

# ANALYSE, INTERPRÉTATION ET RECONNAISSANCE DE GESTES (AIR)

Master 2 SIF

Richard Kulpa

2017/2018

# CONTEXTE

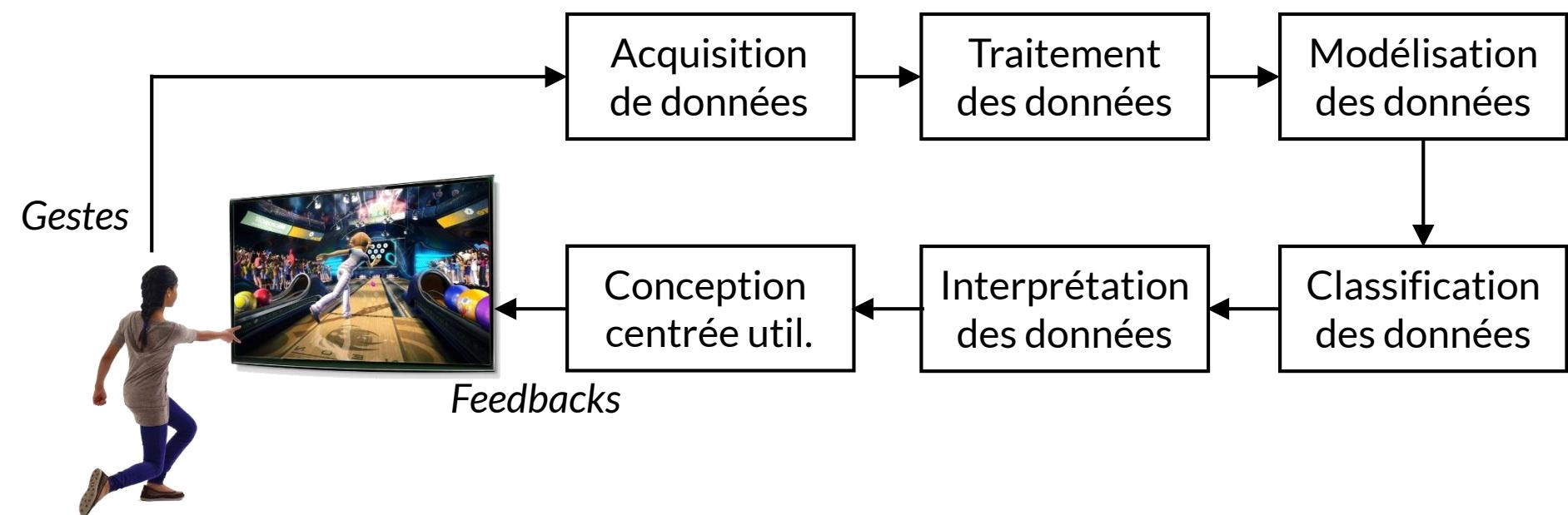
---

- Objectif général
  - Interactions homme-machine
  - Pas basées vision mais sur le mouvement humain
    - 2D (écriture sur écran tactile)
    - 3D (geste corporel)
    - Musculaire (contraction)
    - Force / pression
- Cours présentant un travail pluridisciplinaire
  - Biomécanique/animation
  - Classification/reconnaissance de gestes
  - Psychologie expérimentale

# CONTEXTE

## ■ Objectif

- Lien entre ces approches
- Vision complète d'une chaîne de traitement depuis l'acquisition des signaux jusqu'au retour utilisateur.



# POURQUOI JE SUIS LÀ

---

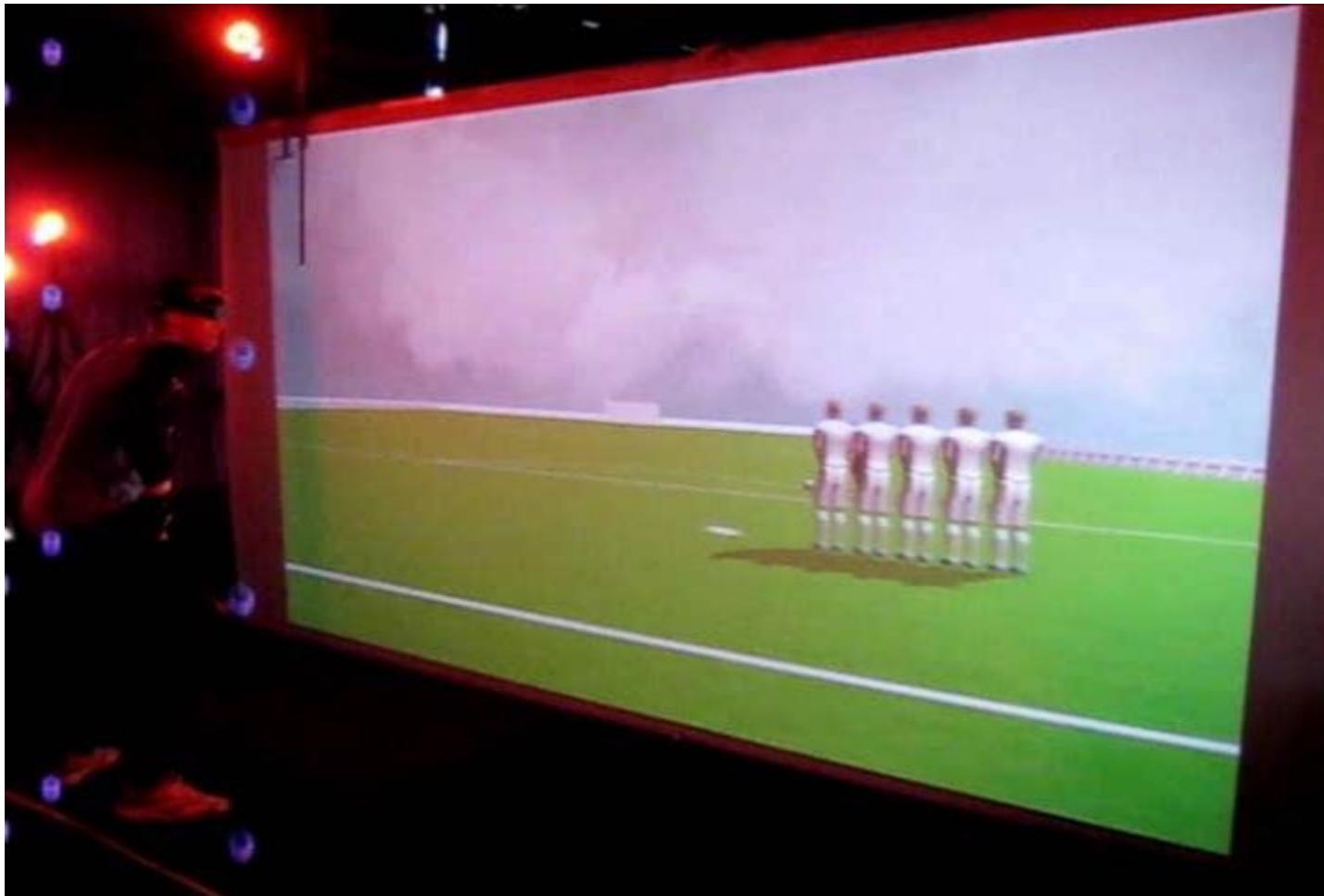
- Formation en informatique graphique
  - Animation d'humanoïdes de synthèse
- Actuellement en STAPS
  - Biomécanique pour comprendre le geste sportif
  - Complémentaire pour avoir des humains virtuels réalistes
  - Réalité virtuelle pour comprendre et améliorer les interactions
  - Humain virtuel au centre de ces interactions
- Laboratoire M2S
  - Physiologie
  - Biomécanique
- Equipe Inria MimeTIC
  - Humain virtuel



# EXEMPLE D'UTILISATION DE RECONNAISSANCE DE GESTES

---

- Interaction entre humain réel et virtuel
- Exemple du gardien de but au football



# EXEMPLE D'UTILISATION DE RECONNAISSANCE DE GESTES

---

- Pour aller plus loin et proposer un outil d'entraînement sportif
  - Besoin de reconnaître l'action du joueur réel
  - Proposer la réaction adaptée de l'adversaire virtuel
- 
- Possibilité d'aller jusqu'à l'évaluation du geste
  - Proposer des feedbacks pour identifier et corriger les erreurs

# CALENDRIER

---

- Richard Kulpa : 21, 24, 28 novembre - Salle B02B E110
  - Systèmes d'acquisition de données
  - Traitement des données acquises
  - Représentation des gestes et normalisation
- Éric Anquetil : 5, 8, 12 décembre - Salle B02B E110
  - Extraction de descripteurs à partir des signaux
  - Systèmes de classification : séries temporelles et sans temporalité
  - Techniques de segmentation des gestes
- Nathalie Girard : 15, 19, 22 décembre - Salle B02B E110
  - Protocole centré utilisateur
  - Extraction des données
  - Analyse des données

# EVALUATION

---

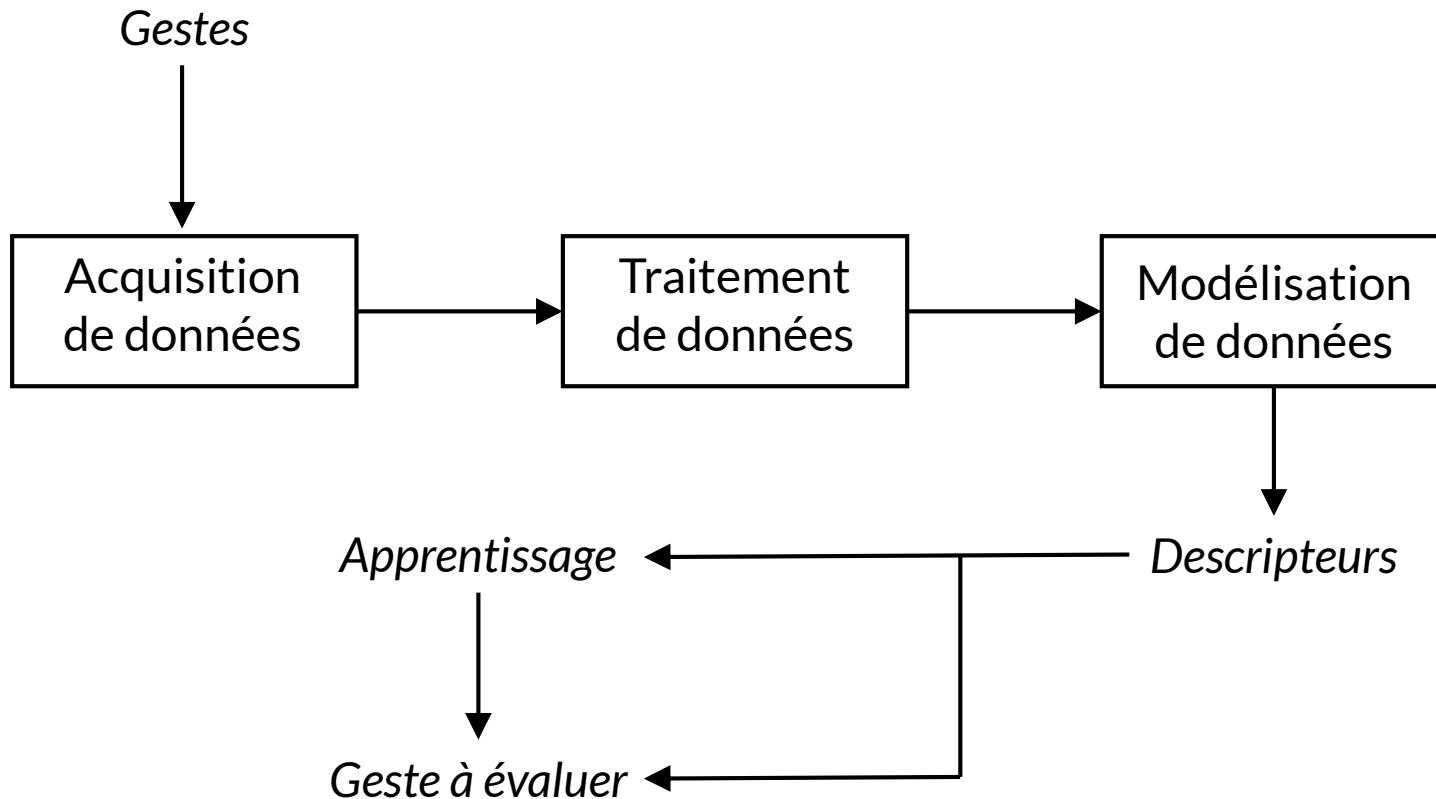
- Deux évaluations
  - Examen écrit d'1h le 23 janvier
  - Homework : soutenance orale le 19 janvier (créneau de 2h)
- Homework
  - 4 groupes : 2 binômes et 2 trinômes
  - 1 papier de référence à étudier par groupe
    - Liste de 4 papiers la semaine prochaine
    - Porte sur toutes les parties du cours, le choix sera à faire entre vous
  - Vous devrez trouver 2 (binômes) ou 3 (trinômes) autres références sur le même sujet
    - Si vous n'accédez pas au contenu du papier, vous nous contactez directement
  - Soutenance pour présenter ces articles
    - 10' de présentation + 10' questions pour les binômes
    - 15' de présentation + 10' questions pour les trinômes
- Site web mis en place la semaine prochaine

# PARTIE 1 : DONNÉES

Acquisition, traitement et représentation des données

# DÉMARCHE GÉNÉRALE

- Modélisation du mouvement
  - Comprendre le geste humain
  - Identifier les lois qui régissent le mouvement



# ACQUISITION DE DONNÉES

# ACQUISITION DE DONNÉES

---

- Divers types de données
  - Cinématique : étude du mouvement des corps, en faisant abstraction des causes du mouvement
  - Dynamique : étude des forces qui crée le mouvement des corps
  - Musculaire : étude des muscles (activation, production de force)
- Différents supports / objectifs
  - Ecran tactile
  - Vidéo avec information de profondeur, ex. Kinect
  - Capture 3D de partie du corps, ex. des mains
  - Capture 3D corps complet

# ACQUISITION DE DONNÉES

Tablettes tactiles

# DATA FROM TOUCH SCREEN

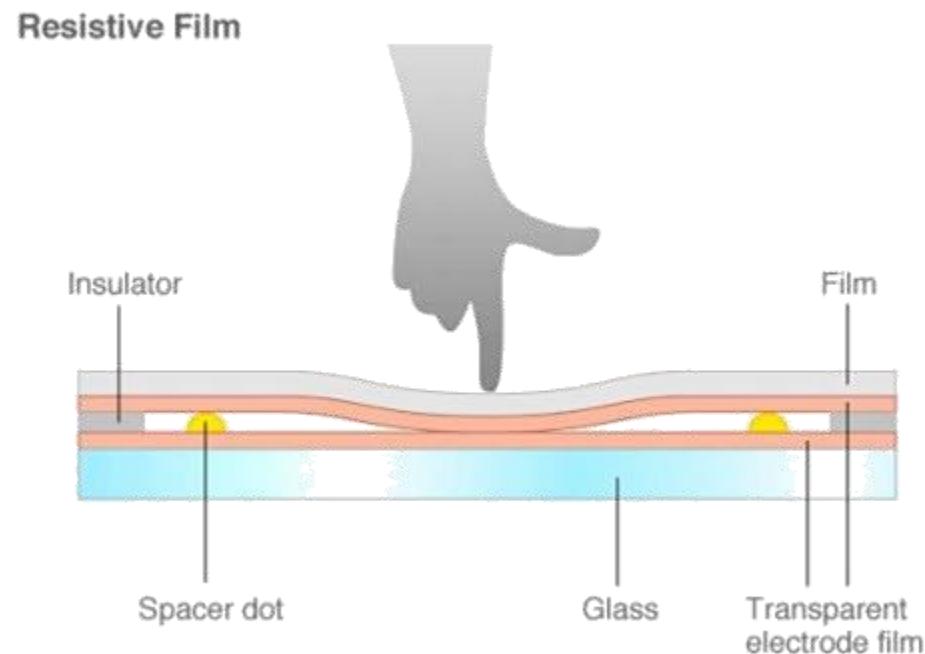
---

- Several criteria can discriminate devices
- Type of interacting « tool »
  - Stylus
  - Finger (with or without glove)
- Type of data
  - One finger vs. several fingers
  - Not only in 2D
    - Example of movement with pen up during handwriting of signature
  - Not only spatial trajectories but also
    - Temporal information
    - Pressure

# RESISTIVE TOUCH SCREEN

- Technology
  - 2 thin flexible metallic layers with a gap in between
  - Electric contact

- Most widely used
  - Ex: ATM
  - Cheapest
  - Low power consumption
  - Other advantages?



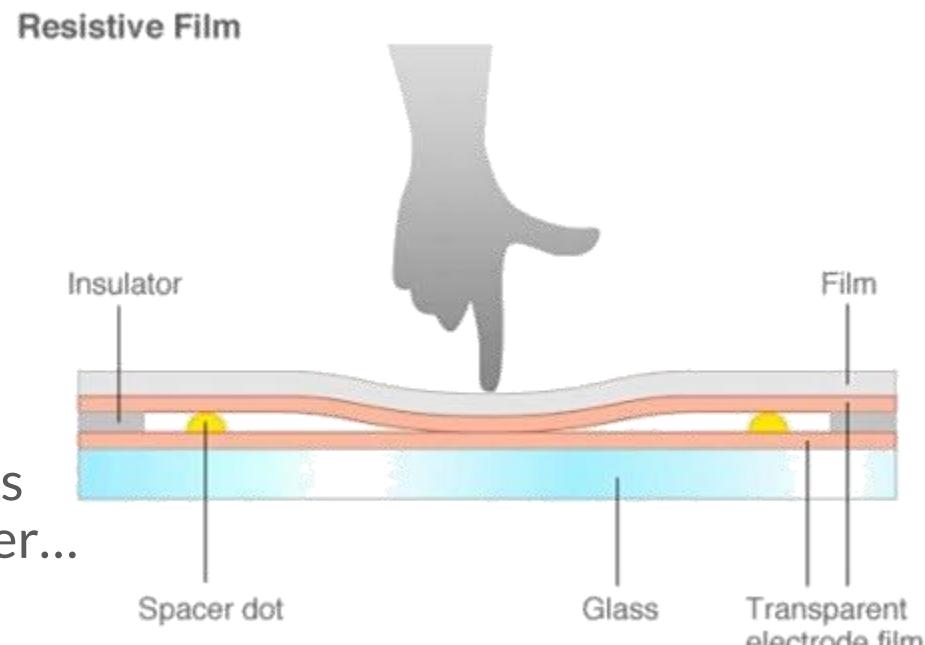
# RESISTIVE TOUCH SCREEN

- Technology

- 2 thin flexible metallic layers with a gap in between
- Electric contact

- Most widely used

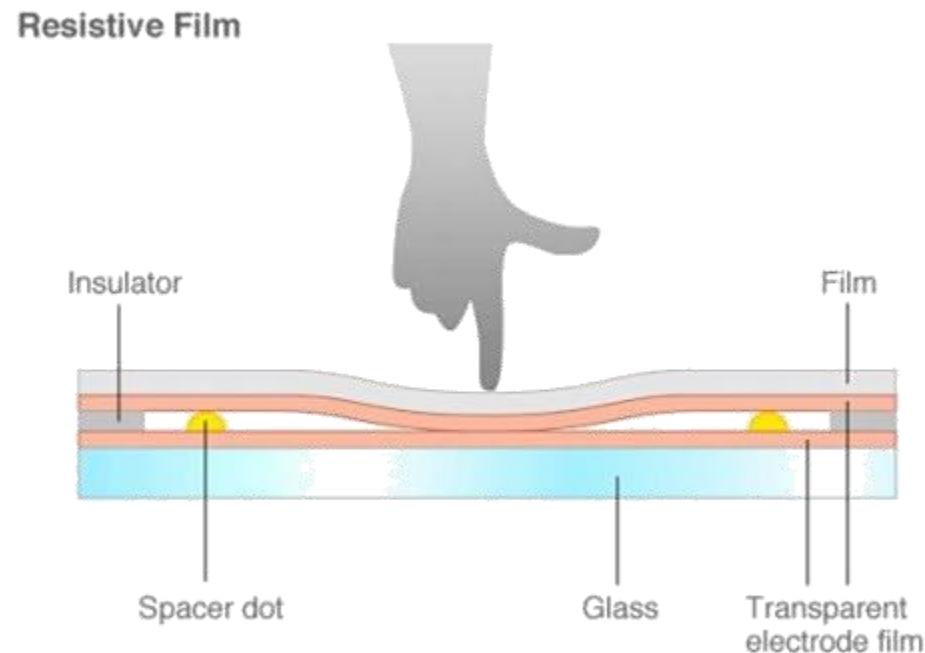
- Ex: ATM
- Cheapest
- Low power consumption
- Resistant to surface contaminants and liquids - dust, oil, grease, water...
- Works with stylus, finger, glove
- Detects less accidental touches
- Higher sensor resolutions



# RESISTIVE TOUCH SCREEN

- Technology
  - 2 thin flexible metallic layers with a gap in between
  - Electric contact

- But some limits
  - ?



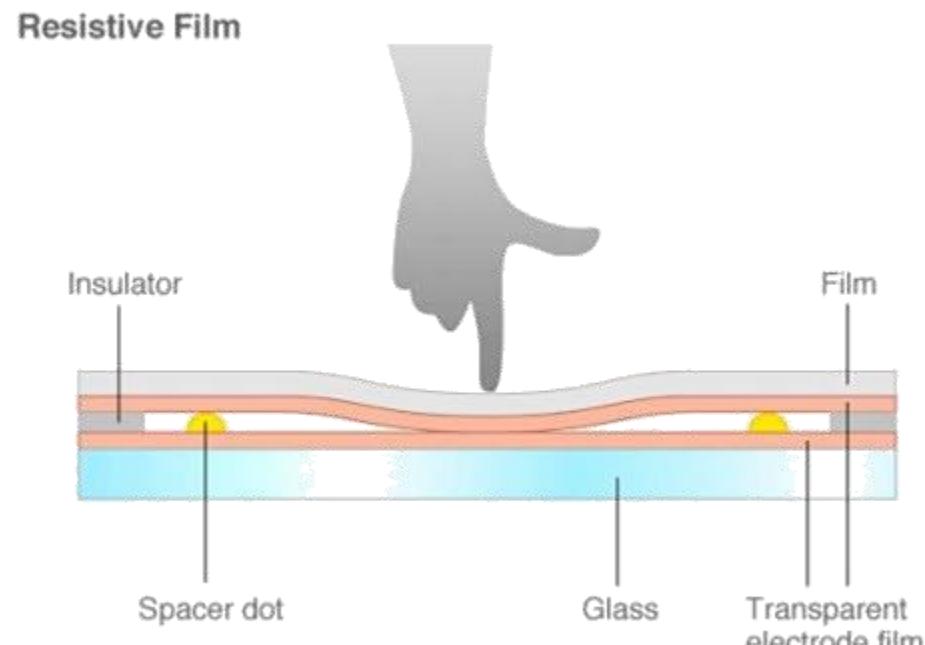
# RESISTIVE TOUCH SCREEN

- Technology

- 2 thin flexible metallic layers with a gap in between
- Electric contact

- But some limits

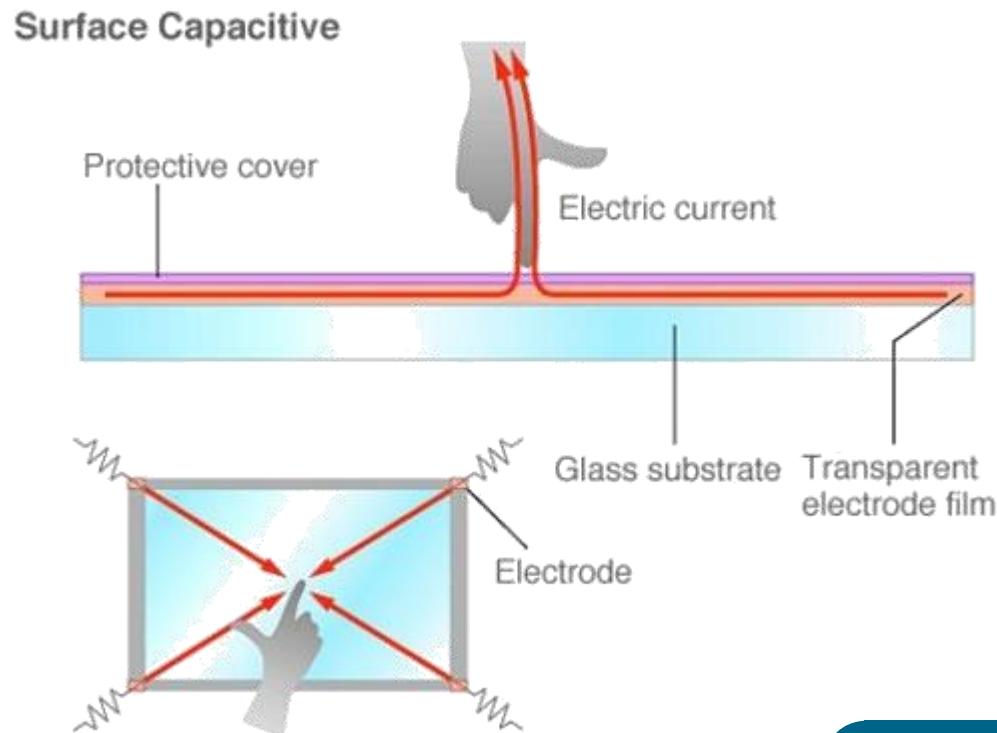
- Only one touch
- No pression
- Sometimes require to press hard
- Image clarity
- Outer touch layer is vulnerable to damage - scratching, poking with sharp objects, etc.



