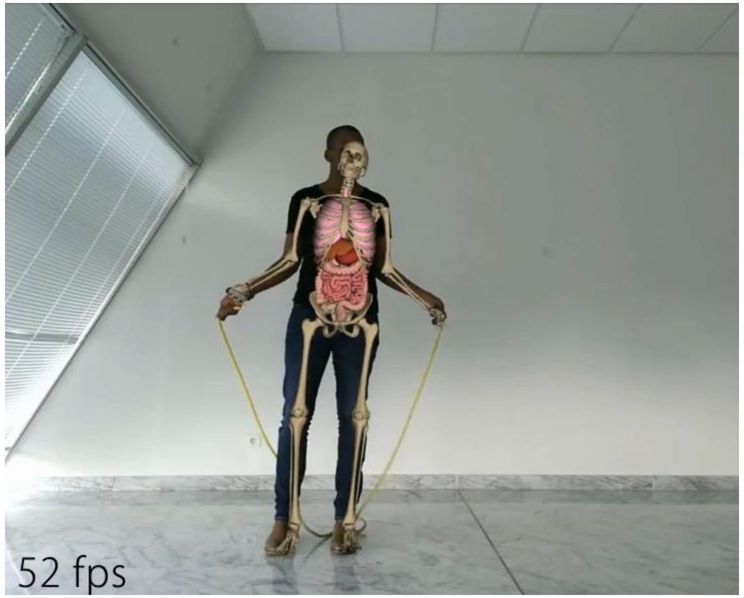
Table des matières



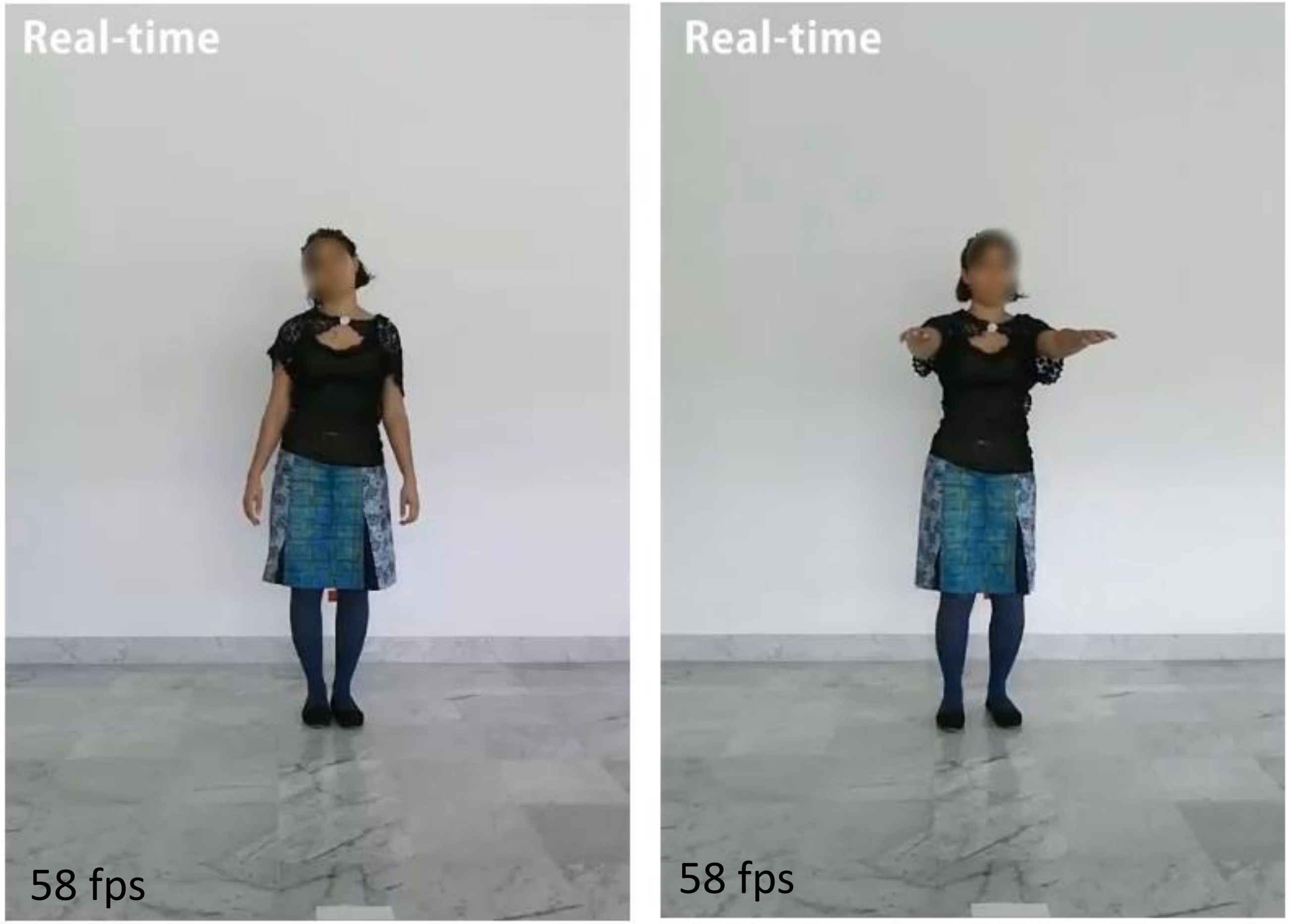
Setup de travail : matériel et technologies