# CAPACITIVE TOUCH SCREEN

- Technology
  - Transparent electrode layer
  - Electrical charge transfer from screen to finger
  - Position computed from sensors at corners

- Advantages
  - ?



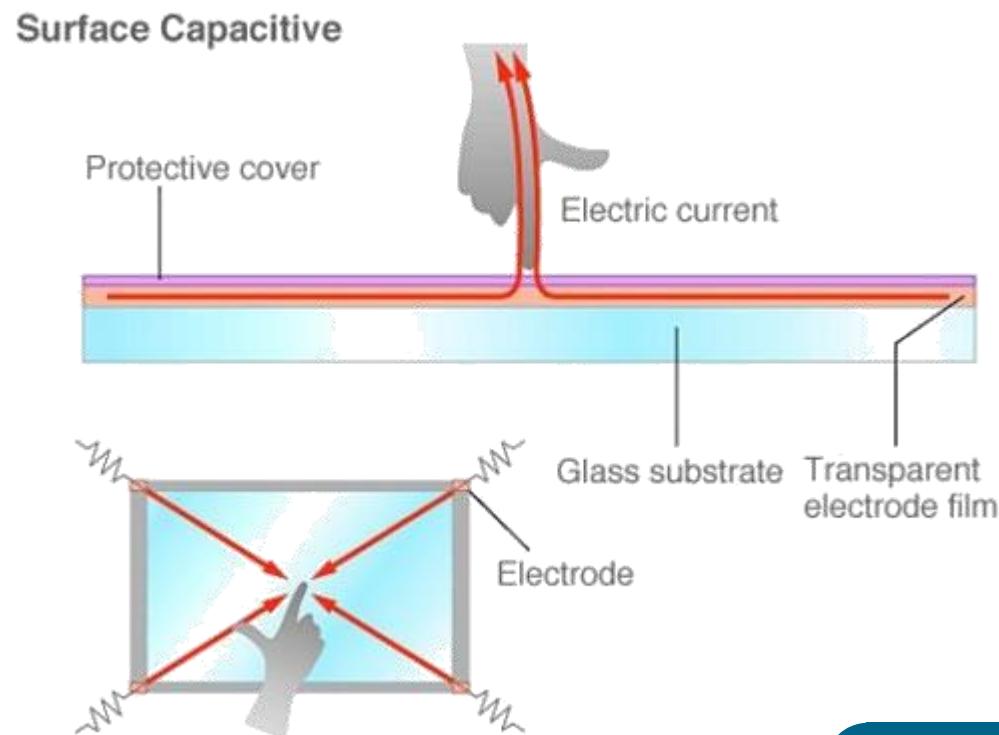
# CAPACITIVE TOUCH SCREEN

## ■ Technology

- Transparent electrode layer
- Electrical charge transfer from screen to finger
- Position computed from sensors at corners

## ■ Advantages

- Great image clarity
- Durable screen
- Excellent resistance to surface contaminants and liquids
- High scratch resistance



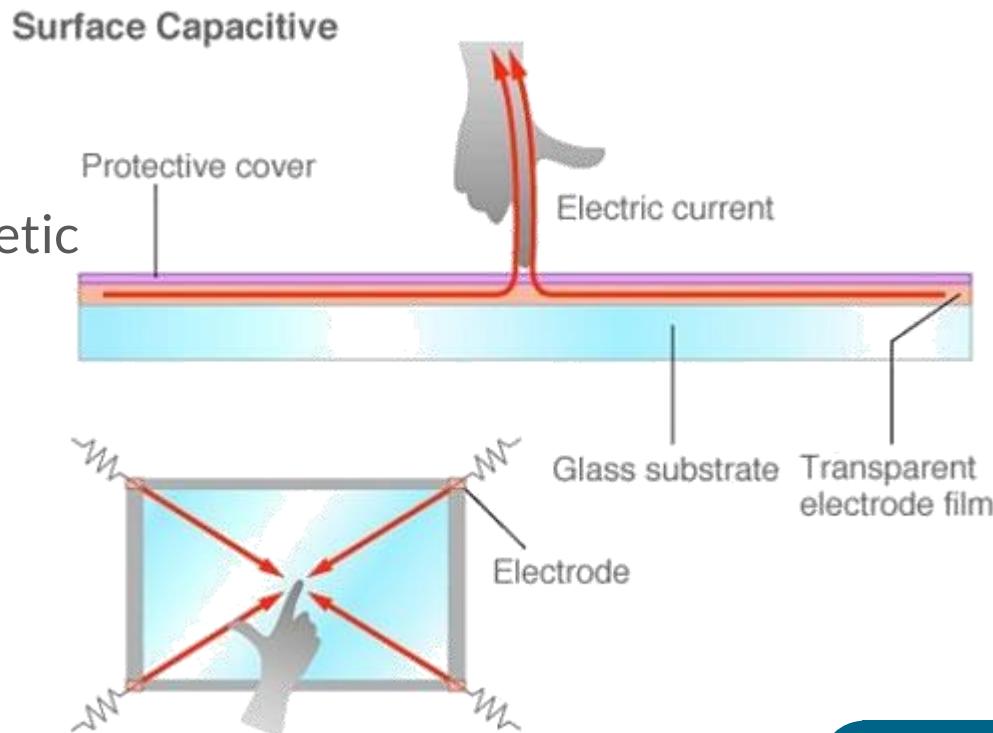
# CAPACITIVE TOUCH SCREEN

## ■ Technology

- Transparent electrode layer
- Electrical charge transfer from screen to finger
- Position computed from sensors at corners

## ■ Limits

- Only works with bare finger or special capacitive stylus
- Sensitive to EMI (Electromagnetic Interference) and RFI (Radio Frequency Interference)



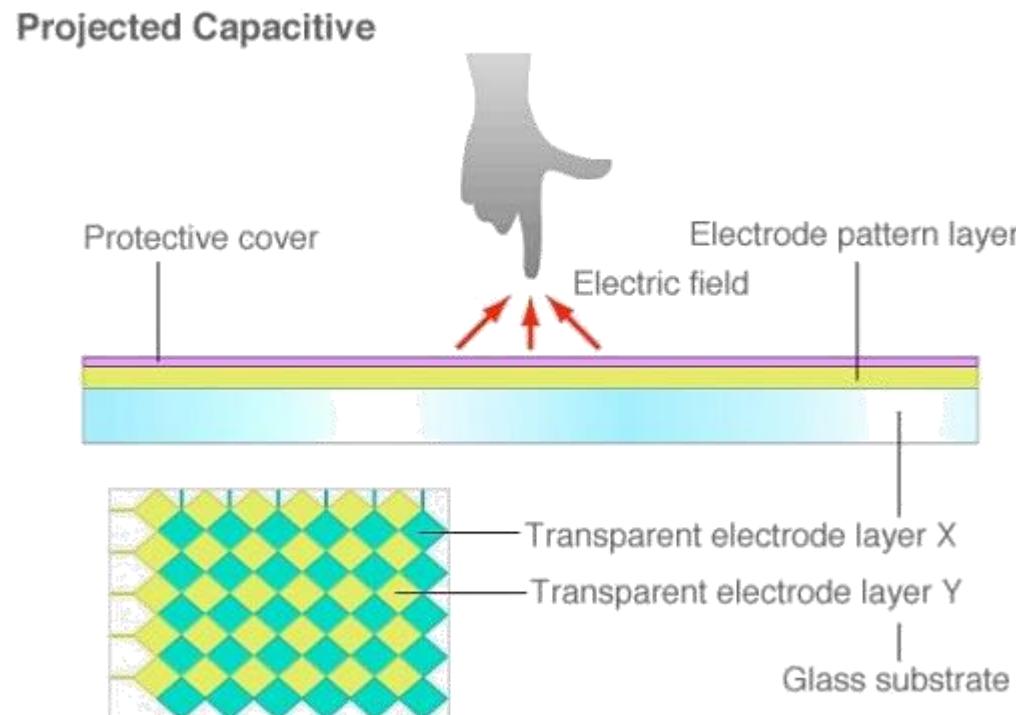
# PROJECTED CAPACITIVE TOUCH SCREEN

## ■ Technology

- Sheet of glass with embedded transparent electrode films and an IC chip
- 3D electrostatic field

## ■ Advantages

- ?



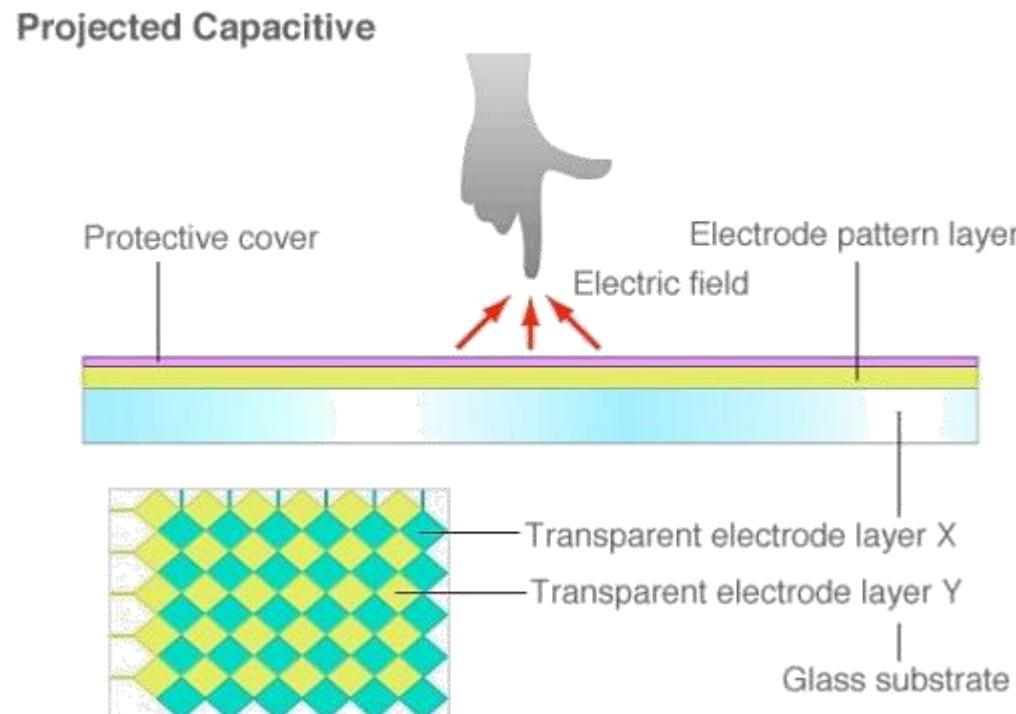
# PROJECTED CAPACITIVE TOUCH SCREEN

## ■ Technology

- Sheet of glass with embedded transparent electrode films and an IC chip
- 3D electrostatic field

## ■ Advantages

- Excellent image clarity
- More resistant to scratching than capacitive touch
- Resistant to surface contaminants and liquids
- Multi-touch possible!



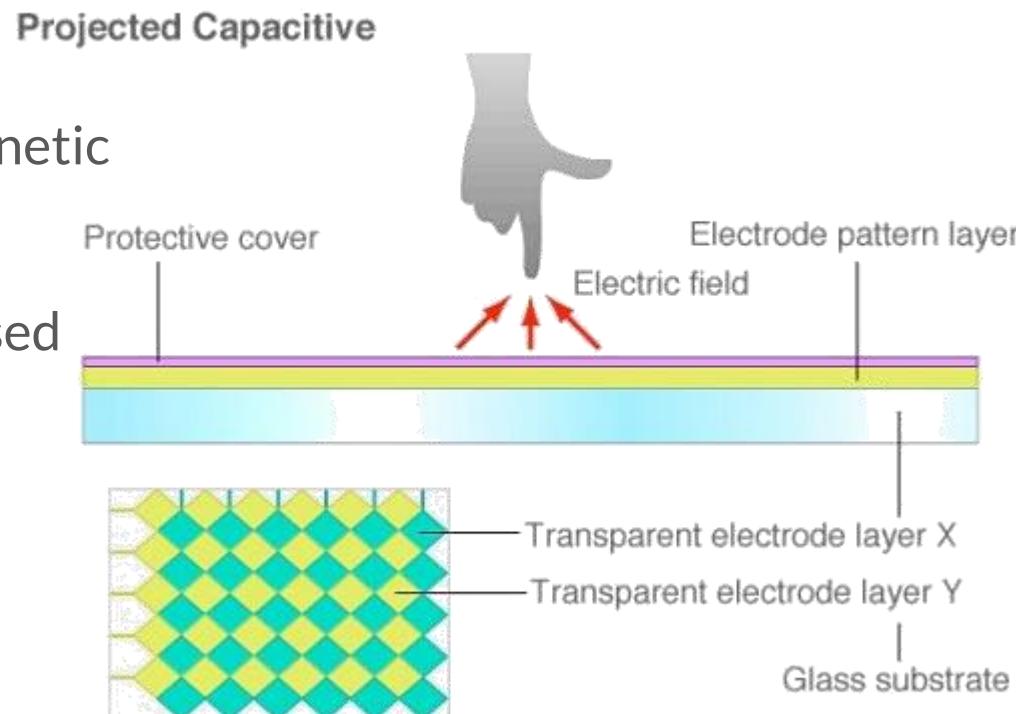
# PROJECTED CAPACITIVE TOUCH SCREEN

## ■ Technology

- Sheet of glass with embedded transparent electrode films and an IC chip
- 3D electrostatic field

## ■ Limits

- Sensitive to EMI (Electromagnetic Interference) and RFI (Radio Frequency Interference)
- Only activates using an exposed finger, thin surgical gloves or cotton gloves



# INFRARED TOUCH SCREEN

---

- Technology

- Infrared emitters and receivers
- Light beam interruption

- Advantages

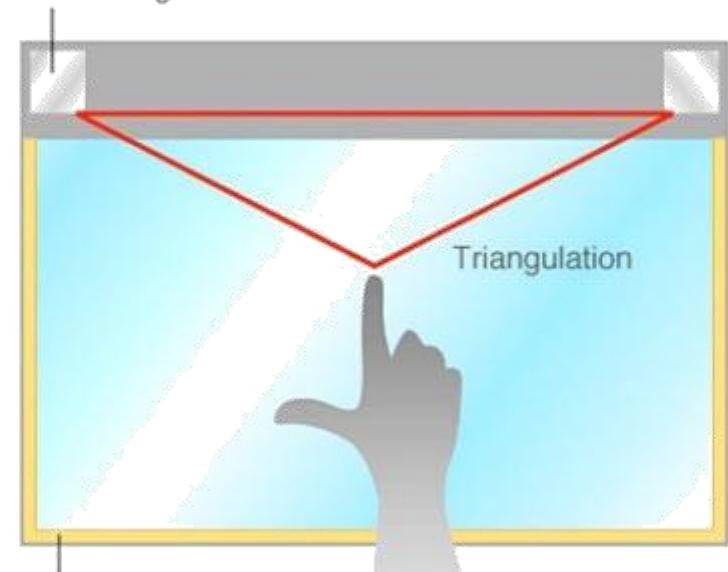
- Best image quality
- Unlimited 'touch life'
- Unaffected to surface scratches

Optical (Infrared Optical Imaging)

Infrared LED / Image sensor

Triangulation

Retroreflective tape



# INFRARED TOUCH SCREEN

---

- Technology
  - Infrared emitters and receivers
  - Light beam interruption

- Limits

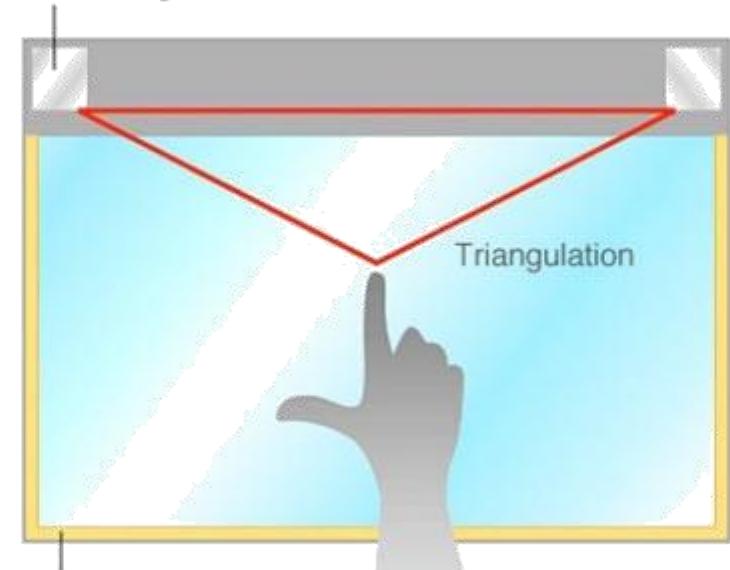
- ?

Optical (Infrared Optical Imaging)

Infrared LED / Image sensor

Triangulation

Retroreflective tape



# INFRARED TOUCH SCREEN

## ■ Technology

- Infrared emitters and receivers
- Light beam interruption

## ■ Limits

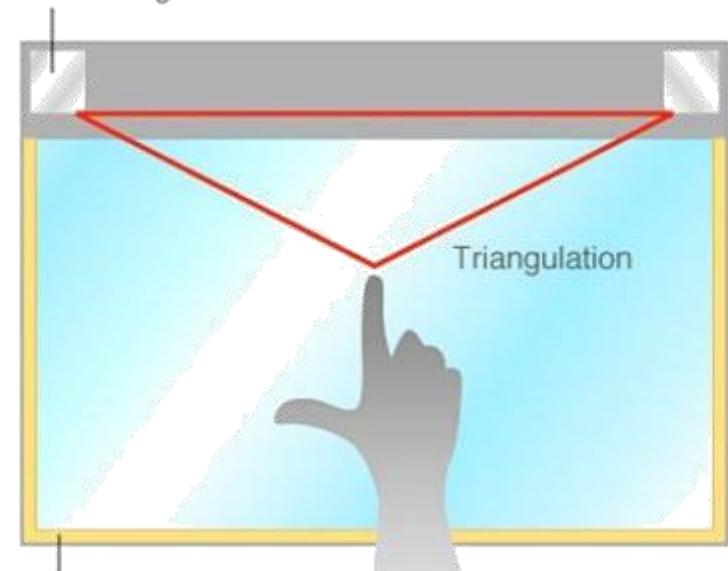
- Accidental touches
- Grease, dust or other contaminants could block light beam
- Sensitive to water, snow and rain
- May be sensitive to ambient light
- More expensive

Optical (Infrared Optical Imaging)

Infrared LED / Image sensor

Triangulation

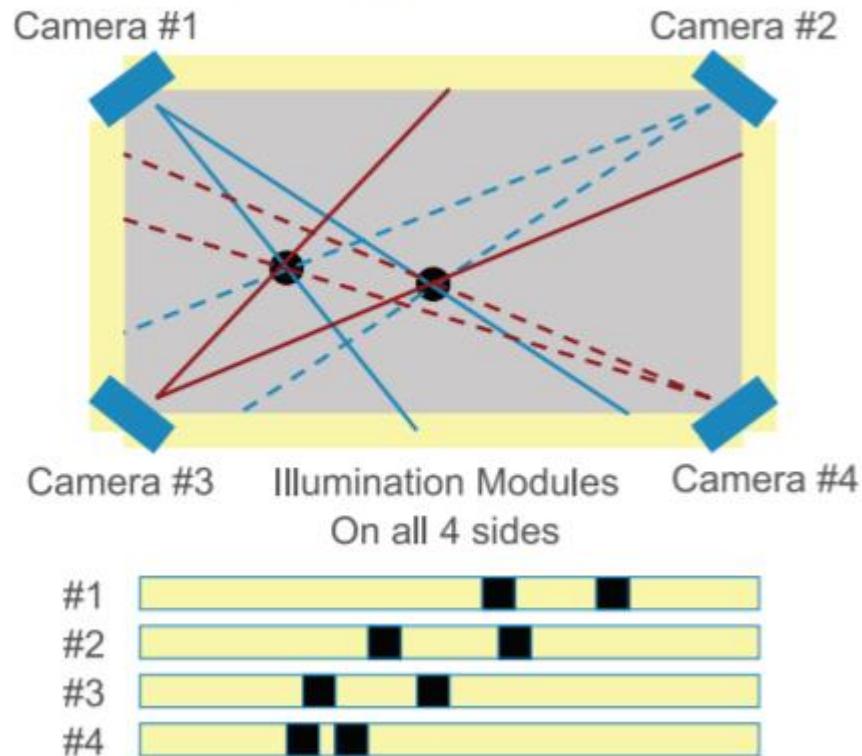
Retroreflective tape



# OPTICAL TOUCH SCREEN

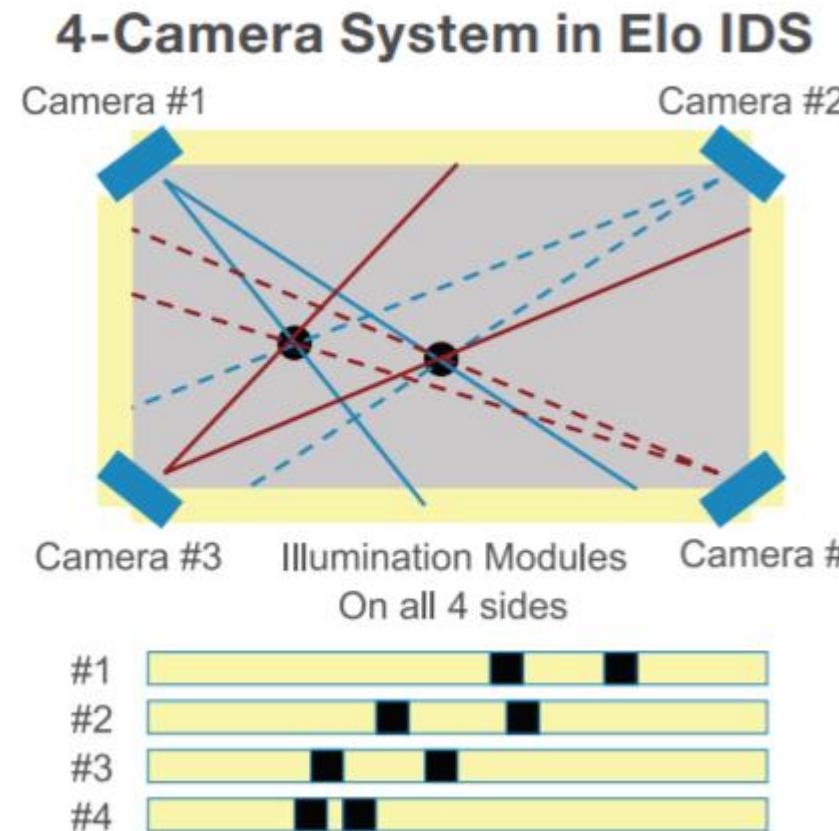
- Technology
  - Optical sensors
  - Triangulation
- Advantages
  - ?

**4-Camera System in Elo IDS**



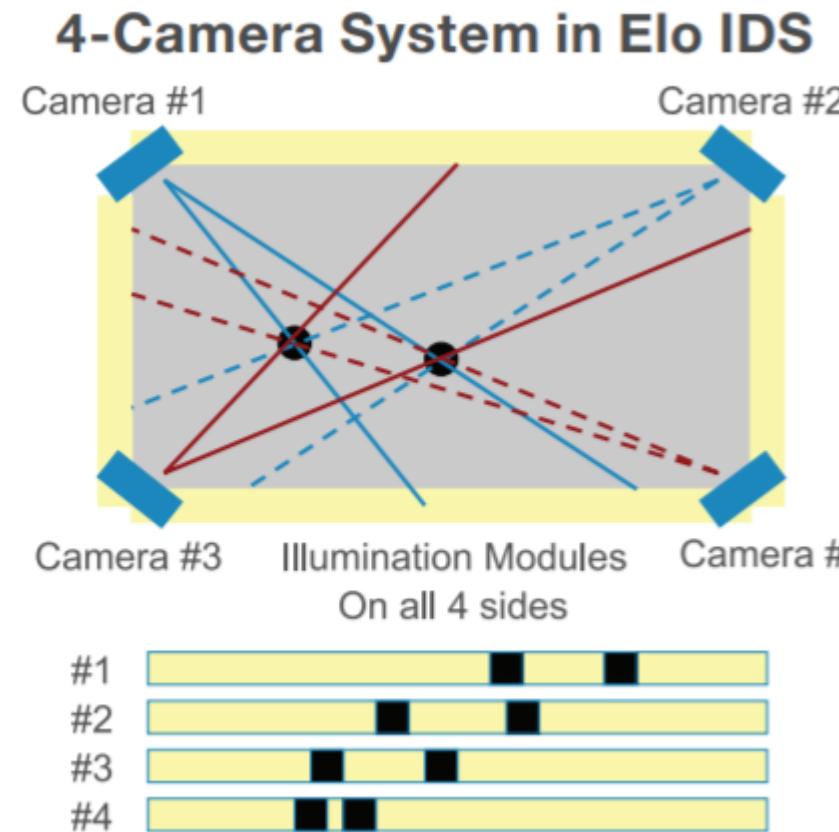
# OPTICAL TOUCH SCREEN

- Technology
  - Optical sensors
  - Triangulation
- Advantages
  - Enables multi touch
  - No pressure
  - 100% light transmission
  - Scratches do not affect the touchscreen
  - Use any object to touch



# OPTICAL TOUCH SCREEN

- Technology
  - Optical sensors
  - Triangulation
- Limits
  - Direct sunlight can affect the touchscreen
  - Depth of monitor increases by frame



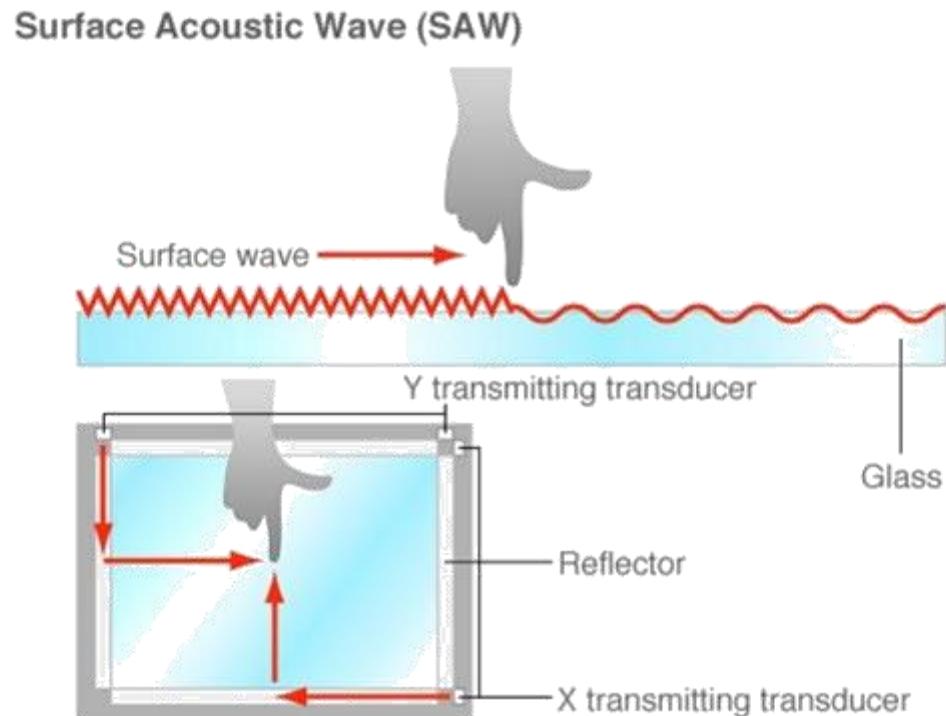
# SURFACE ACOUSTIC WAVE TOUCH

## ■ Technology

- Transducers mounted to the edge of a glass panel
- Ultrasonic waves on the surface
- Wave absorbed by object

## ■ Advantages

- Good optical clarity
- Even better scratch resistance than capacitive touch
- High 'touch life'



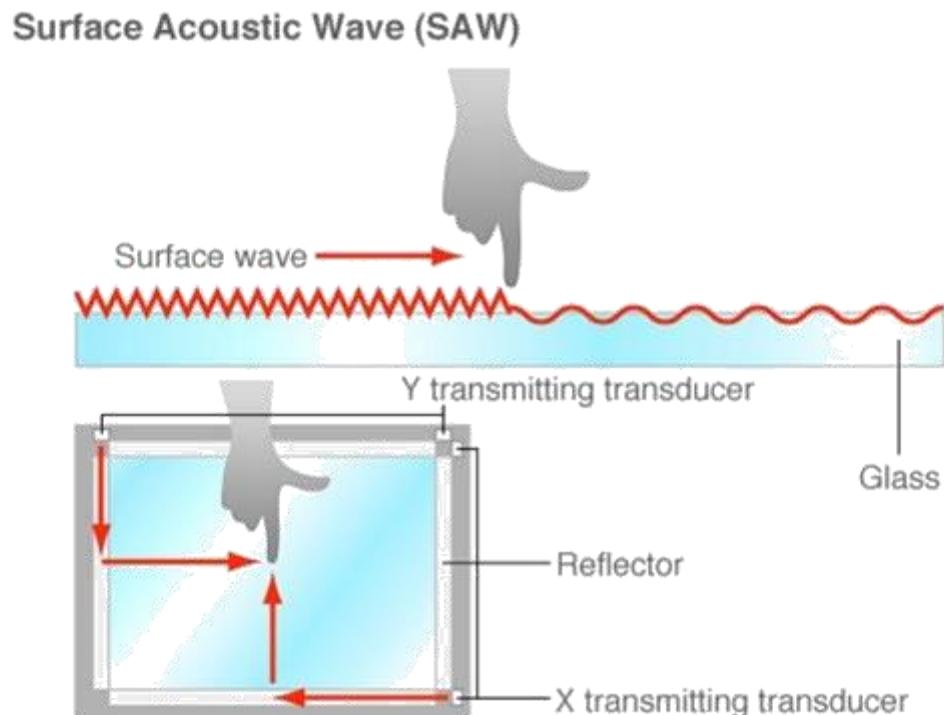
# SURFACE ACOUSTIC WAVE TOUCH

## ■ Technology

- Transducers mounted to the edge of a glass panel
- Ultrasonic waves on the surface
- Wave absorbed by finger

## ■ Limits

- Cannot be activated with hard objects – even fingernails
- False touches: water droplets
- Solid contaminants on the screen can create non-touch areas until removal



# EXTRACTED DATA

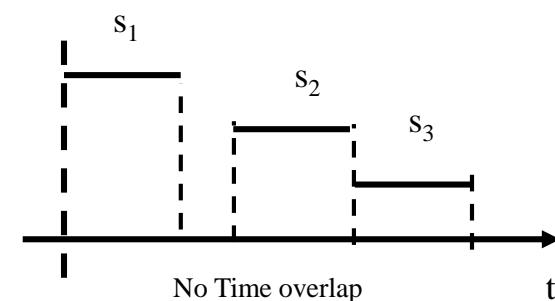
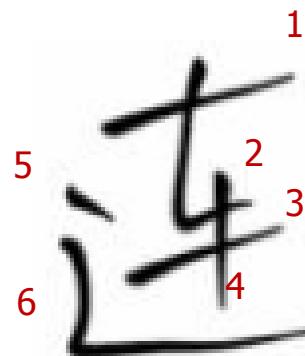
- These systems give at least a 2D position over time

- Called a stroke
    - Frame/time
    - X position
    - Y position



- A sequence of strokes: multi-stroke

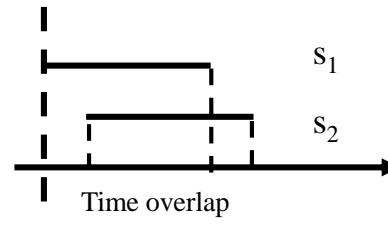
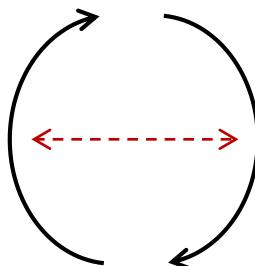
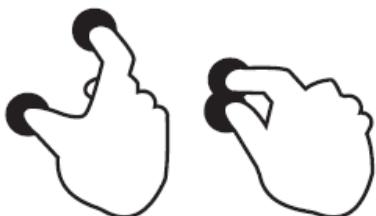
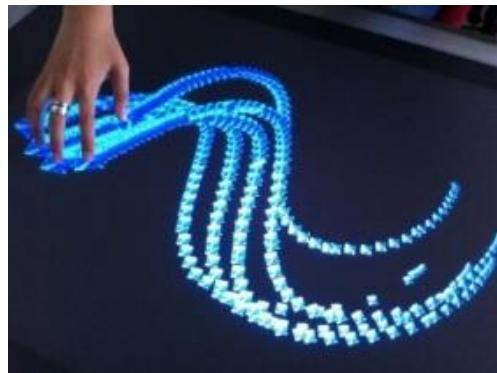
- Spatial information
    - Shape
    - Spatial relation
  - Temporal information
    - Order of strokes



# EXTRACTED DATA

- Some systems also have the multi-touch feature
  - Several strokes performed in parallel

- Several strokes
  - Spatial information
    - Shape
    - Spatial relation
  - Temporal information
    - Duration
    - Order of strokes
    - Temporal relation



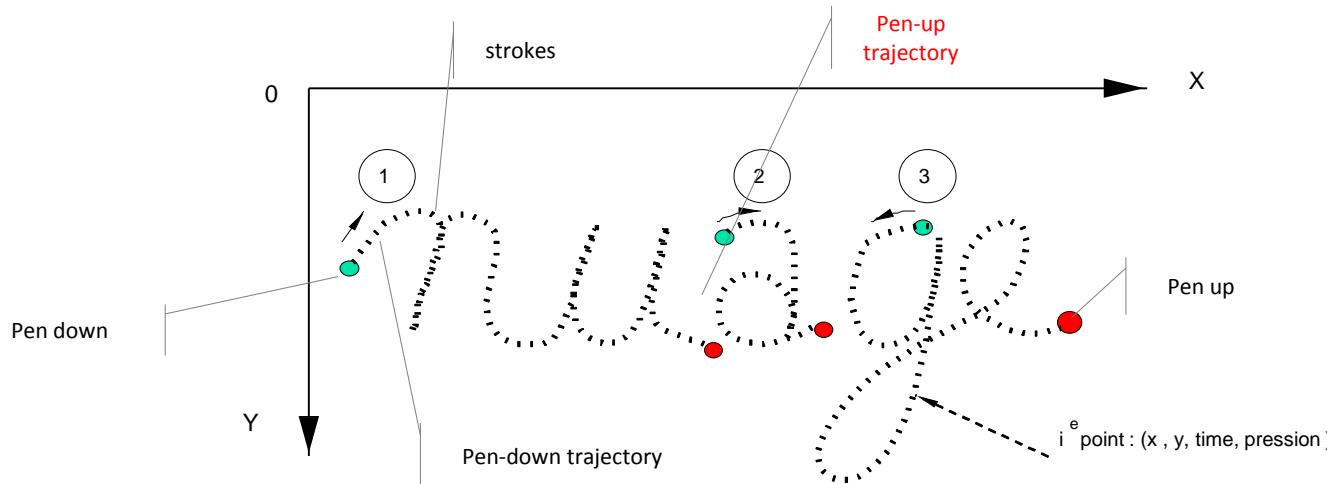
# PEN UP

- Some systems can also give the trajectory when the pen is up (near the surface) : « plume haute » in French
  - Example of Microsoft N-trig technology
  - Pen is detected 1cm above the screen



# PEN UP + PRESSION

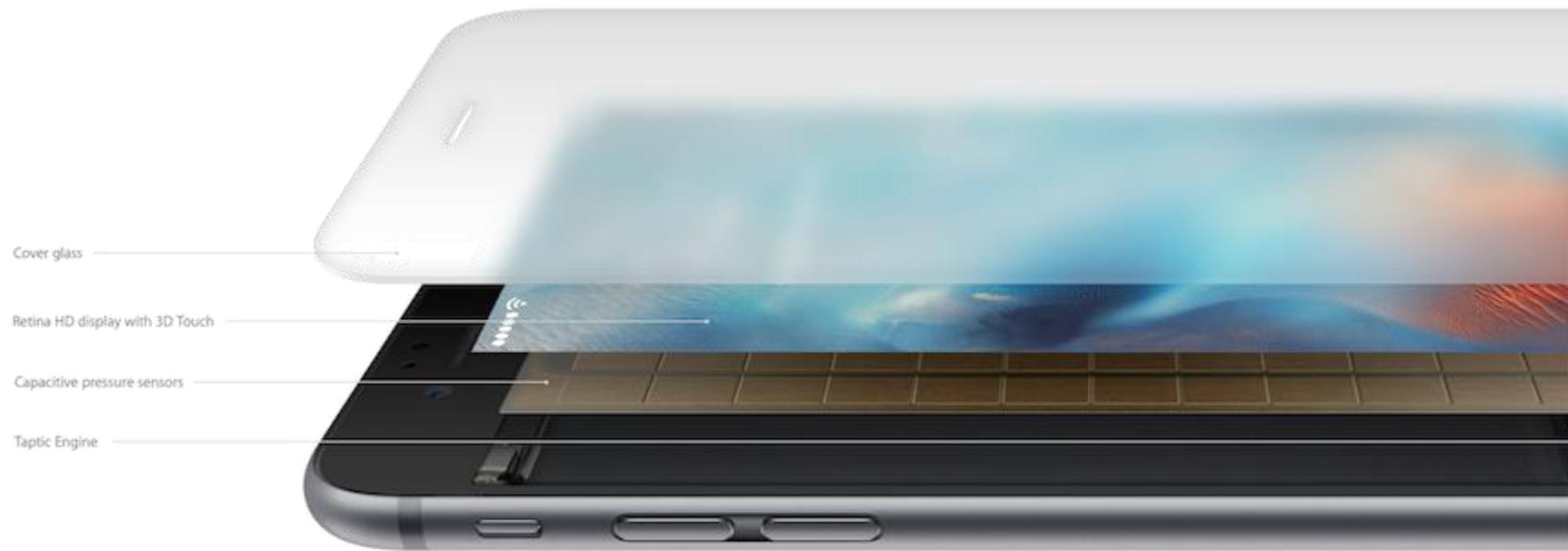
- Gives trajectories between strokes
- Also gives pression
  - Time, X, Y, pression per signal



# PRESSION

---

- Pression can also be obtained on screen directly
- Force Touch ou 3D Touch Display (3D for 3 levels of pression)
  - Grid of pression sensors
  - Deformation of sensor implies change of resistance



# ACQUISITION DE DONNÉES

3D à partir de 2D ½ (données de profondeur)

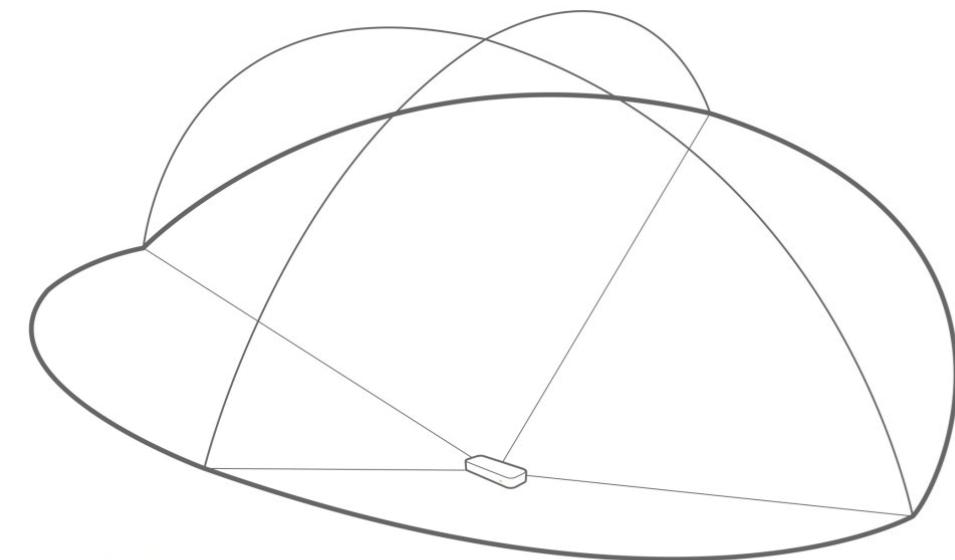
# DEPTH VIA INFRARED LEDS

- Leap Motion
  - 2 cameras in near-infrared light spectrum
  - 3 infrared LEDs
  - 200Hz
- Method
  - Nearer part are more illuminated
  - Correction of data (see later)



# DEPTH VIA INFRARED LEDS

- Large field of view
- Either used with computer



## Interaction Area

2 feet above the controller, by 2 feet wide on each side  
( $150^\circ$  angle), by 2 feet deep on each side ( $120^\circ$  angle)

# DEPTH VIA INFRARED LEDS

---

- Or Virtual Reality Head Mounted Device



The logo consists of the word "LEAP" in a large, white, sans-serif font. The letter "E" has a small, horizontal green bar centered in its left side. Below "LEAP", the word "MOTION" is written in a smaller, green, sans-serif font.

# DEPTH VIA INFRARED LEDS

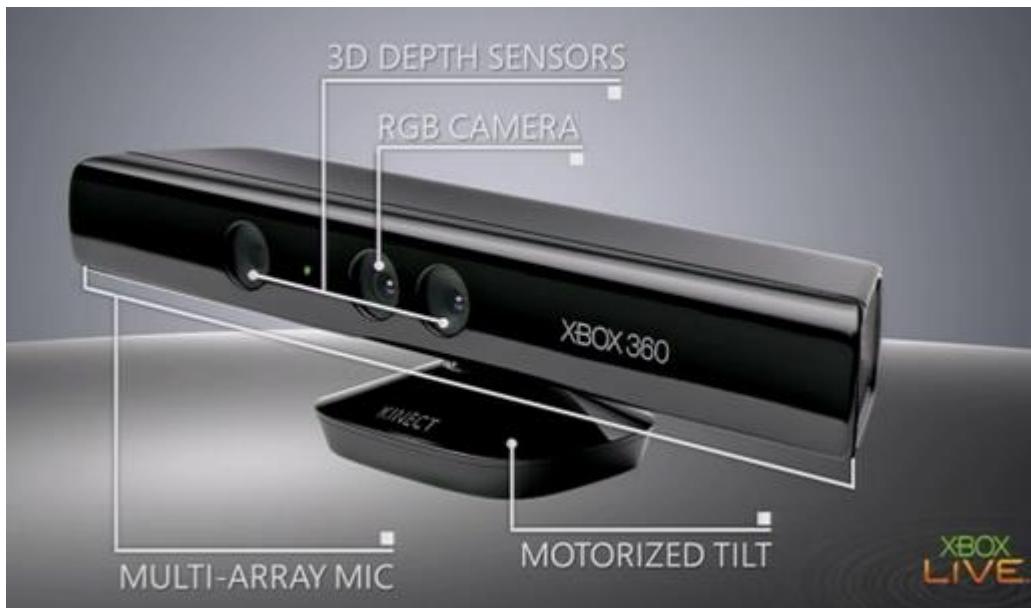
---

- Need a post-processing pipeline
- Method
  - Background compensation, ambient environmental lighting
  - Filtering
  - Reconstruction of 3D
  - Extraction of fingers and tools
  - Interpret 3D data and infer positions of occluded objects
  - (link with the motion treatment part of this lesson)
- Live demo in Unity