Visualisation des résultats du LBA

> Flexions



> Fitness



> Visualisation de l'activité musculaire

Évaluation de la qualité du LBA : étude utilisateur

Critères de qualité d'un miroir interactif

- *(C01)* **Gamme des postures**
- *(C02)* **Gamme des orientations**
- *(C03)* **Amplitude des mouvements**
- *(C04)* **Fluidité et délai du mouvement**
- *(C05)* **Cohérence du mouvement**
- *(C06)* **Plausibilité du mouvement**

Groupe d'étude

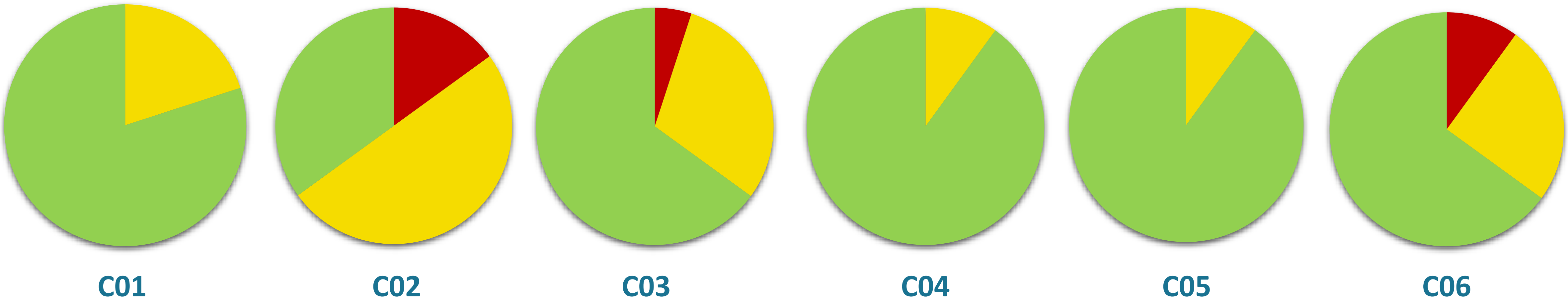
13 hommes

- 24 à 54 ans
- 173 à 191 cm
- 73 à 104 kg

7 femmes

- 22 à 44 ans
- 153 à 173 cm
- 55 à 75 kg

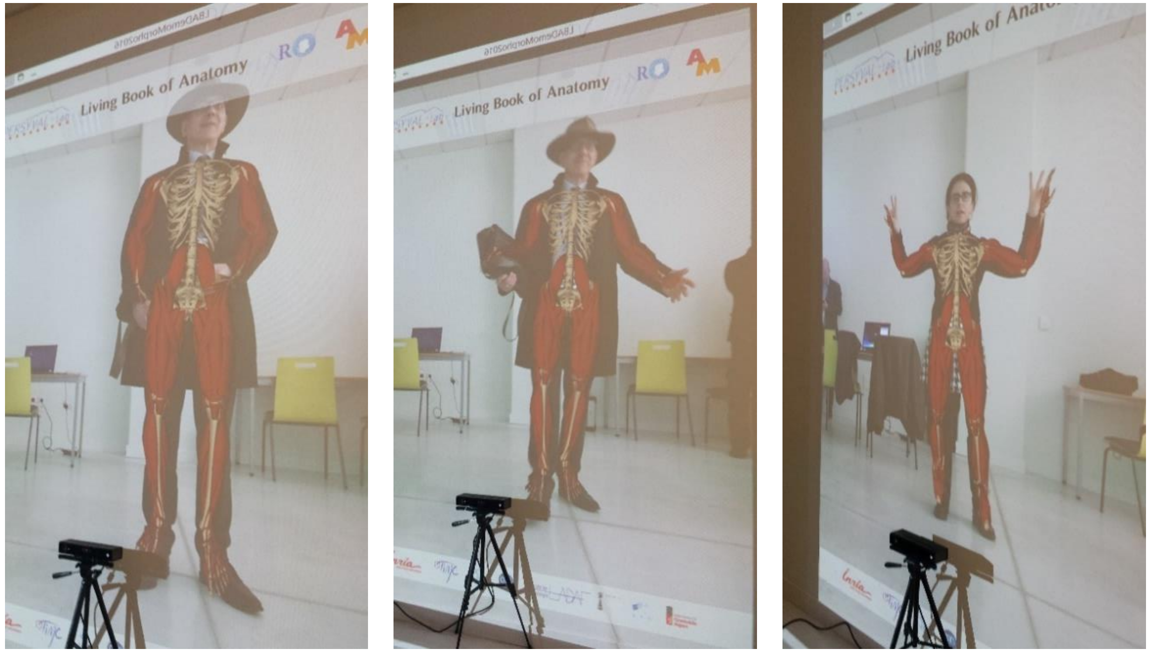
mauvais — moyen — bon



Présentations du LBA lors de salons et conférences

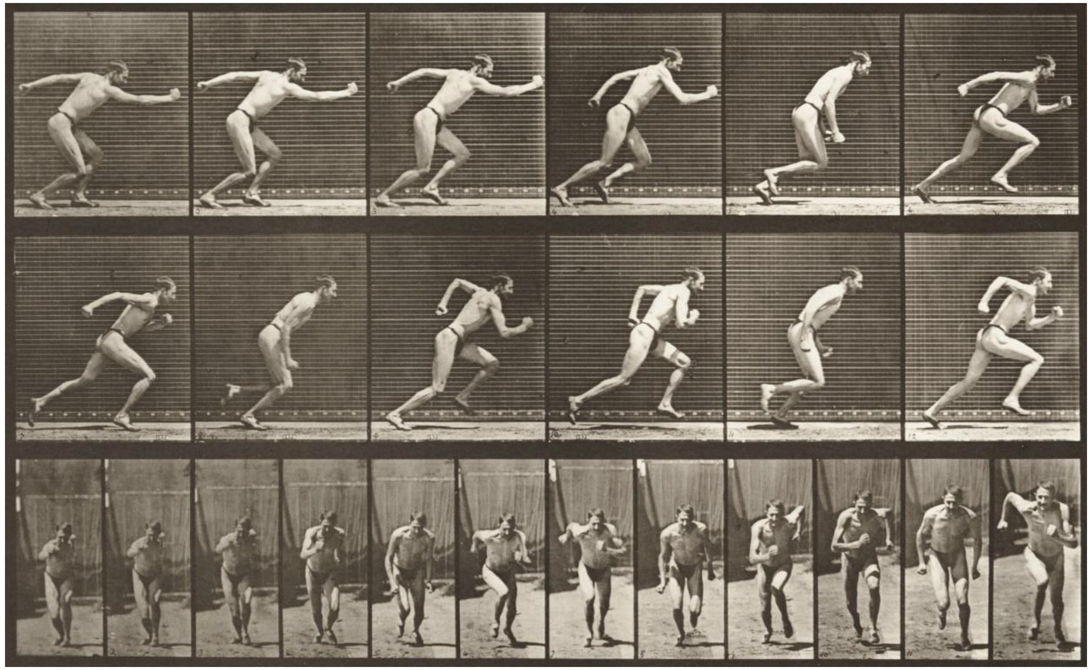
Emerging Technologies – Siggraph Asia (novembre 2015)