# DEPTH VIA INFRARED LEDS

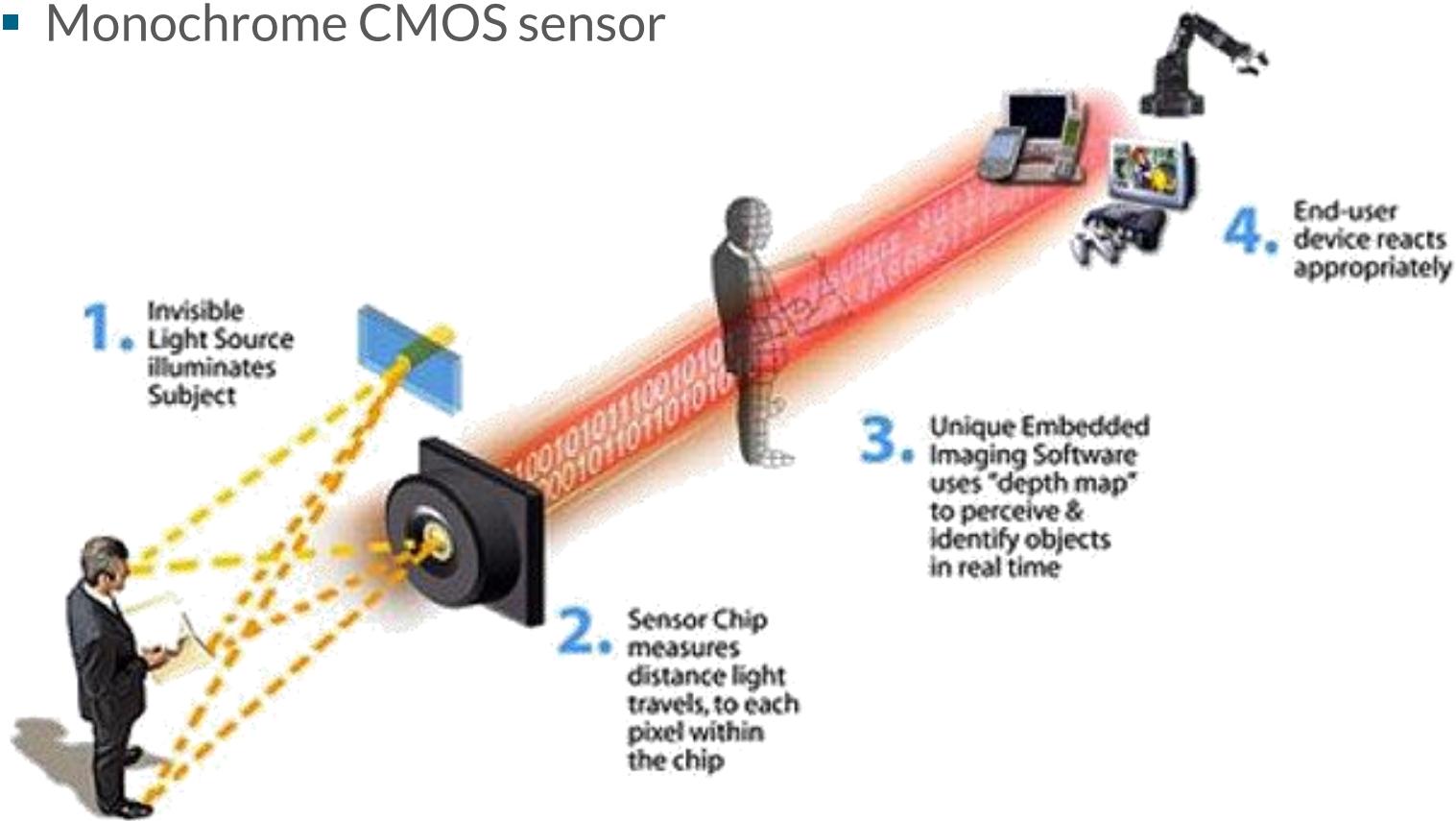
---

- Microsoft Kinect
  - Captures full body: 48 body joints
  - Several sensors
    - RGB camera
    - 3D depth sensor
    - 4 microphones



# DEPTH VIA INFRARED LEDs

- RGB camera: facial and body recognition (color-based)
- 3D depth sensor
  - Infrared emitter
  - Monochrome CMOS sensor



# DEPTH VIA INFRARED LEDS

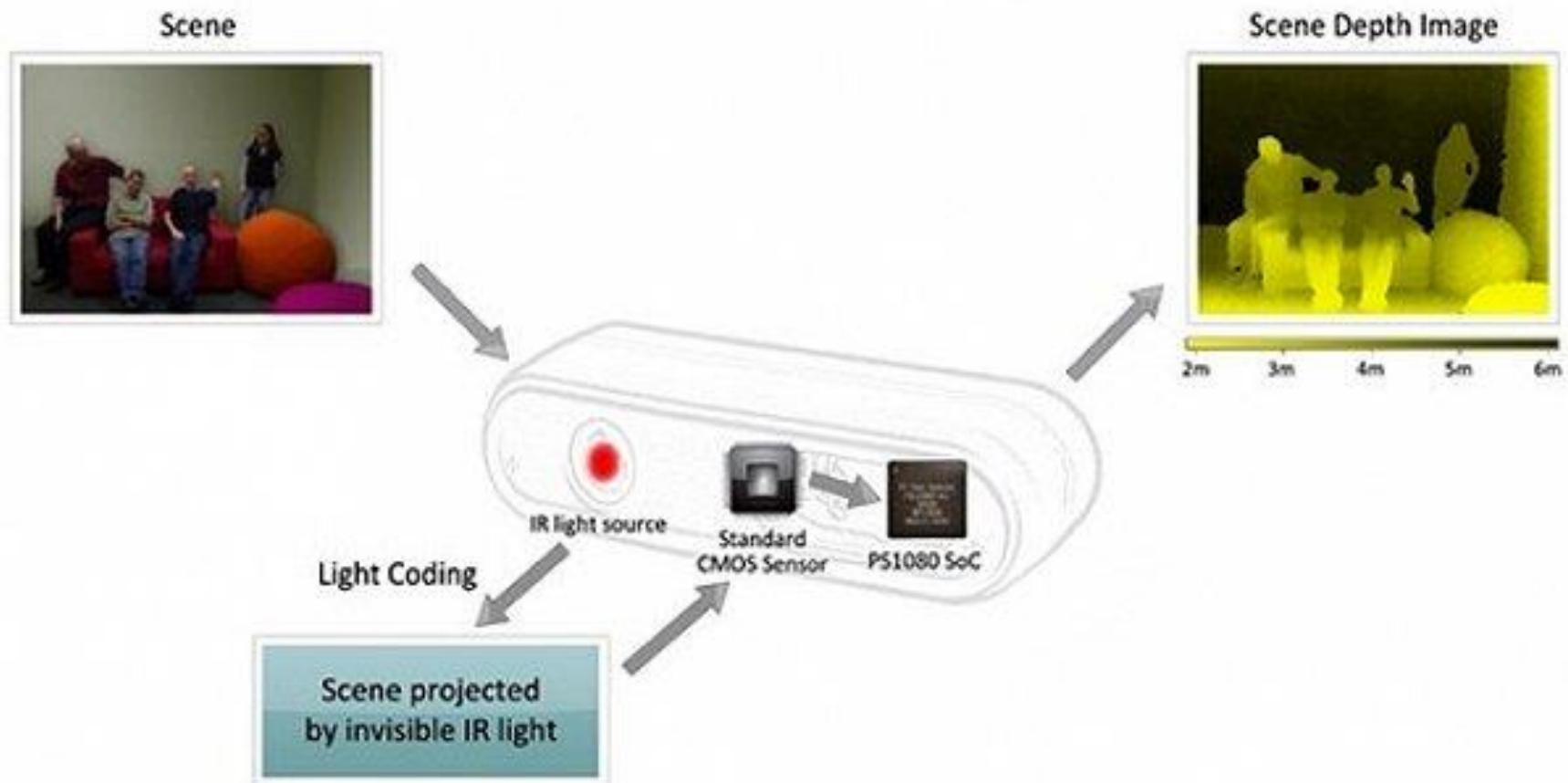
---

- RGB camera: facial and body recognition (color-based)
- 3D depth sensor
  - Infrared emitter
  - Monochrome CMOS sensor



# DEPTH VIA INFRARED LEDs

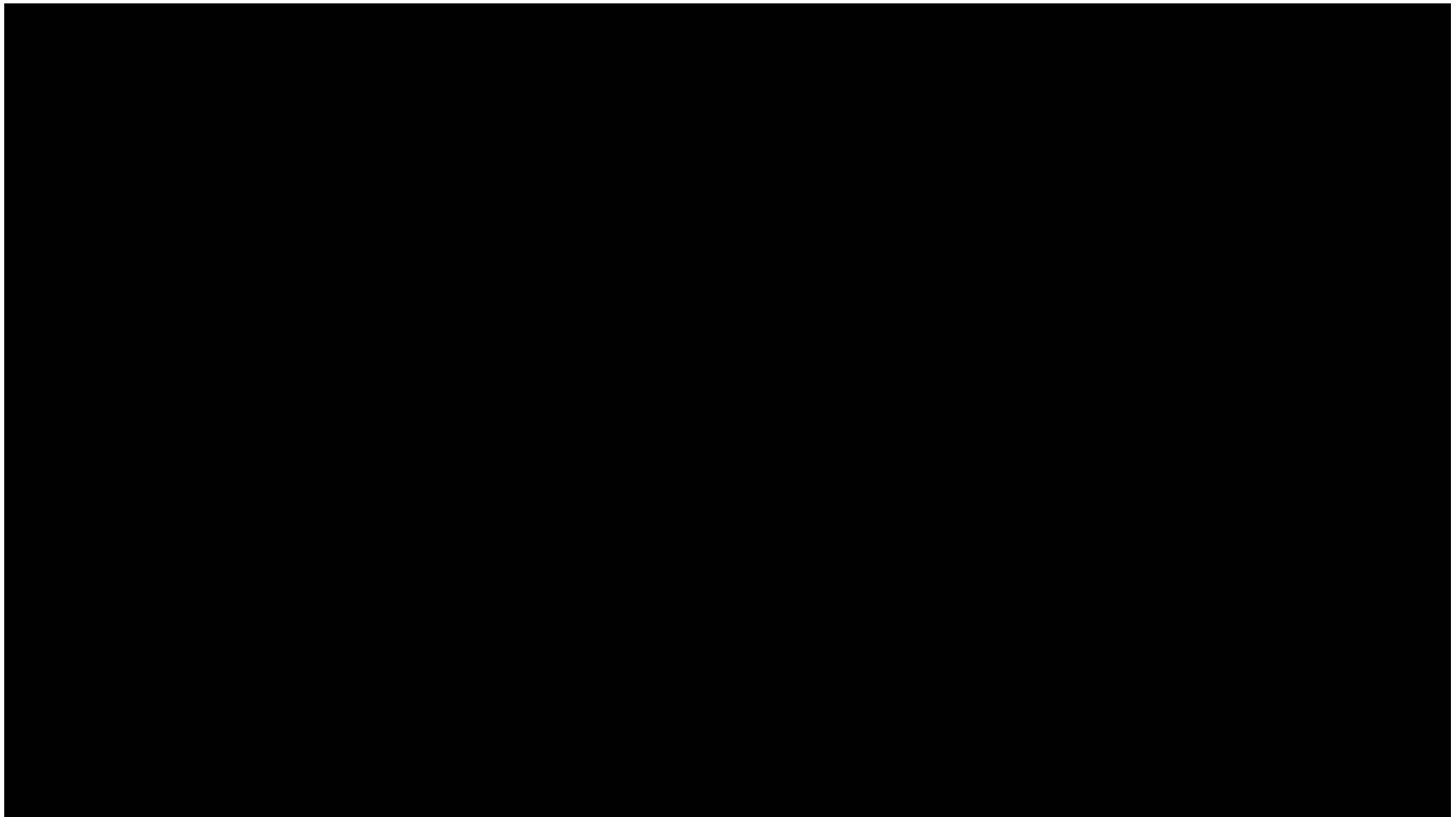
- Depth image



# DEPTH VIA INFRARED LEDS

---

- Depth surface



# DEPTH VIA INFRARED LEDS

---

- Method

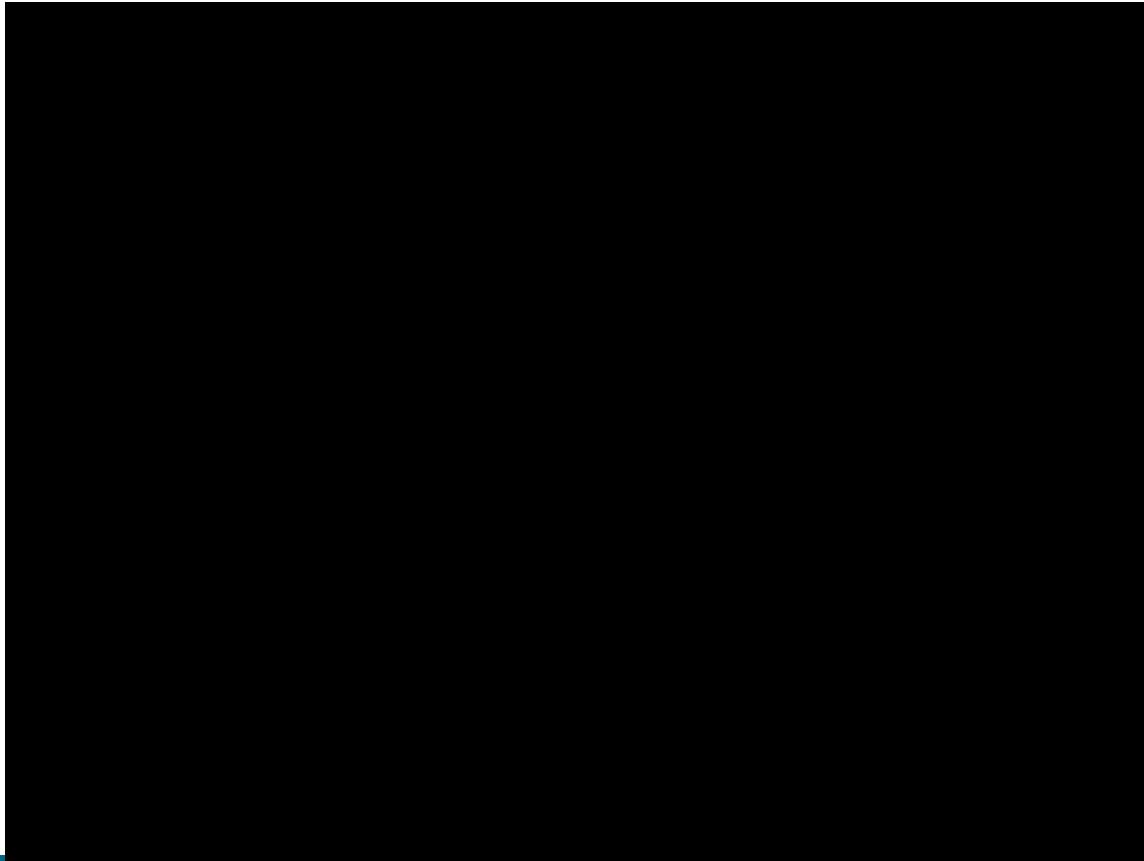
- Background extraction
- 3D dots
- 3D mesh
- Joint centers
- Angles of skeleton



# DEPTH VIA INFRARED LEDS

---

- Based on a large motion database
- Designed to be placed in front of the user at a specific height
  - Inaccuracy of the system if placed elsewhere (cf. PhD Plantard)
  - Problem when not tracking a limb



# DEPTH VIA INFRARED LEDS

---

- Data
  - 3D angles over time
  - Why angles?  
⇒ Link with the representation part of this lesson

# ACQUISITION DE DONNÉES

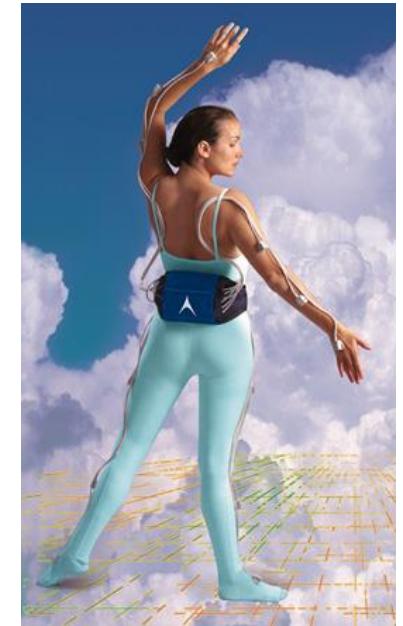
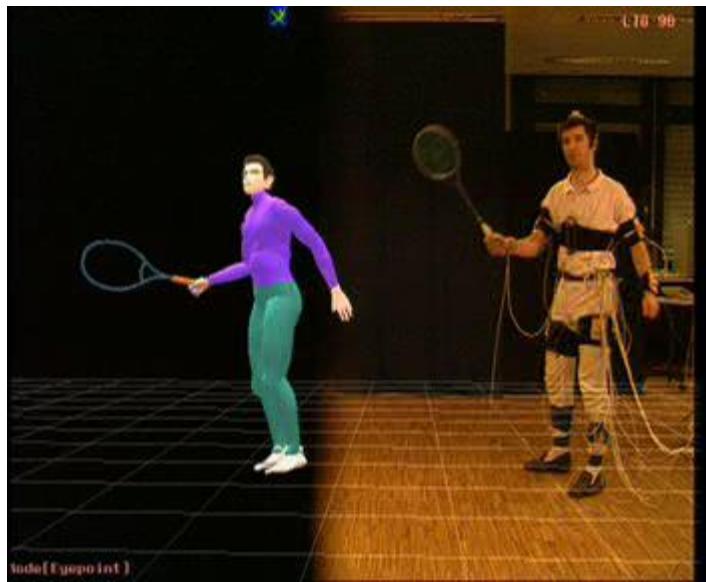
Données cinématiques

Mouvement 3D

# CLASSIFICATION DES SYSTÈMES

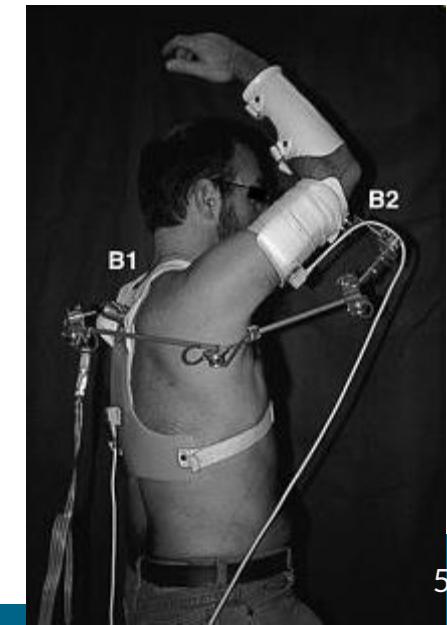
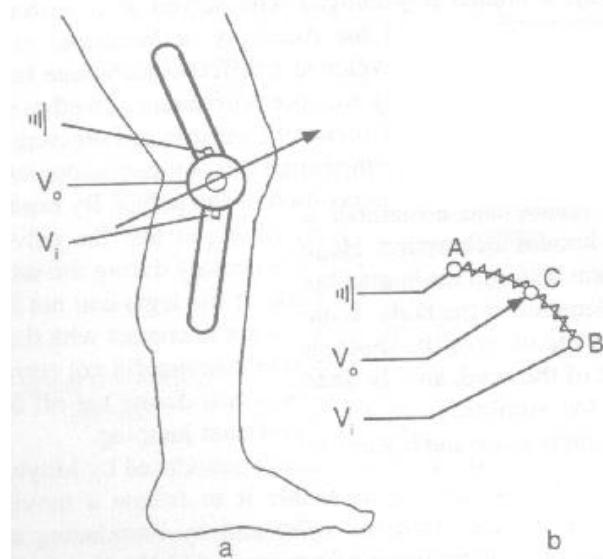
---

- Systèmes actifs : capteurs placés sur le corps



# GONIOMÈTRE

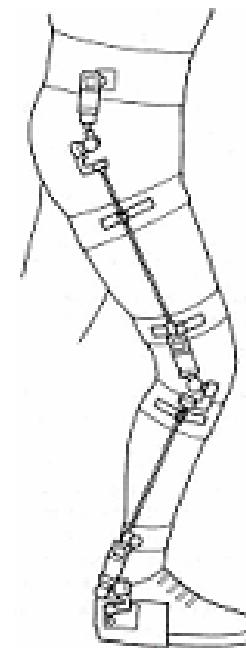
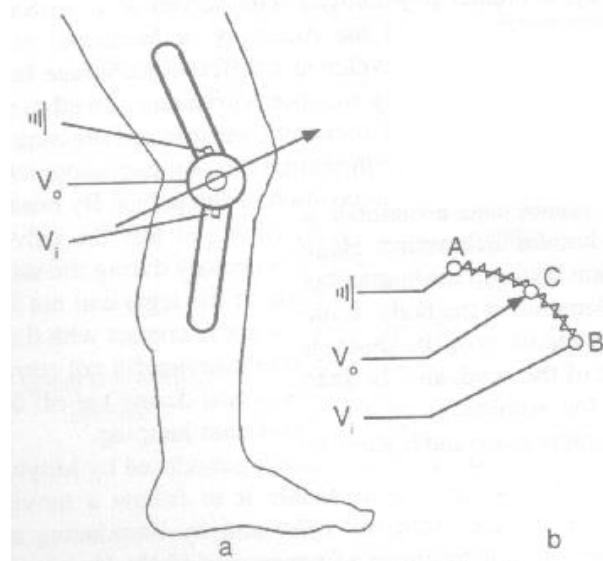
- Mesure des angles/rotations
- Principe
  - Deux branches fixées à un potentiomètre
  - Différence de potentiel électrique
  - ⇒ Mesure d'intensité proportionnelle à l'angle



# GONIOMÈTRE

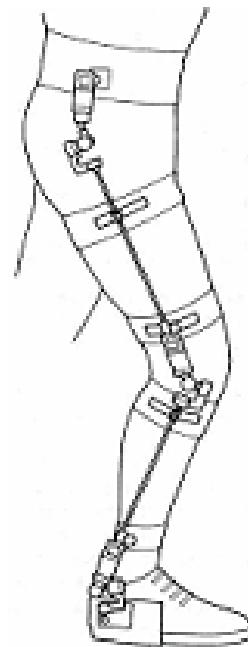
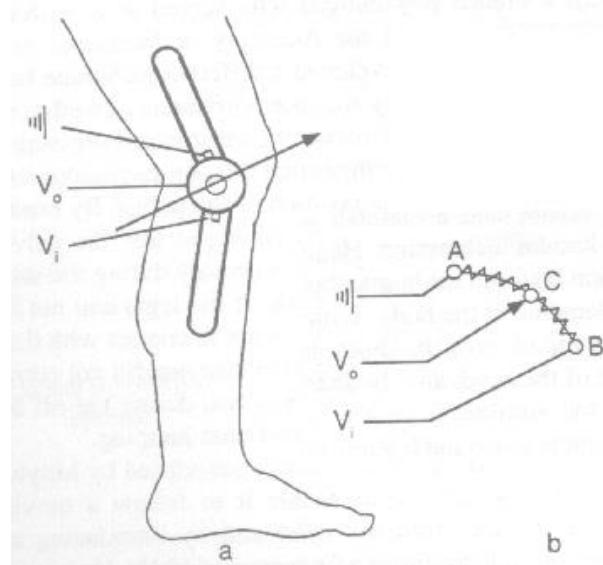
## ■ Avantages

- Accès direct à l'information sans post-traitement
- Pas de perte de données
- Potentiomètre fournit des données précises



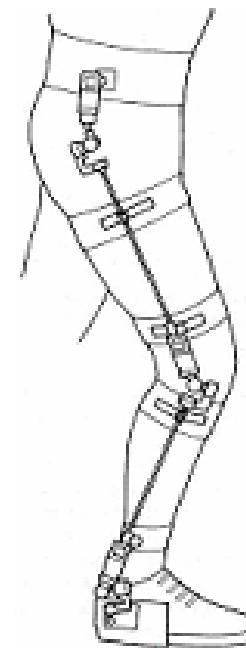
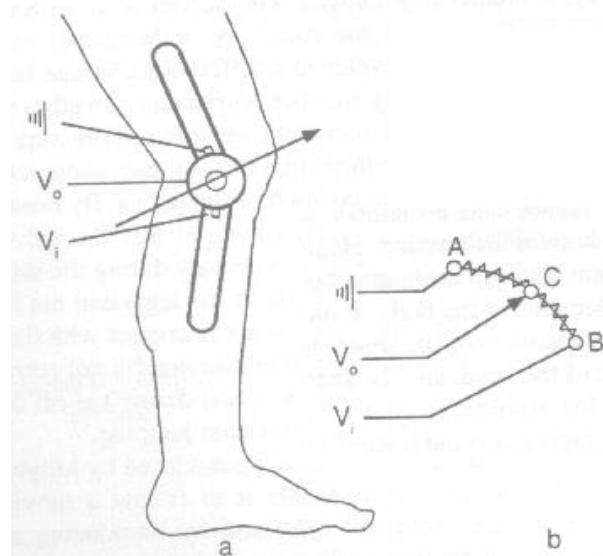
# GONIOMÈTRE

- Limites et difficultés de mise en place
  - ?



# GONIOMÈTRE

- Limites et difficultés de mise en place
  - Trouver le centre de rotation
  - Mouvement réduit à une simple rotation
  - Gêne dans le mouvement
  - Difficile dans les zones avec beaucoup de chairs



# EXOSQUELETTE

---

- Principe
  - Squelette métallique posé sur le sujet
- Avantages
  - ?
  - ?
- Inconvénients
  - ?
  - ?
  - ?



# EXOSQUELETTE

---

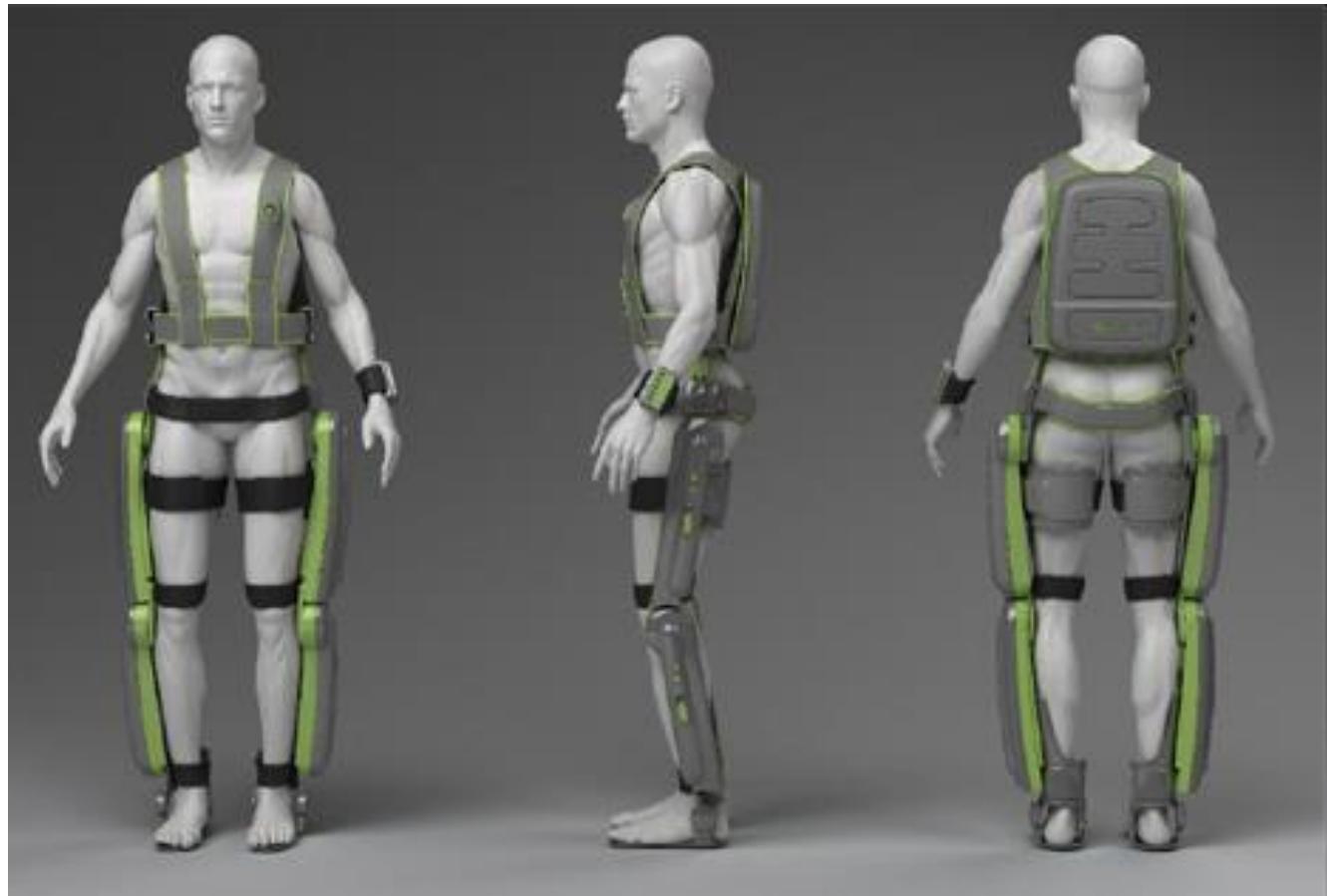
- Principe
  - Squelette métallique posé sur le sujet
- Avantages
  - Accès direct aux 6 degrés de liberté de chaque capteur
  - Traitement minimal, applications temps-réel
- Inconvénients
  - Encombrant
  - Lourd
  - Fils



# EXOSQUELETTE

---

- Parenthèse culturelle
  - Rewalk

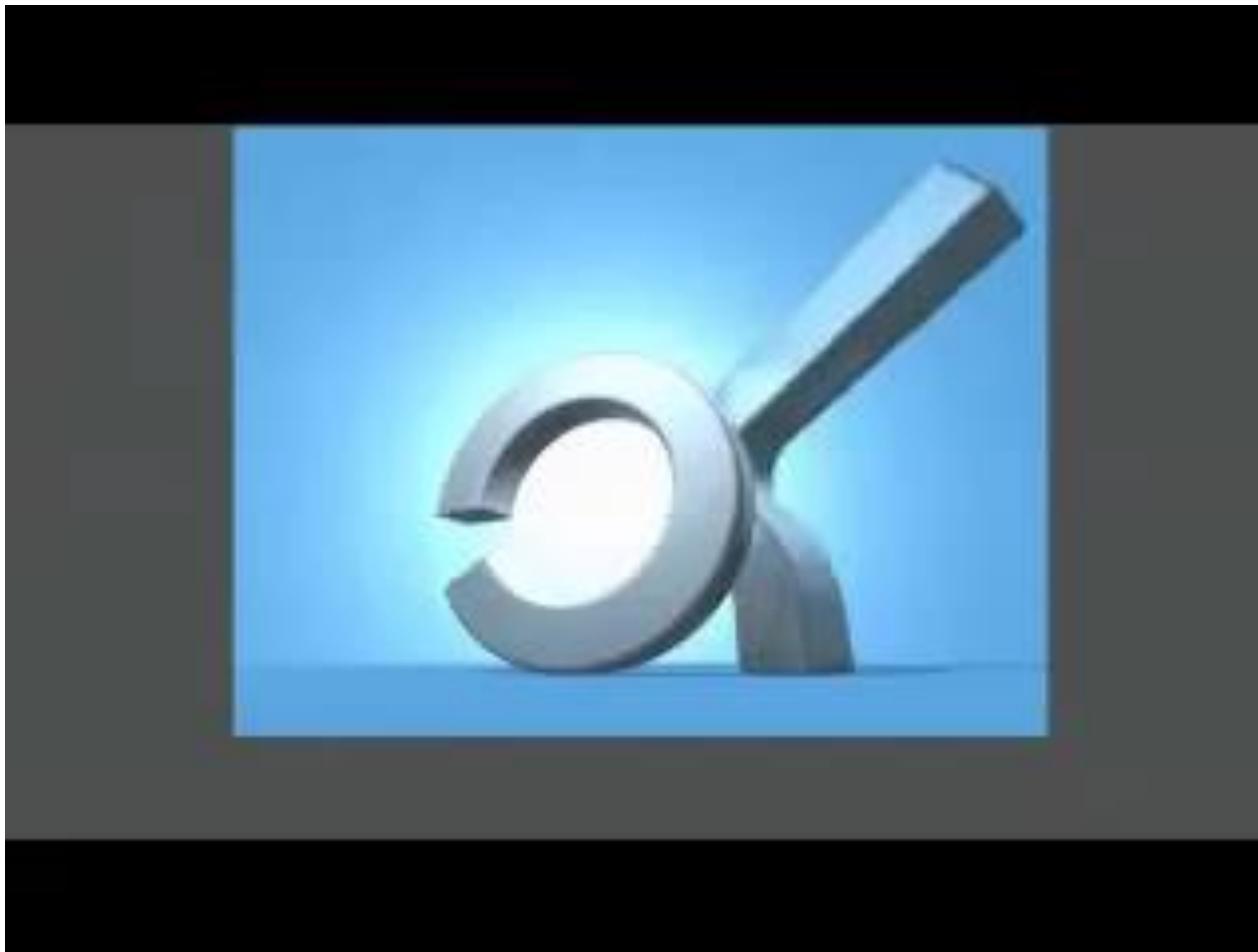


[http://www.zigonet.com/rewalk/invention-decouvrez-ce-nouveau-systeme-permettant-aux-handicapes-de-remarcher\\_art1288.html](http://www.zigonet.com/rewalk/invention-decouvrez-ce-nouveau-systeme-permettant-aux-handicapes-de-remarcher_art1288.html)

# EXOSQUELETTE

---

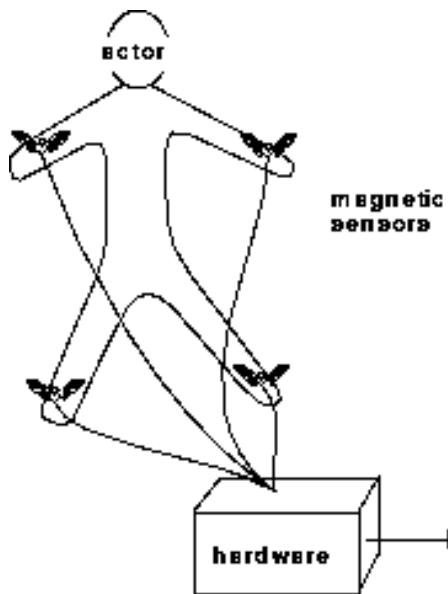
- Parenthèse culturelle
  - Rewalk



# SYSTÈMES MAGNÉTIQUES

## ■ Principe

- Chaque capteur réagit aux modifications du champ magnétique
- Fournit des données en position et orientation
- Placement des capteurs sur les membres
- Calcul des positions des articulations par intersection de sphères



# SYSTÈMES MAGNÉTIQUES

---

- Avantages

- ?
- ?
- ?

- Inconvénients

- ?
- ?
- ?
- ?

# SYSTÈMES MAGNÉTIQUES

---

- Avantages

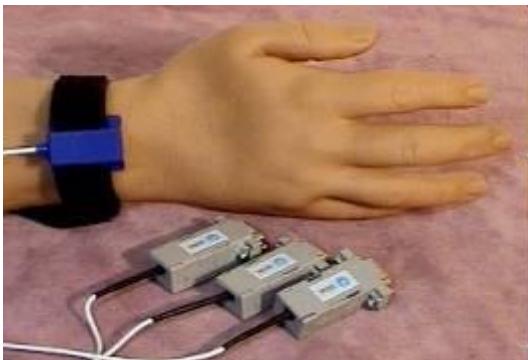
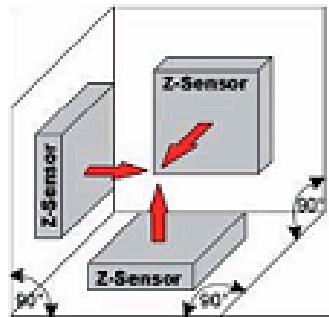
- Accès direct aux 6 degrés de liberté de chaque capteur
- Traitement minimal, applications temps-réel
- Pas d'occultation

- Inconvénients

- Inhomogénéités du champ et sensibilité aux perturbations EM (métaux)
- Bande-passante réduite
- Câbles limitant le mouvement
- Moins précis que l'optoélectronique

# ACCÉLÉROMÈTRES

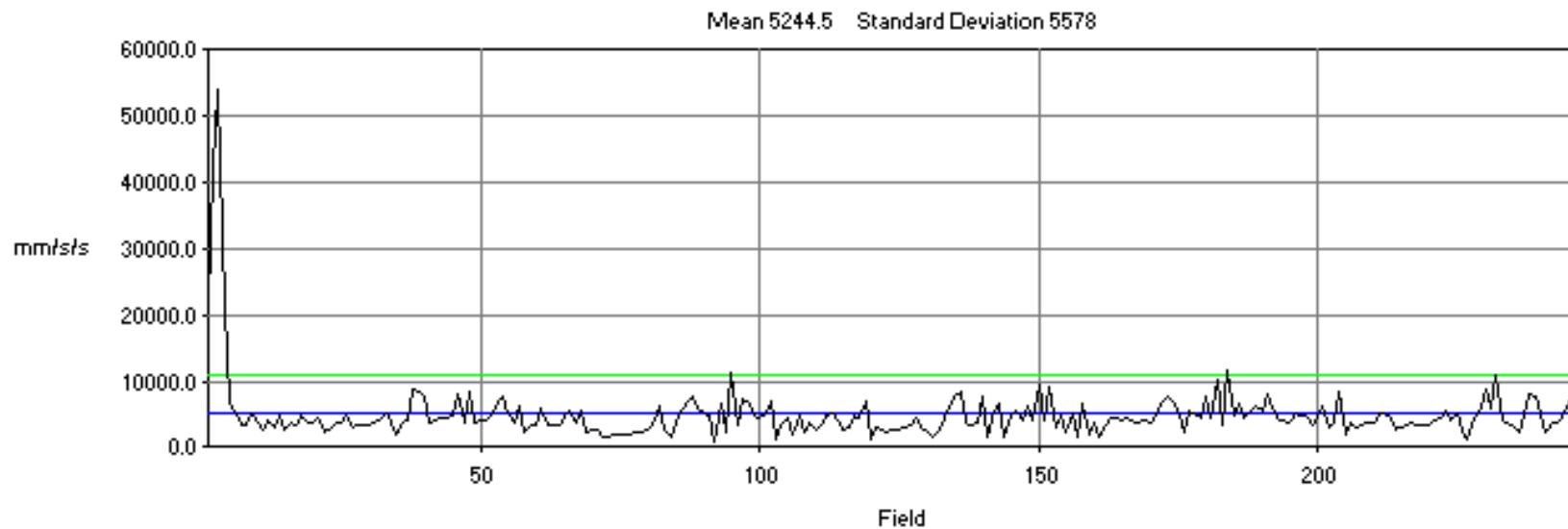
- Principe :
  - Capteurs mesurant l'accélération subie par un objet en mouvement
  - Accéléromètre triaxial → position d'un point dans l'espace par double intégration
  - Connaître la position initiale du point de départ en mouvement



# ACCÉLÉROMÈTRES

## ■ Inconvénient

- ?
- ?
- ?



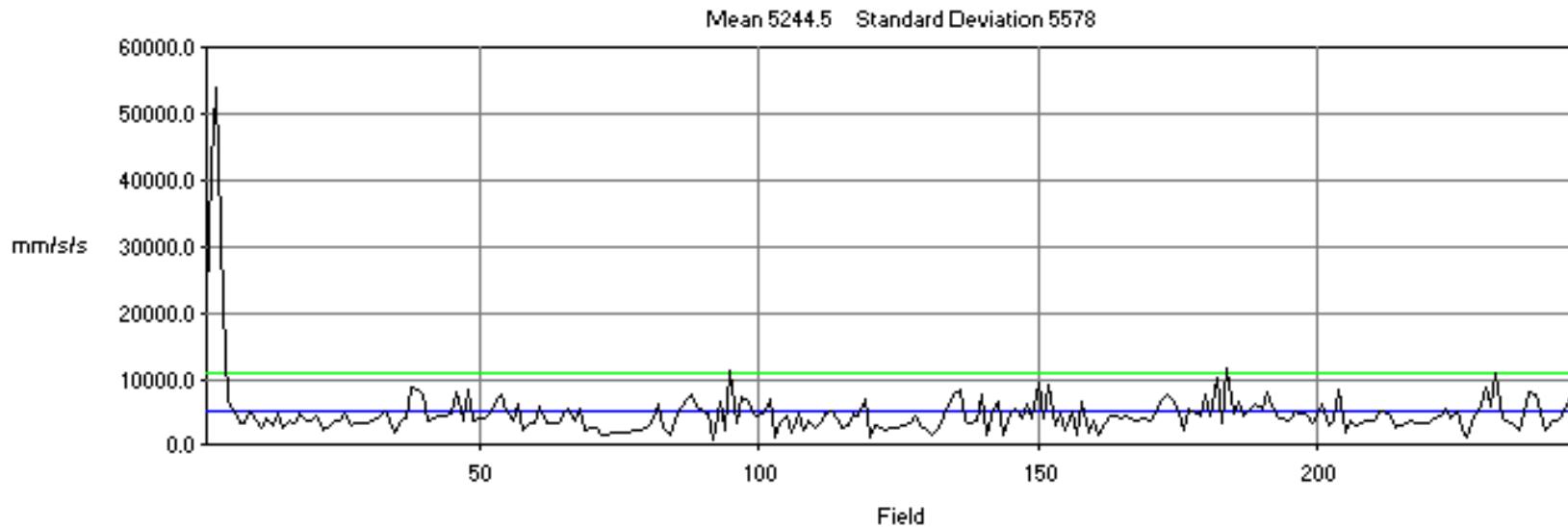
## ■ Avantage

- ?
- ?
- ?

# ACCÉLÉROMÈTRES

## ■ Inconvénient

- sensible au placement (vêtements...)
- difficile à analyser à cause du bruit : post-traitement
- précision

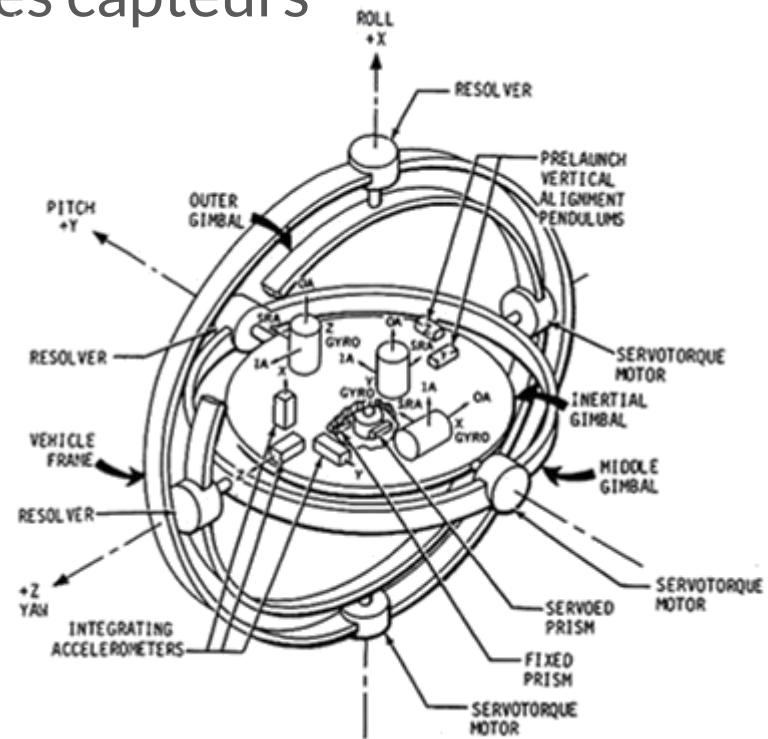
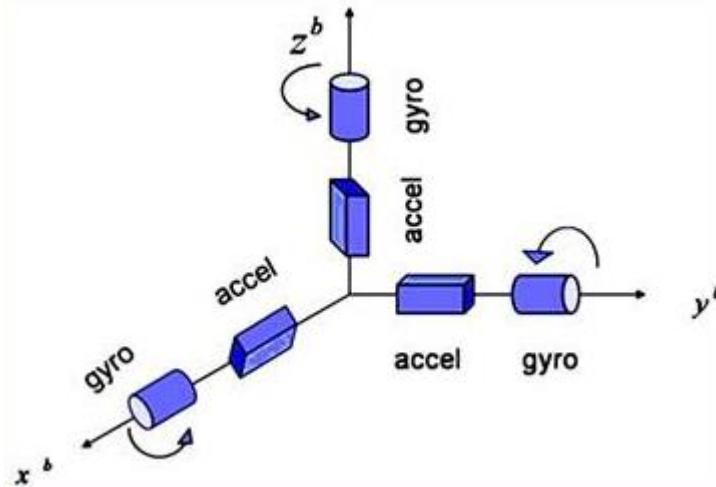


## ■ Avantage

- Pas cher
- Petit et léger
- Très utile pour détecter des événements

# CENTRALES INERTIELLES

- Systèmes multi-capteurs : centrales inertielles
  - Accéléromètre : accélération sur les 3 axes
  - Gyromètre : vitesse angulaire sur les 3 axes
  - Magnétomètre : champ magnétique terrestre
- Permet de corriger les derives des capteurs



# CENTRALES INERTIELLES

- Systèmes multi-capteurs : centrales inertielles
  - Accéléromètre : accélération sur les 3 axes
  - Gyromètre : vitesse angulaire sur les 3 axes
  - Magnétomètre : champ magnétique terrestre



# CENTRALES INERTIELLES

---

- Systèmes multi-capteurs : centrales inertielles
  - Accéléromètre : accélération sur les 3 axes
  - Gyromètre : vitesse angulaire sur les 3 axes
  - Magnétomètre : champ magnétique terrestre
- Trajectoires obtenues par double intégration
  - Accélération -> vitesse -> position
  - Amplification du bruit de mesure
  - Nécessite un filtrage (cf. partie post-traitement de ce cours)

# CENTRALES INERTIELLES

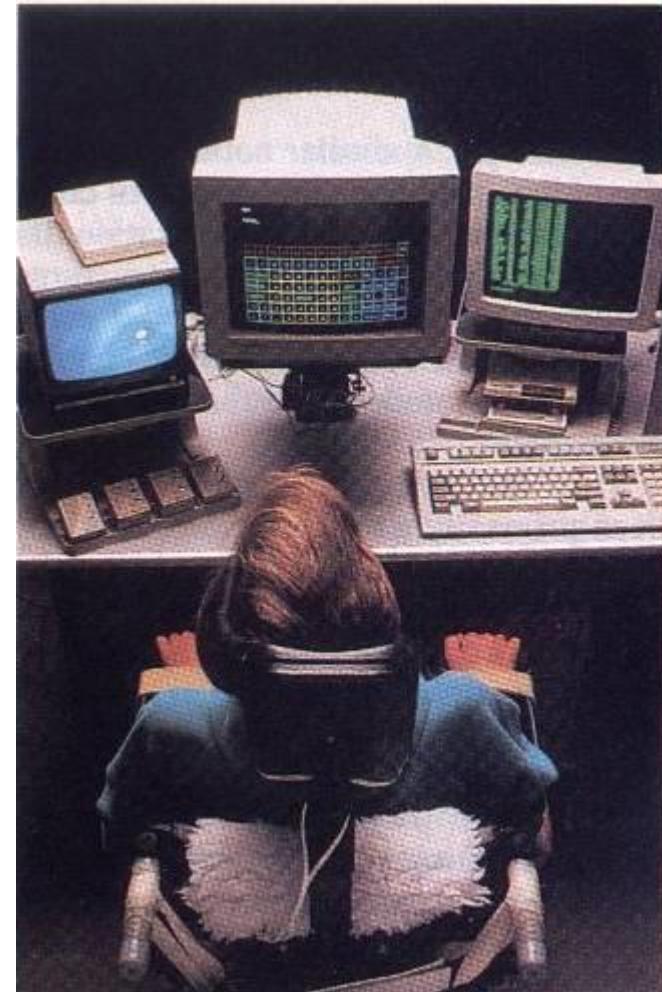
---

- Systèmes multi-capteurs : centrales inertielles
  - Accéléromètre : accélération sur les 3 axes