Consumer Electronics Show (janvier 2016)



Congrès des morphologistes (mars 2016)

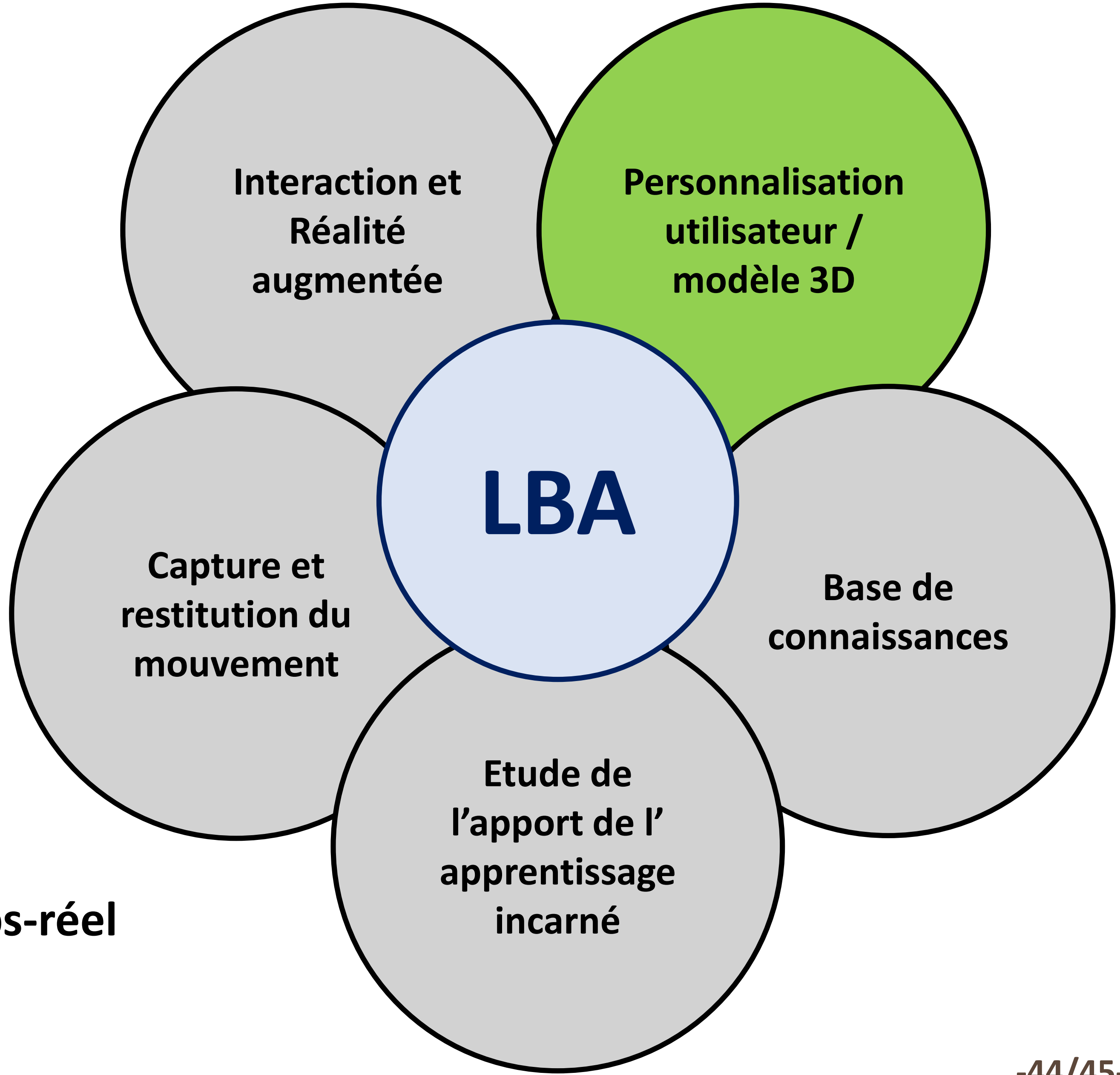
Showroom Inria Rhône-Alpes (automne 2016)