# OCLUOMÈTRE

---

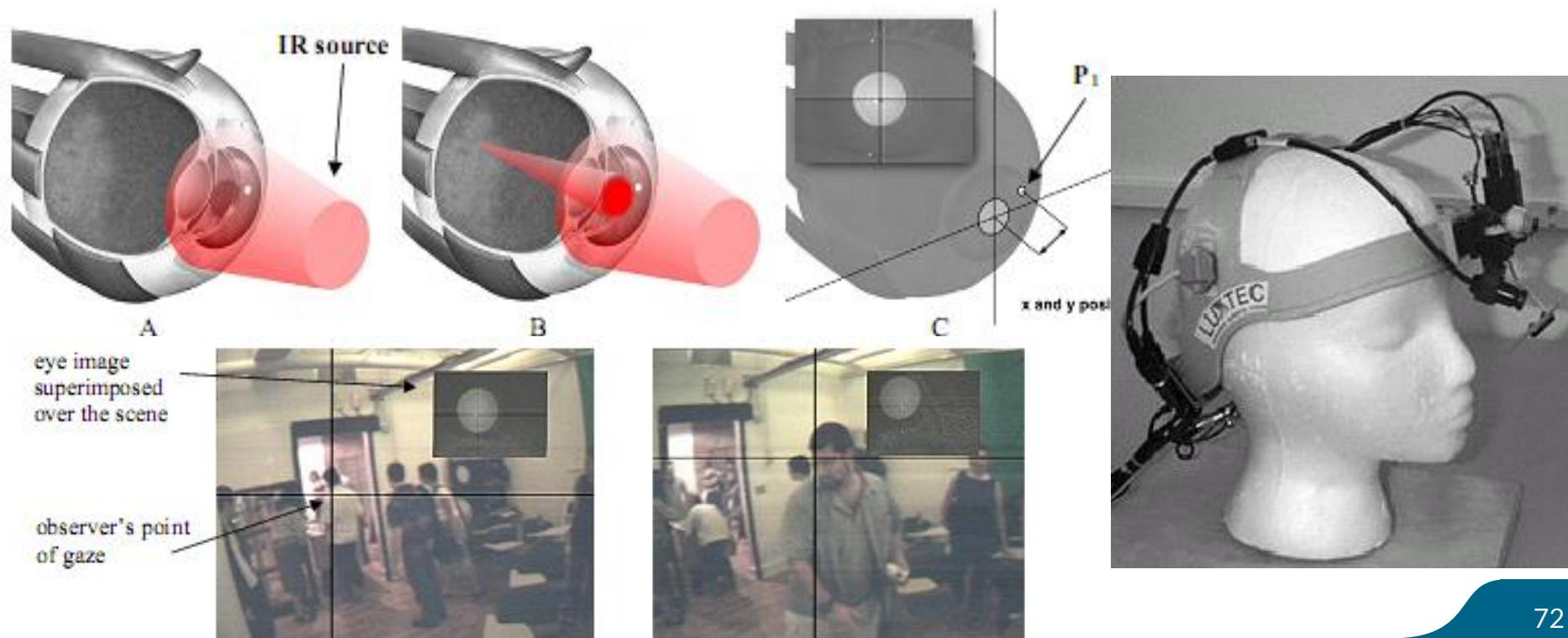
- Principe
  - Dispositif permettant de suivre les mouvements de l'œil et de connaître la localisation du regard
  - 3 méthodes différentes :
    - Par traitement d'image : caméra filme le visage + logiciel de reconnaissance visuelle identifie l'œil
    - équipement minimum mais précision faible car grande sensibilité



# OCLUOMÈTRE

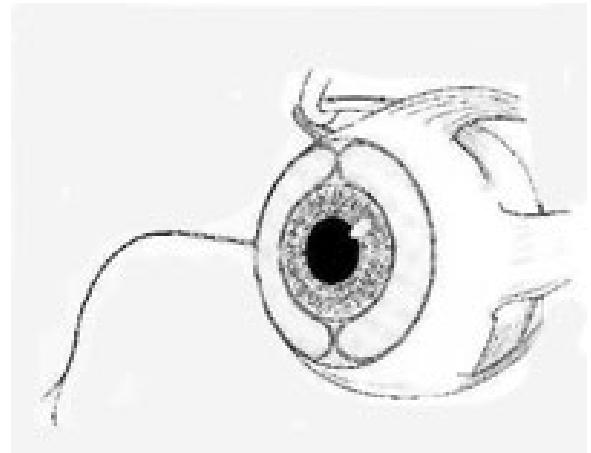
## ■ Principe :

- Par **réflexion cornéenne** : œil filmé et éclairé avec lumière infrarouge
- 2 types de reflets → fixes sur la cornée, mobiles sur la pupille
- Méthode plus précise



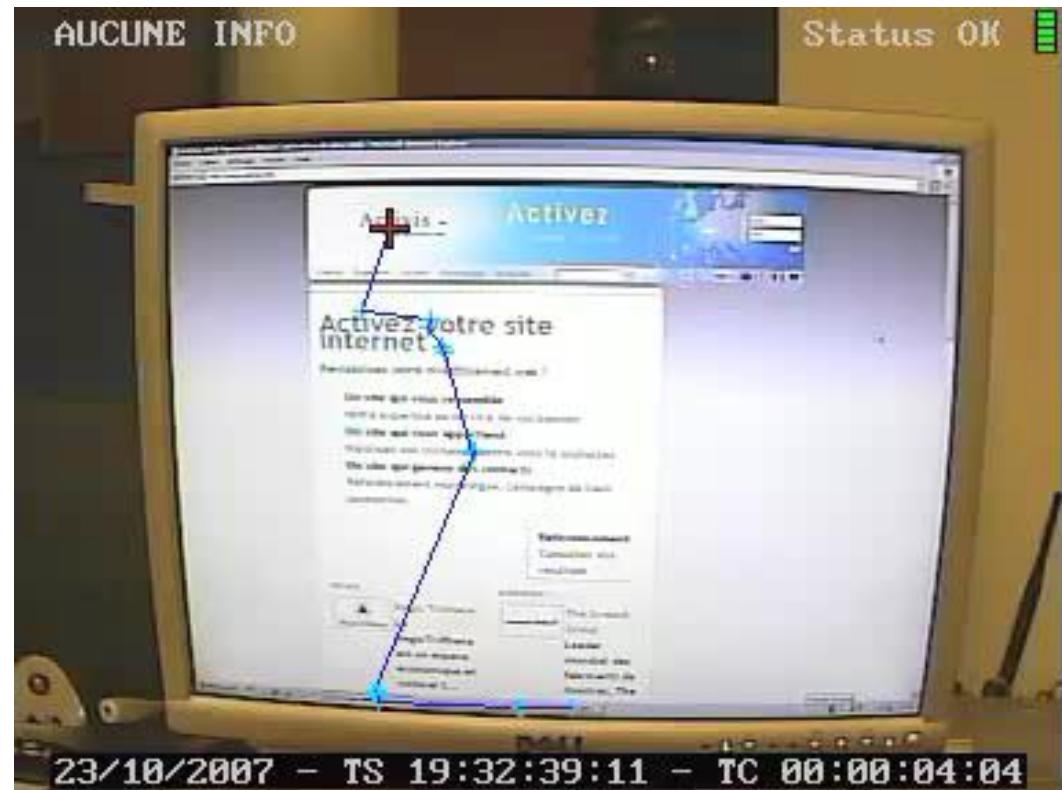
# OCLUOMÈTRE

- Principe :
  - Par **lentilles magnétiques** : mvt de l'œil entraîne des modifications du champ magnétique
  - Variations enregistrées par des capteurs positionnés proches de l'œil
  - Méthode précise mais coûteuse, voire dangereuse...



# OCLUOMÈTRE

- Fournit
  - Trajectoire du point de fixation du regard
  - Saccades oculaires
  - Zones les plus observées
  - (cf. partie représentation des données)
- Encore un facteur qui évolue au cours du temps : peut être utilisé comme descripteur d'un système de reconnaissance



# CLASSIFICATION DES SYSTÈMES

---

- Systèmes passifs : marqueurs placés sur le corps + système de mesure externe



# SYSTÈMES VIDÉO

---

- Principe : utilisation d'un ou plusieurs caméscopes pour acquérir le mouvement



- Nécessite de convertir des données images en mouvement humain
  - Grosse communauté scientifique qui travaille sur le traitement de l'image directement
  - Nous nous intéressons au mouvement du squelette !

# SYSTÈMES VIDÉO

---

- Différentes caractéristiques des caméscopes
  - Lesquelles ?
  - Et pourquoi c'est important dans notre contexte ?

# SYSTÈMES VIDÉO

---

- Différentes caractéristiques des caméscopes
  - Résolution : nombre de pixels
    - Taille des pixels et donc précision des mesures
  - Qualité zoom
    - Taille du sujet sur l'image et donc ratio entre taille réelle et pixel
  - Fréquence d'acquisition de 25Hz à +1000Hz
    - Acquérir des gestes rapides

# SYSTÈMES VIDÉO

---

- Précautions de mise en place
  - Luminosité/contraste
    - Bien reconnaître les marqueurs/symboles



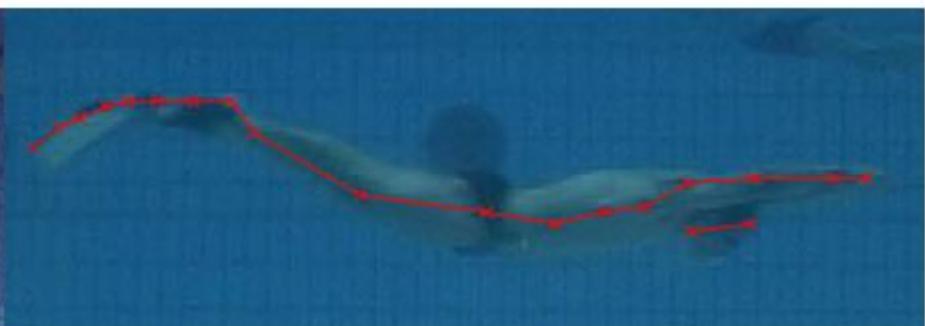
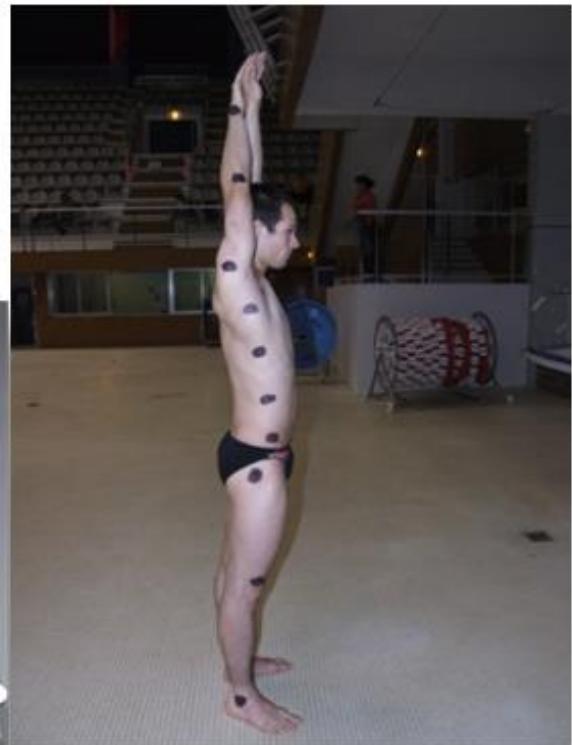
# SYSTÈMES VIDÉO

- Précautions de mise en place
  - Stabiliser caméra sur un pied
  - Peut-on utiliser un travelling ?
    - Oui si angle intersegmentaire par exemple
- Mouvement 2D : bien définir le plan du mouvement



# SYSTÈMES VIDÉO

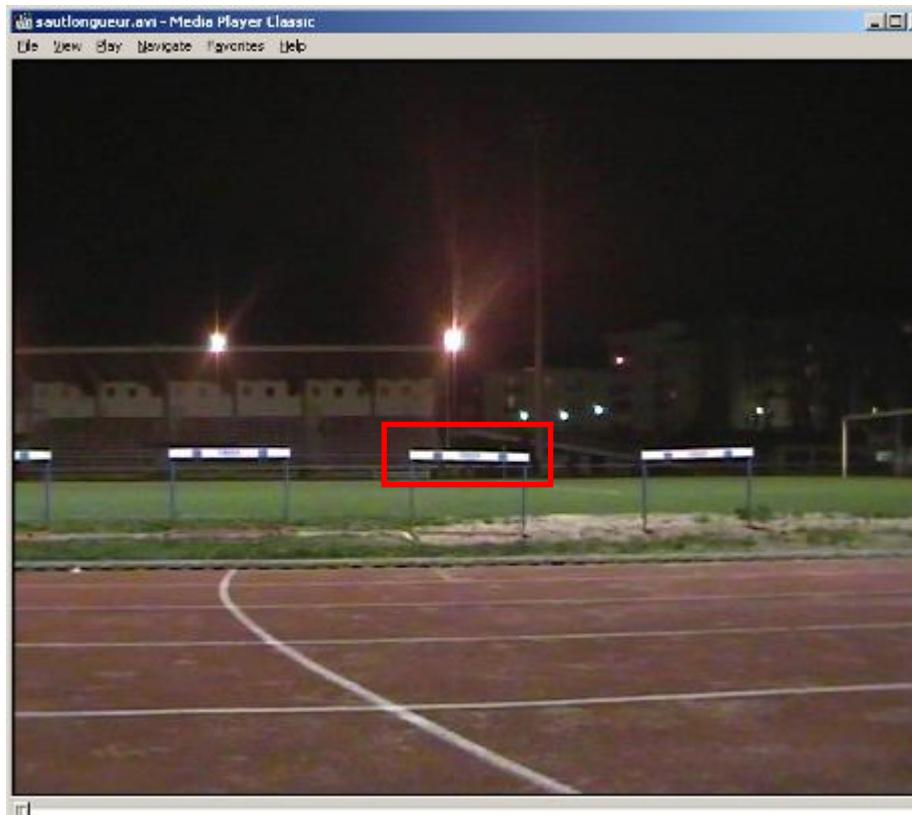
- Précautions de mise en place
  - Ajouter des marqueurs
  - Repères anatomiques



# SYSTÈMES VIDÉO

## ■ Précautions de mise en place

- Besoin de faire le lien entre les distances en pixel avec celles réelles
- Repères dans l'espace (mire)
- Placer dans le plan de profondeur du sujet capturé



# SYSTÈMES VIDÉO

---

- Différents types de logiciels d'analyse

- 1 caméra : DartFish, Kinovea  
→ Analyse en 2 dimensions
  - Plusieurs caméras : APAS, BiomécaLab  
→ Analyse en 3 dimensions

# SYSTÈMES VIDÉO

- Obtenir des mouvements 3D à partir de données 2D
  - Coupler plusieurs caméras



# SYSTÈMES VIDÉO

- Défis à relever
  - Problème de la synchronisation entre les caméras
    - Solution matérielle
    - Pic d'accélération sur toutes les vues (clap)



# SYSTÈMES VIDÉO

---

- Défis à relever
  - Problème de la synchronisation entre les caméras
    - Solution matérielle
    - Pic d'accélération sur toutes les vues (clap)
  - Calibration des caméras
    - Position et rotation relatives
    - Calibration des mesures (pixels vs. m)
      - Exemple d'expérimentation à Arsenal



# SYSTÈMES VIDÉO

---

- Défis à relever
  - Problème de la synchronisation entre les caméras
    - Solution matérielle
    - Pic d'accélération sur toutes les vues (clap)
  - Calibration des caméras
    - Position et rotation relatives
    - Calibration des mesures (pixels vs. m)
  - Suivi des mouvements
    - Manuel
    - Semi-manuel, ex. de Kinovea
    - Automatique



# SYSTÈMES VIDÉO

---

- Encore du domaine de la recherche
  - Plaquer des primitives géométriques dans l'image
  - Associer les primitives géométriques au squelette



# SYSTÈMES VIDÉO

---

- Domaine actif (mars 2017)

**Two-Stream RNN/CNN for Action Recognition in 3D Videos**

Rui Zhao, Haider Ali, Patrick van der Smagt

German Aerospace Center, Technische Universität München



# SYSTÈMES VIDÉO

---

- Défis à relever
  - Problème de la synchronisation entre les caméras
    - Solution matérielle
    - Pic d'accélération sur toutes les vues (clap)
  - Calibration des caméras
    - Position et rotation relatives
    - Calibration des mesures (pixels vs. m)
  - Suivi des mouvements
    - Manuel
    - Semi-manuel, ex. de Kinovea
    - Automatique
  - Correction des mouvements
    - Cf. partie du cours plus tard



# SYSTÈMES VIDÉO

---

- Avantages

- ?
- ?

- Inconvénients

- ?
- ?
- ?
- ?

# SYSTÈMES VIDÉO

---

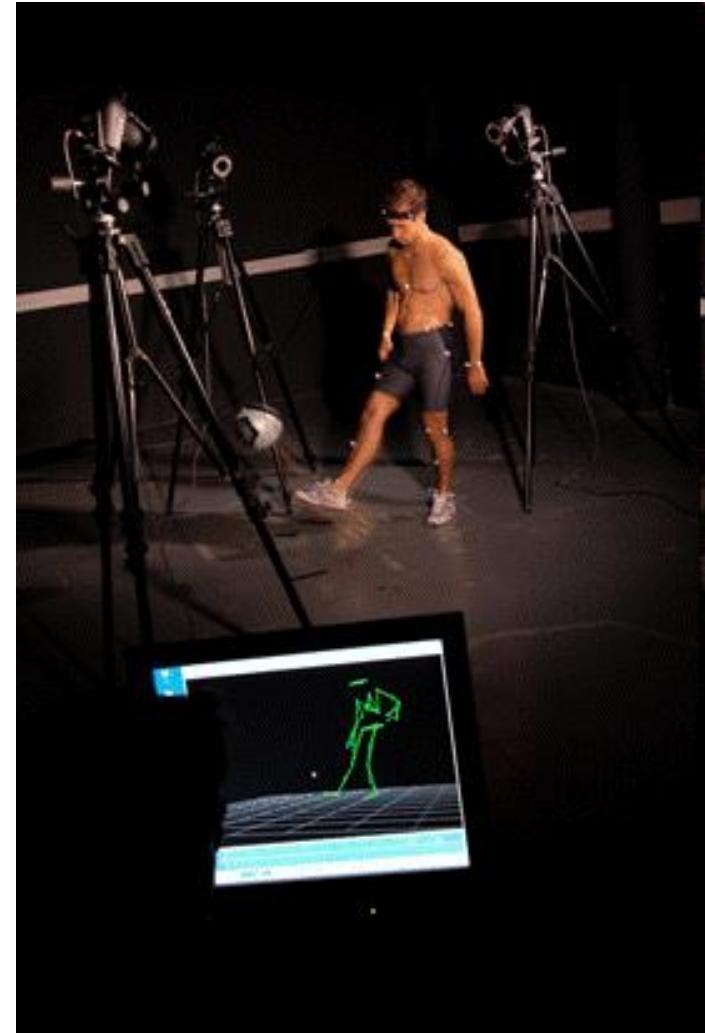
- Avantages
  - Peu coûteux
  - Facilité d'utilisation en 2D
  - Aucune gêne sur le mouvement
  
- Inconvénients
  - Utilisation plus complexe en 3D
  - Grande partie manuelle
  - Calibration difficile
  - Précision

# SYSTÈMES OPTOÉLECTRONIQUES

- Système le plus précis
- Principe
  - Caméras infrarouges
  - Marqueurs réfléchissants
  - Filtre optique pour ne voir que les reflets de lumière infrarouge

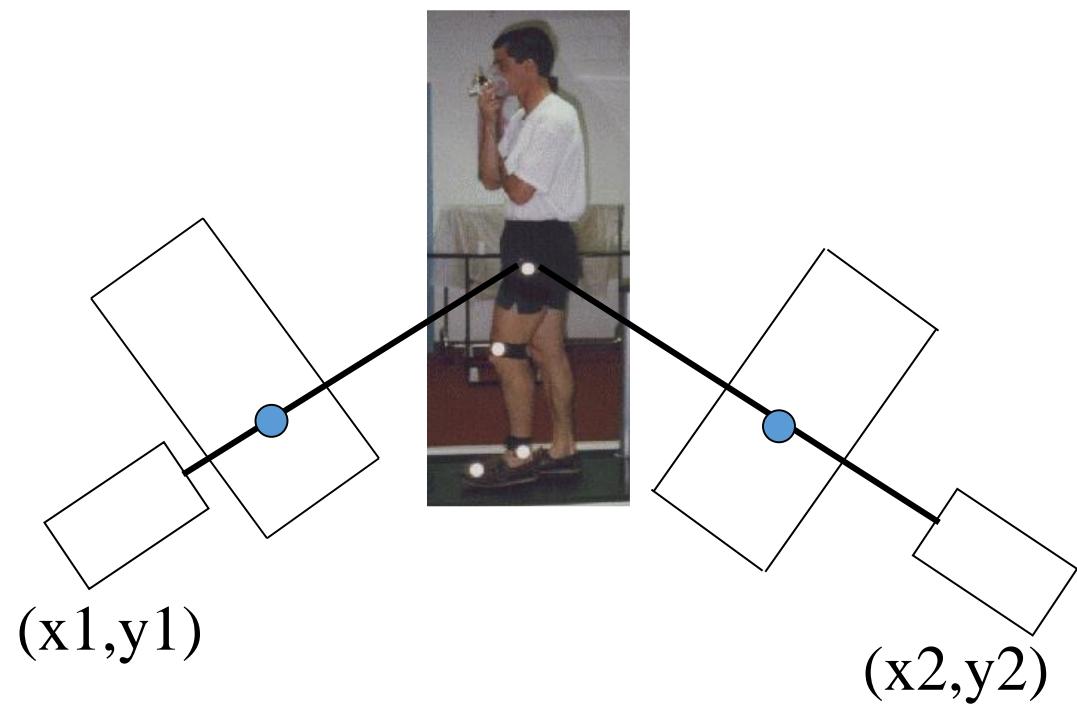
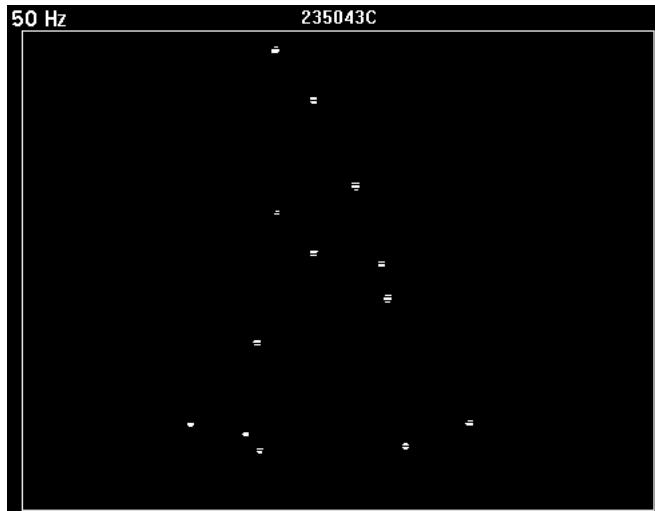


- Capture donc des positions en 3D
  - Calibration des caméras : passage de la 2D à la 3D



# RAPPEL DU PRINCIPE

- Positions 3D déterminées à l'intersection des perpendiculaires aux caméras et passant par les points observés



# SÉANCE DE CAPTURE

---

- Installation du matériel



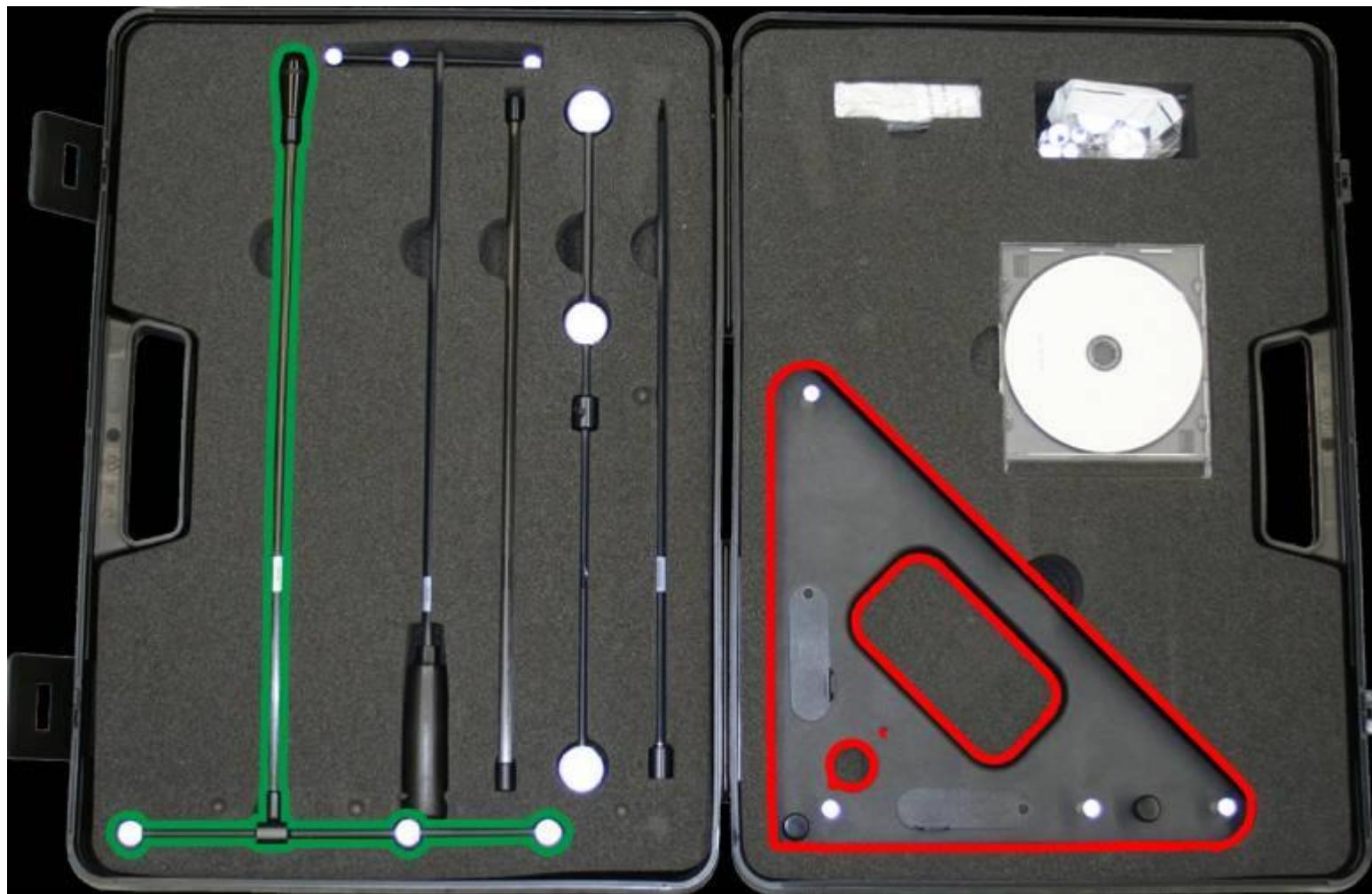
# LA PHASE DE CALIBRATION

---

- Cette phase consiste à déterminer la position/orientation les unes par rapport aux autres
  - Calibration dynamique
- On utilise ensuite une mire de calibration pour placer les caméras par rapport à un repère extérieur (lié au sol en général)
  - Calibration statique

# SÉANCE DE CAPTURE

---



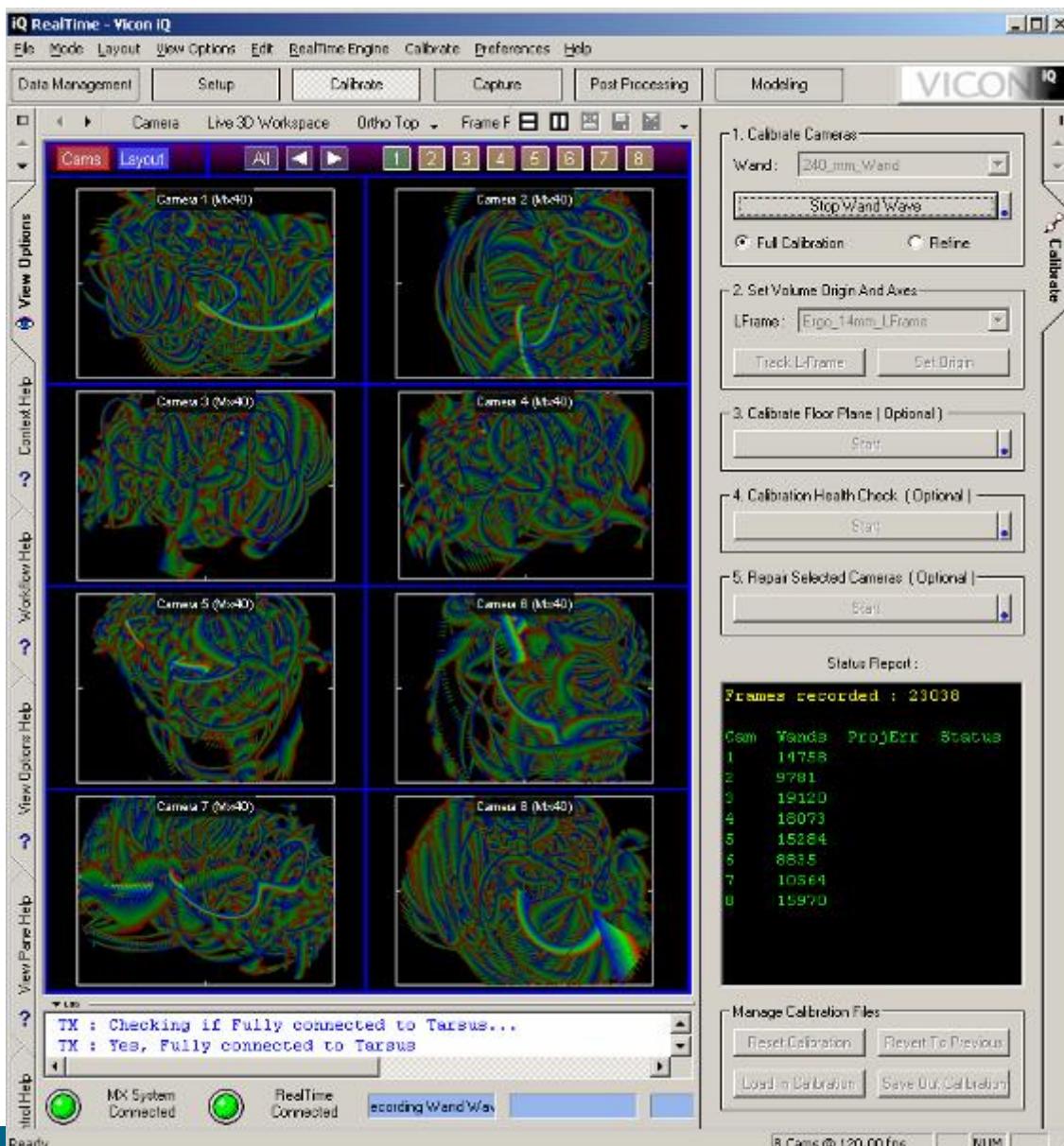
# SÉANCE DE CAPTURE

---

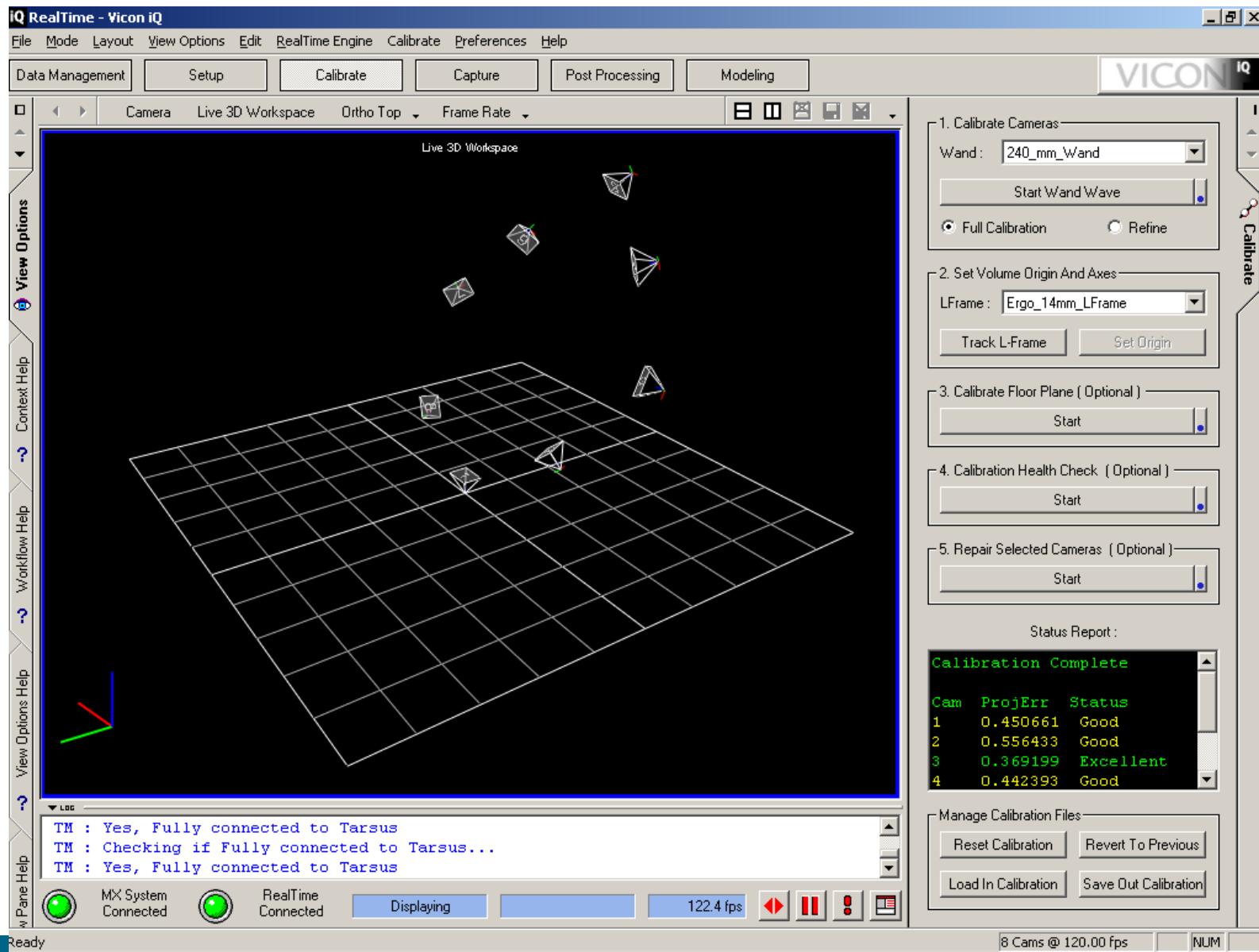
- Phase de calibration dynamique



# SÉANCE DE CAPTURE



# SÉANCE DE CAPTURE



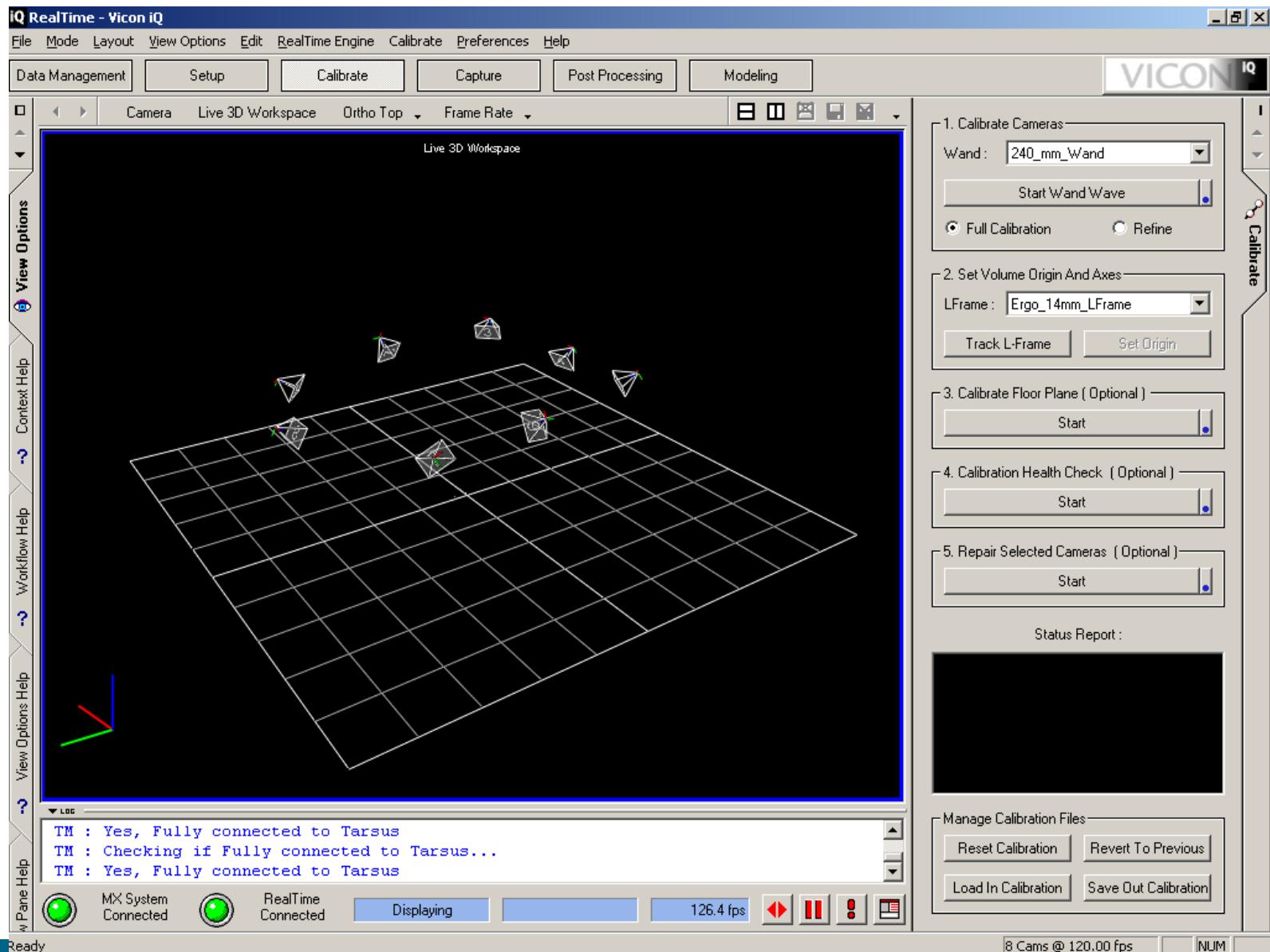
# SÉANCE DE CAPTURE

---

- Calibration statique
  - Définit l'origine du repère

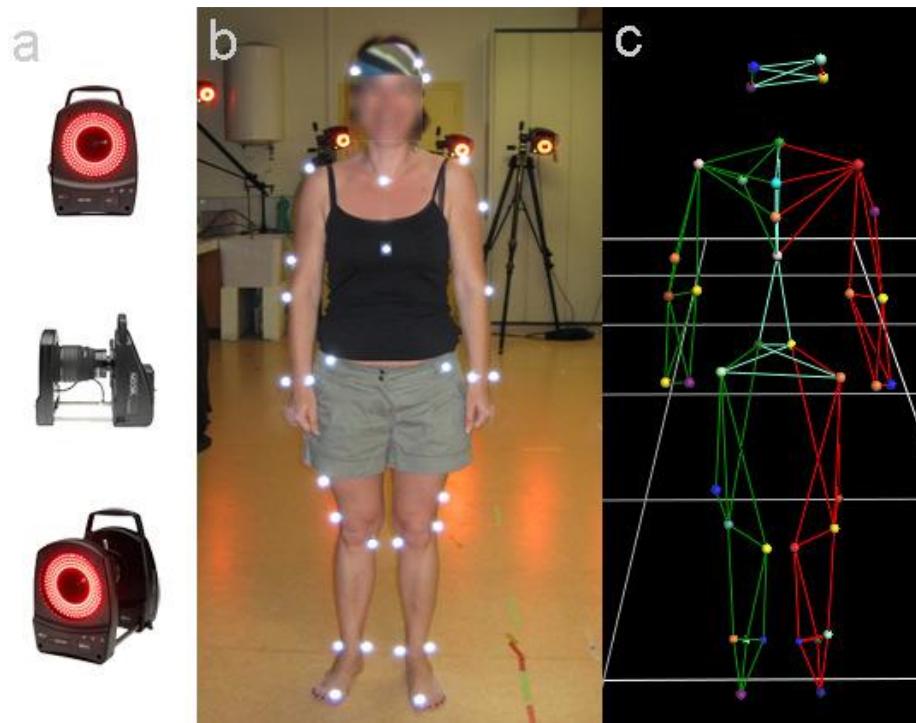


# SÉANCE DE CAPTURE



# SÉANCE DE CAPTURE

- Placement des marqueurs

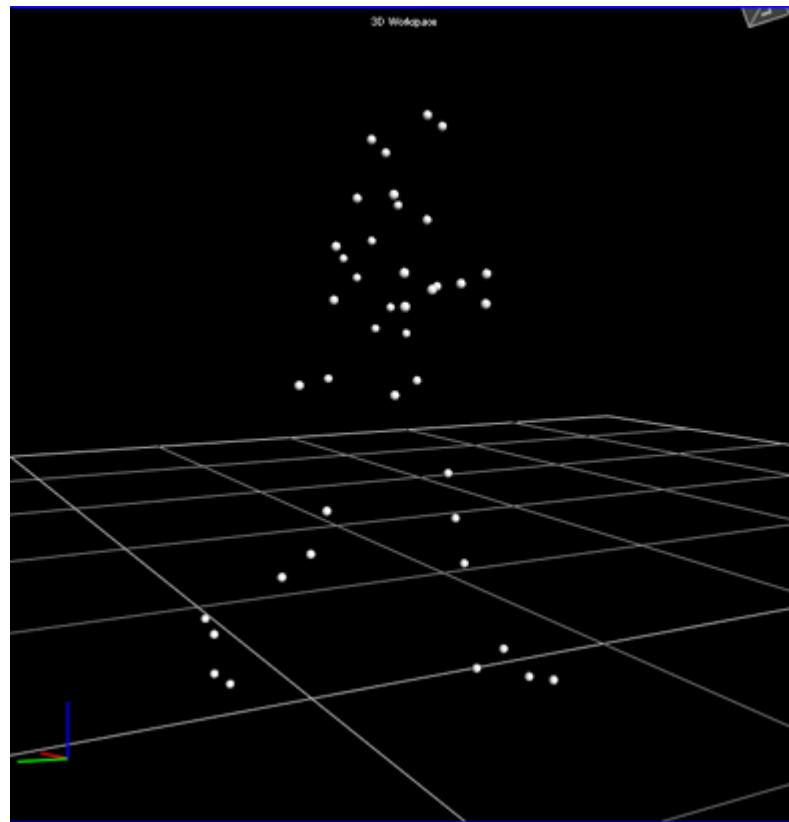


# SÉANCE DE CAPTURE

---

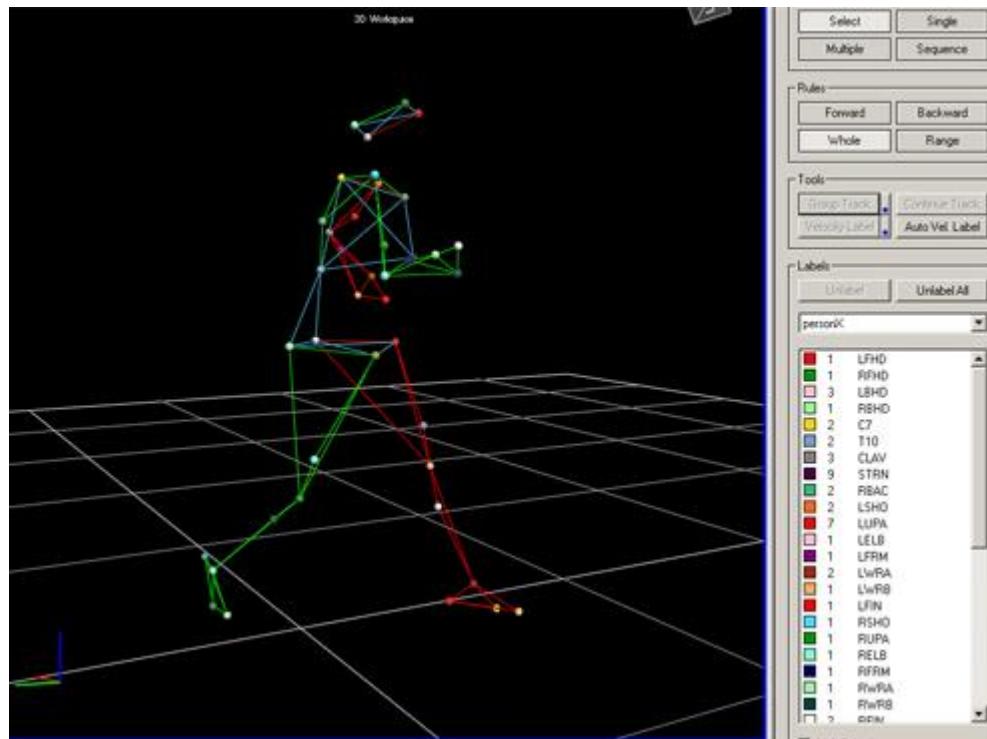
## ■ Reconstruction 3D

- Automatique puisque calibré : problèmes à régler (cf. partie traitement)
- Que manque-t-il ?