Récapitulatif : personnalisation de la maquette anatomique

Récapitulatif :
- **2 méthodes**
- **Résultats similaires**
- **Temps-reel ou temps interactif**
- **Proche de la vérité terrain (IRM)**

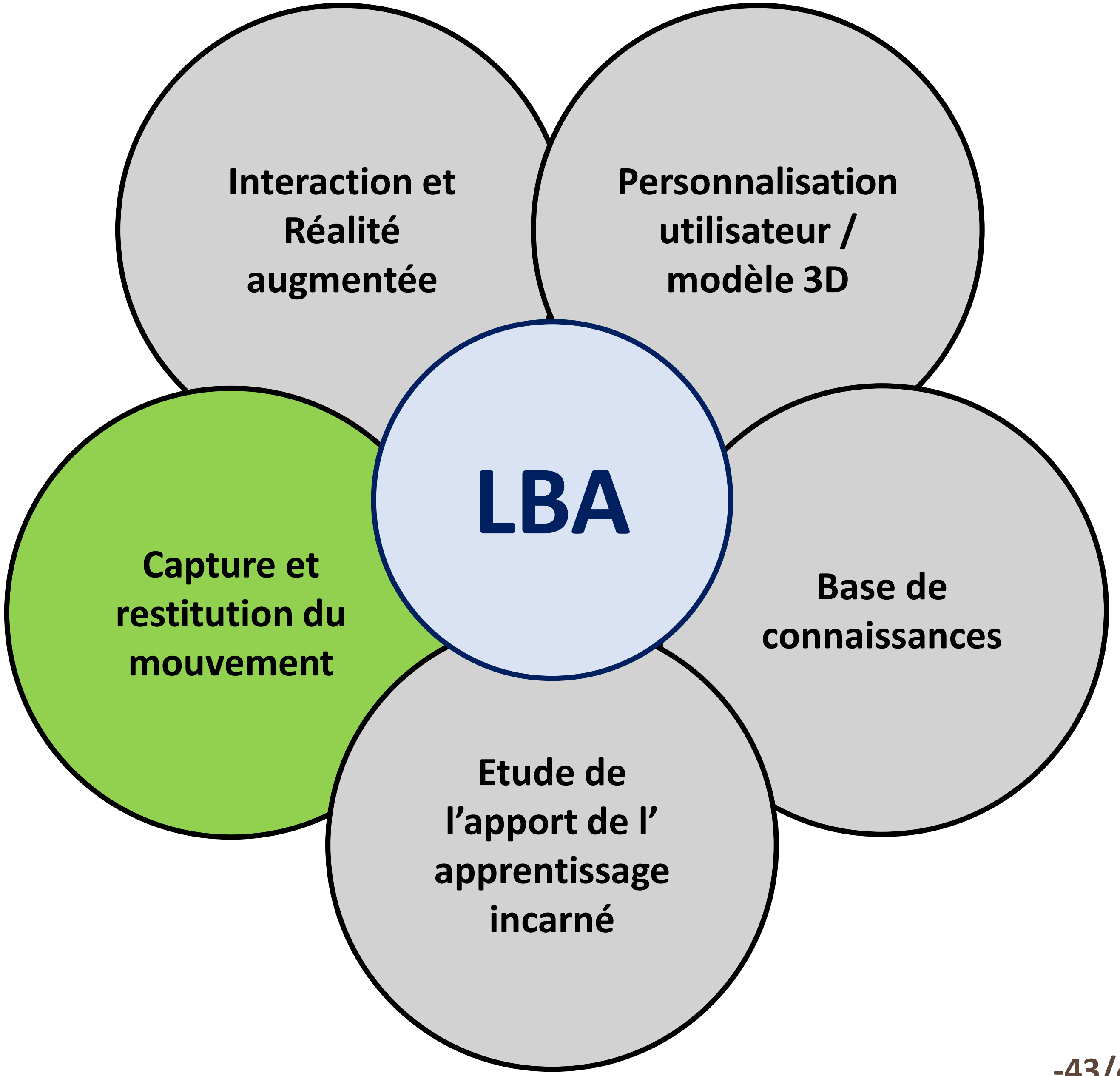
Améliorations possibles :
- **Version hybride : recalage complexe en temps-réel**
- **Prendre en compte les tissus adipeux**



Conclusion sur la restitution de mouvements

Récapitulatif :
- Respect des limites articulaires
- Cohérence longueur des segments
- Capture et restitution temps-réel

Améliorations possibles :
- Combiner plusieurs vues du système
- Système articulaire pseudo-physique
- Base de données de mouvements



Conclusion et discussion

Objectifs :

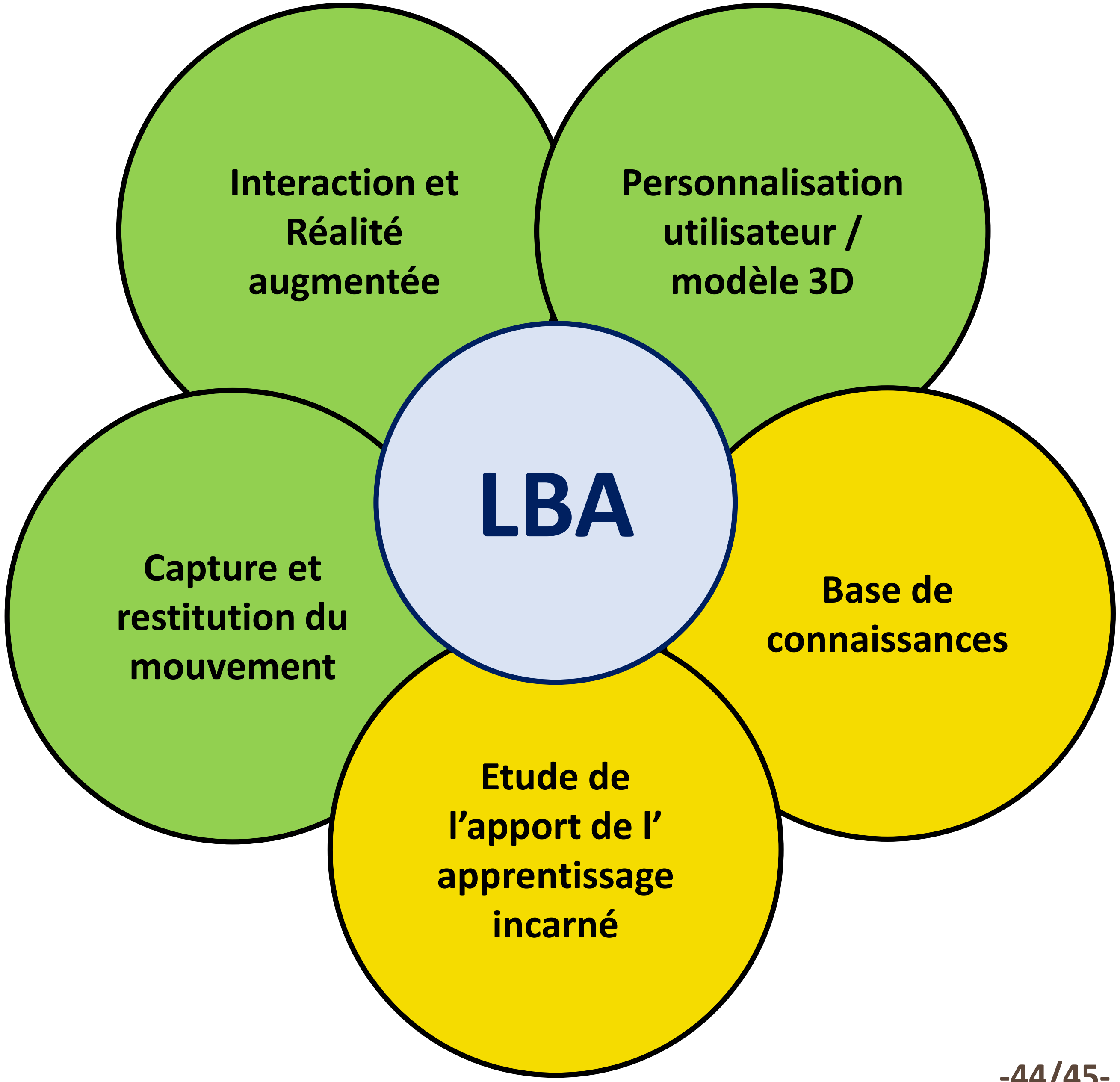
- Temps-réel ou interactif
- Capteurs de mouvements légers
- Utilisation « grand public »

Contributions :

- Personnalisation de la maquette
- Restitution des mouvements
- Visualisation des connaissances

Suite :

- Collaboration avec UBC
- Projet ANR **AN@TOMY2020** (3ans)



Liste des publications!!!

Bouger son corps pour apprendre l'anatomie
Armelle Bauer, Ali-Hamadi Dicko, François Faure, Olivier Palombi, Laurence Nigay, Amélie Rochet-Capellan, Jocelyne Troccaz
Workshop « IHM pour formation » - journées francophones d'IHM 2016

Anatomical Mirroring : Real-time User-specific Anatomy in Motion Using a Commodity Depth Camera
Armelle Bauer, Ali-Hamadi Dicko, François Faure, Olivier Palombi, Jocelyne Troccaz
Motion in Games 2016

L'anatomie virtuelle au service de l'apprentissage
Armelle Bauer, Jocelyne Troccaz, François Faure, Olivier Palombi
Association des Morphologistes (98e congrès annuel) – 2016

Living Book of Anatomy (LBA) Project : See your Insides in Motion!
Bauer Armelle, Dicko Ali-Hamadi, Palombi Olivier, Faure François, Troccaz Jocelyne
Siggraph Asia 2015 Emerging Technologies

Interactive Visualization of Muscle Activity During Limb Movements *: Towards Enhanced Anatomy Learning*
Armelle Bauer, Florent Paclet, Violaine Cahouet, Ali-Hamadi Dicko, Olivier Palombi, François Faure, Jocelyne Troccaz
Eurographics Workshop VCBM, 2014

MyCorporisFabrica : Making Anatomy Easy
Armelle Bauer, Federico Ulliana, Ali-Hamadi Dicko, Benjamin Gilles, Olivier Palombi, François Faure
Siggraph Studio Talks, 2014 Aug