# SÉANCE DE CAPTURE

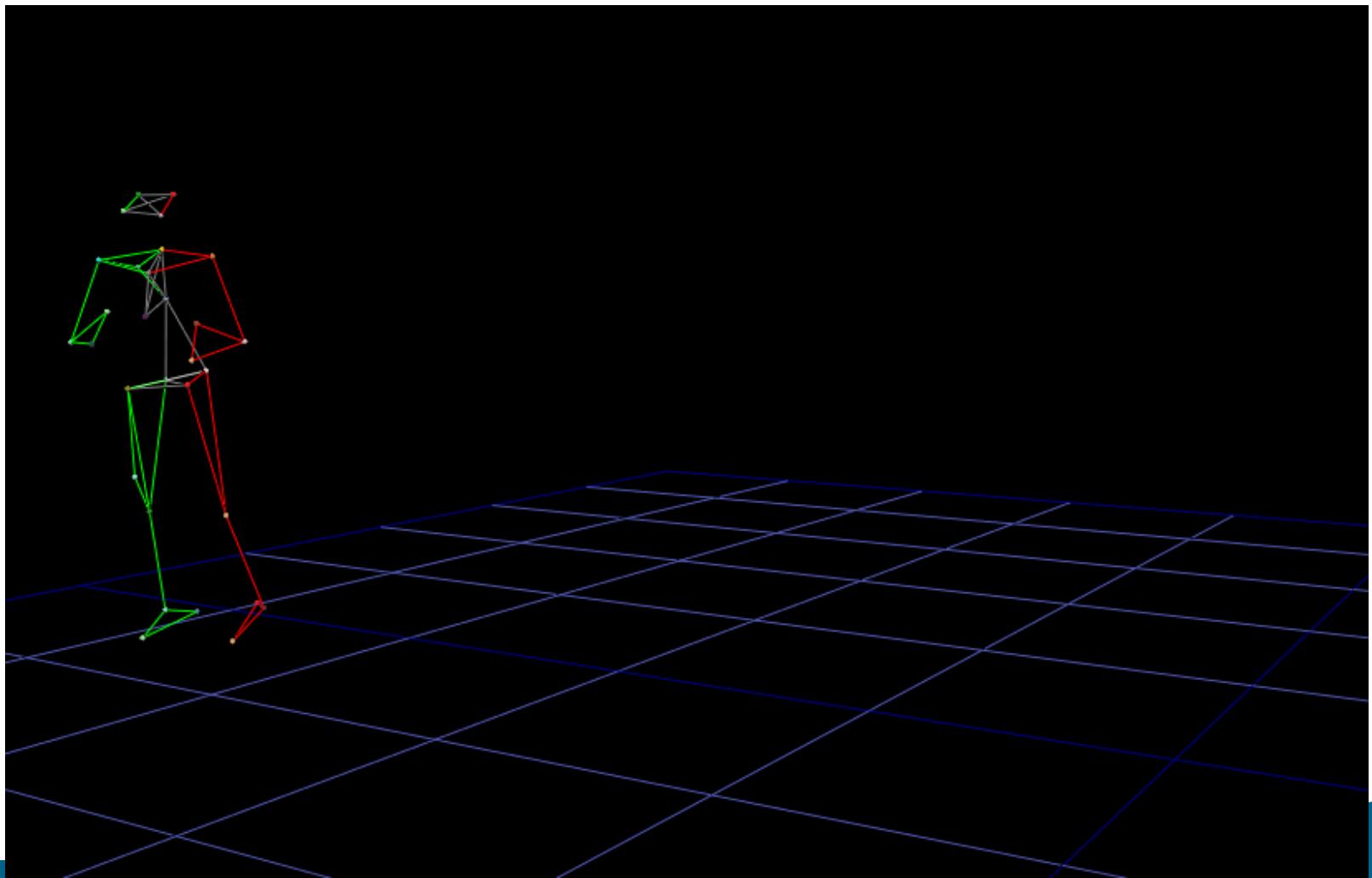
- Labellisation des marqueurs
  - Association d'un modèle de squelette
  - normes comme H-Anim ou ISB ou [Winter90]



# CAPTURE DE MOUVEMENTS

---

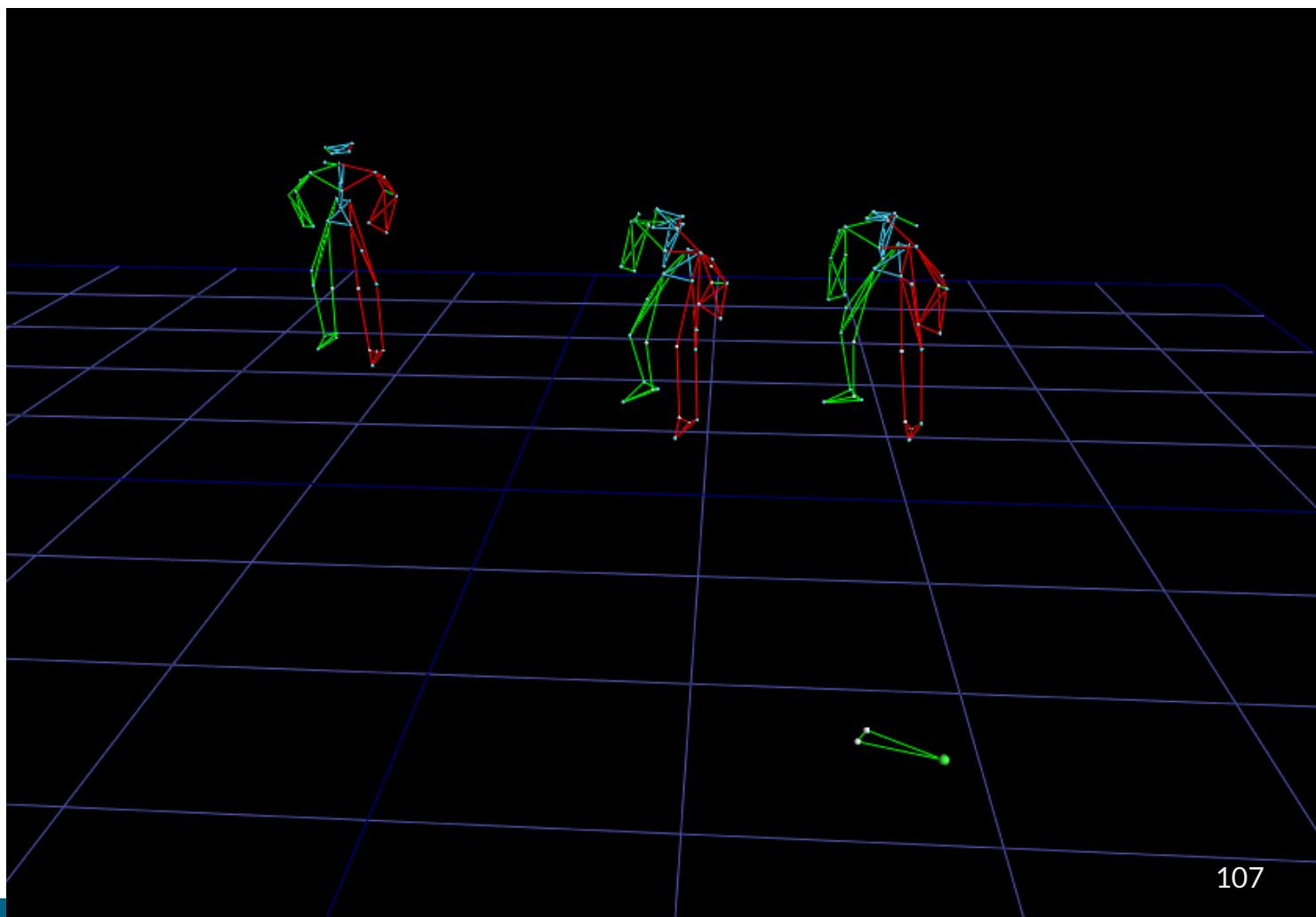
- Exemple



# CAPTURE DE MOUVEMENTS

---

- Possible aussi de le faire avec plusieurs sujets



# SYSTÈMES OPTOÉLECTRONIQUES

---

- Avantages

- ?
- ?
- ?

- Inconvénients

- ?
- ?
- ?
- ?

# SYSTÈMES OPTOÉLECTRONIQUES

---

- Avantages
  - Précision de la mesure
  - Bande passante étendue ( $\sim 250$  Hz)
  - Grande liberté de mouvement (attention aux types de marqueur)
  
- Inconvénients
  - Occultation d'un marqueur  $\Rightarrow$  attention aux placements (caméras et marqueurs)
  - Positionnement des marqueurs (tissus mous, vêtements, os ?)
  - Interférences lumineuses (apparition de fantômes)
  - Post-traitement nécessaire

# SYSTÈMES OPTOÉLECTRONIQUES

---

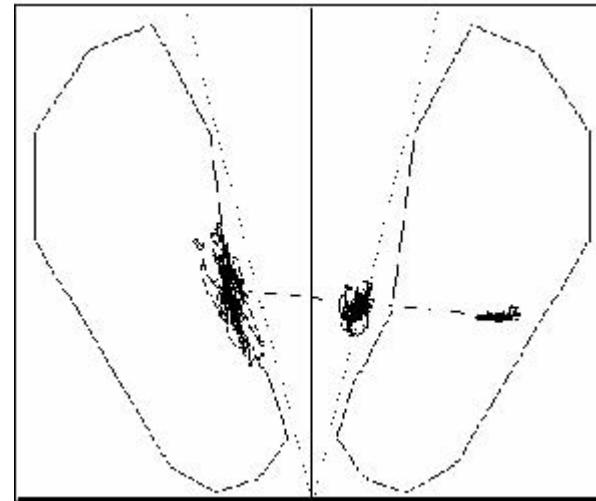
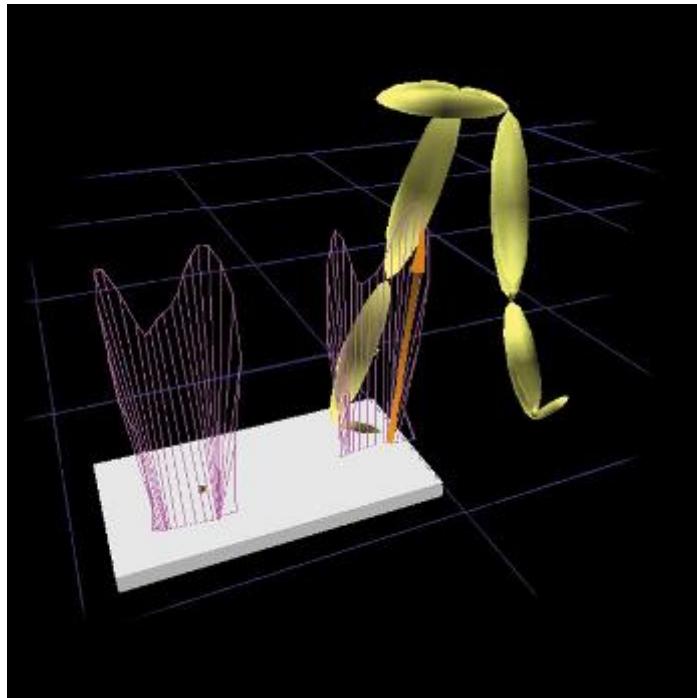
- Système de référence
  - Précision autour du mm
- Attention pour la reconnaissance
  - Position 3D uniquement
  - Apprendre avec ce système puis faire la reconnaissance avec Kinect

# ACQUISITION DE DONNÉES

Données dynamiques

# PLATEFORME DE FORCES

- Statique car fixée dans le sol
- Mesure en temps-réel des forces et des moments de force
- Utiliser aussi pour estimer le trajet du centre de pression



# PLATEFORME DE FORCES

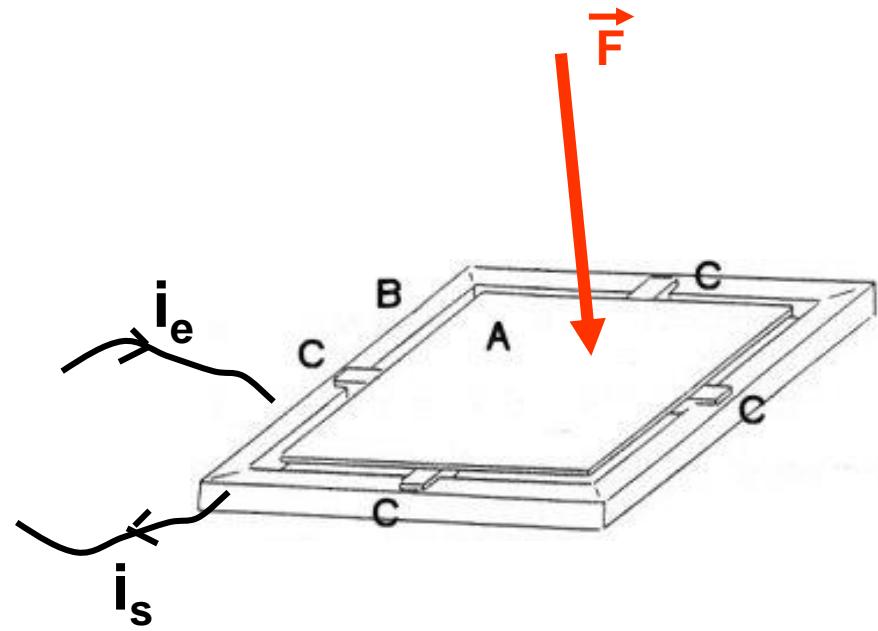
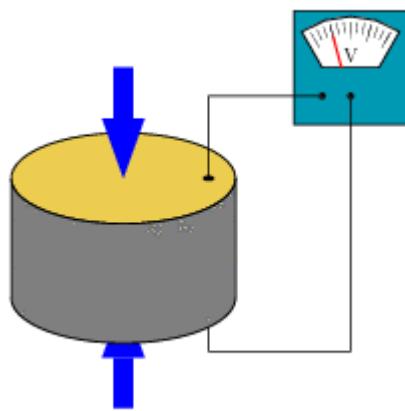
Socle

A = plaque métallique rigide

B = cadre métallique

C = capteurs de forces

(jauges de déformation ou  
capteurs piézo-électriques)

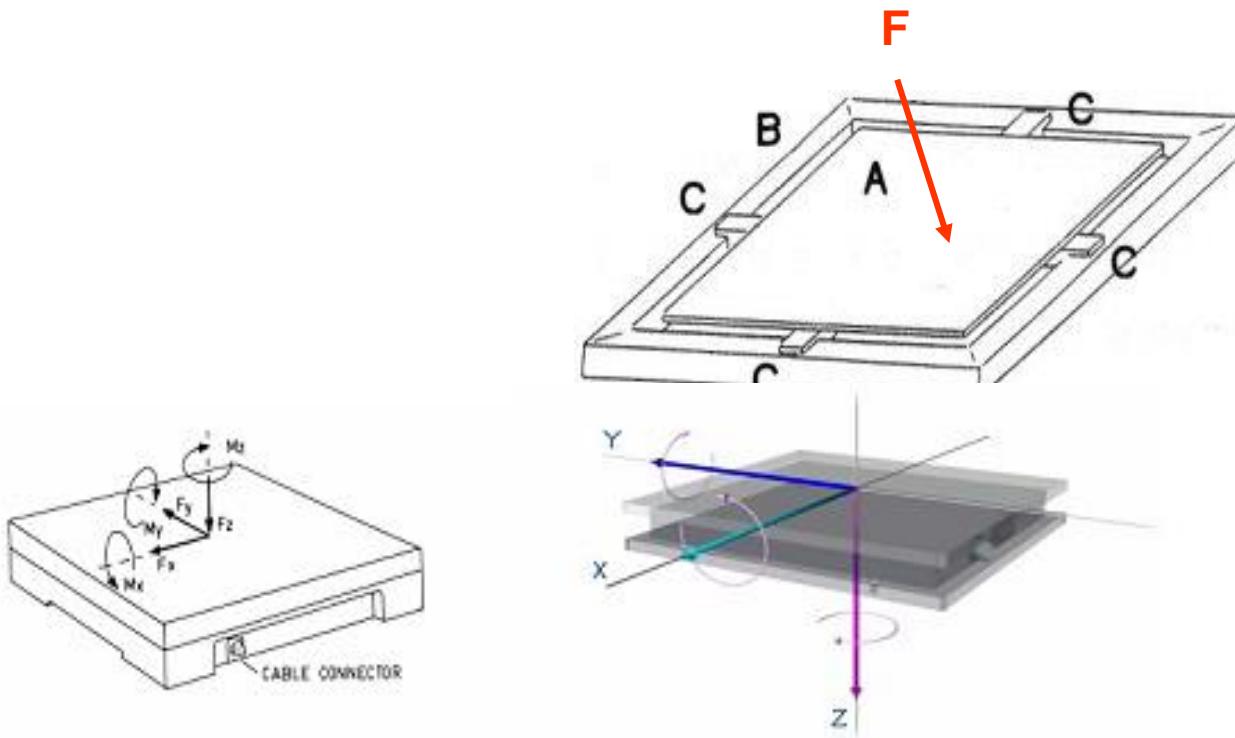


F exercée = proportionnelle à la déformation des capteurs,  
donc au courant passant dans les jauge ou les cristaux

# PLATEFORME DE FORCES

- Paramètres mesurés

- Forces agissant sur le sol
- Moments de ces forces
- Point d'application de la réaction = centre de pression



# PLATEFORME DE FORCES

---

- Centre de pression (CoP)

- Point d'application de la résultante des forces appliquées sur la plaque
- CoP sert à identifier des troubles de l'équilibre par exemple
- CoP peut servir de feedback pour améliorer l'équilibre postural
  - A titre ludique : Wii
  - A titre médicale : marché en pleine expansion



# PLATEFORME DE FORCES

---

- Attention, résultante des forces
- Pour étudier les deux appuis, il faut deux plateformes de forces
- Exemple pour la marche



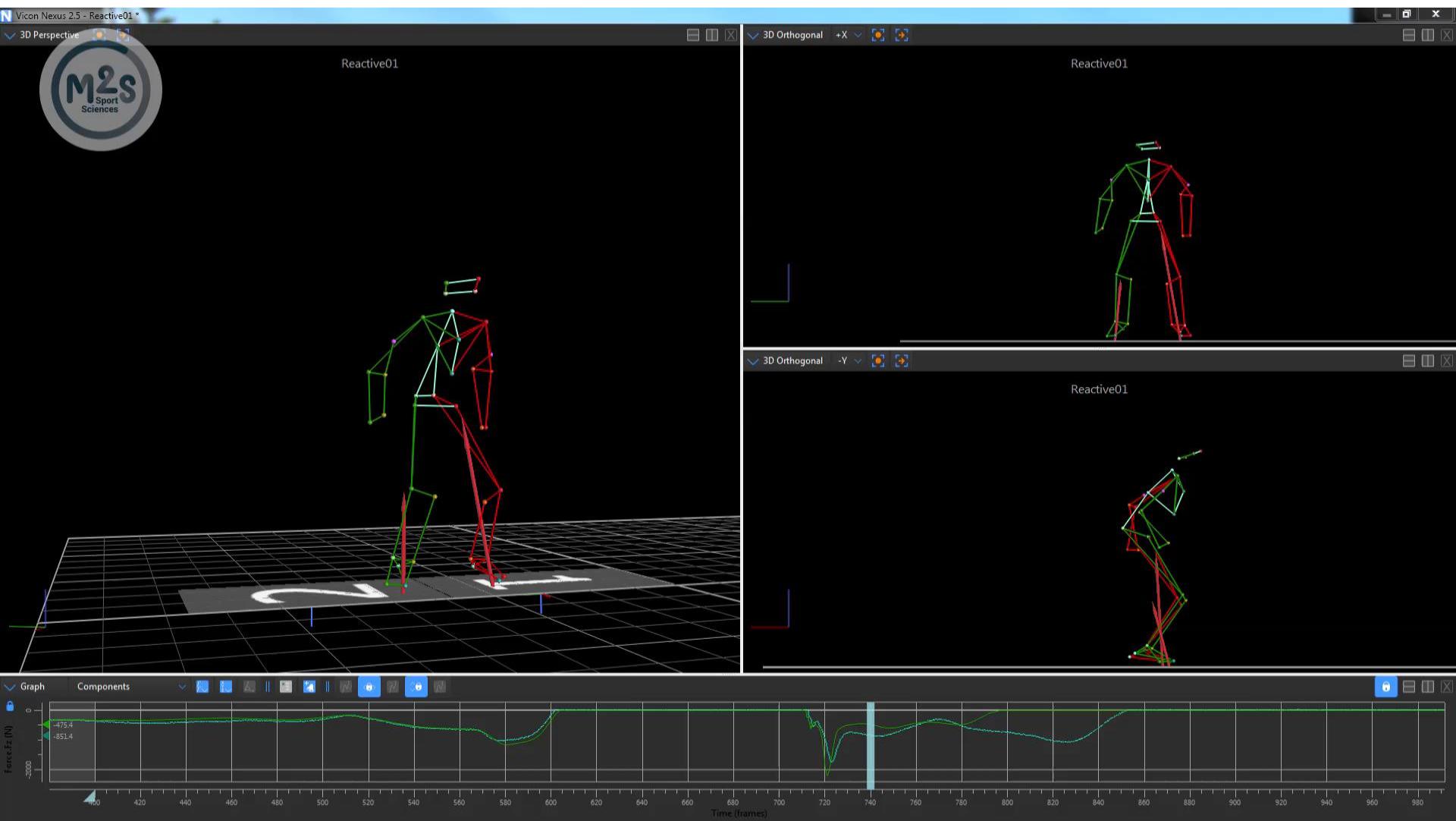
# PLATEFORME DE FORCES

---

- Exemple sur la réactivité de joueurs de football



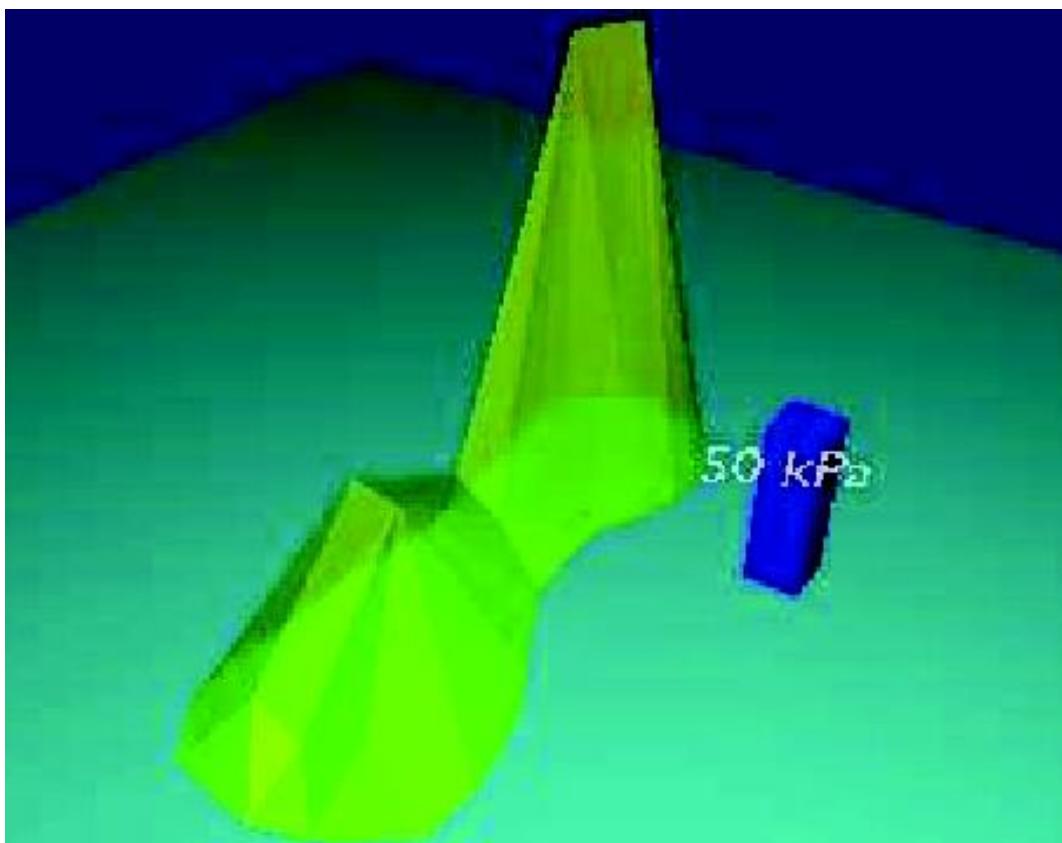
# PLATEFORME DE FORCES



# PLATEFORME DE FORCES

- Limites

- Mesure des composantes de la force de réaction totale sans donner la répartition des forces sous le pied



Ex : en posture debout

# CAPTEURS DE PRESSION

## ■ Principe

- Semelles avec capteurs de pression (256/semelle)
- Système de mesure embarqué
- Permet d'obtenir la composante verticale de la force
- Permet aussi d'obtenir la répartition des pressions sous le pied
- Fréquence 50Hz



## ■ Pas de direction de la force

## ■ Mais des données au cours du temps

- Utilisable en reconnaissance d'appuis

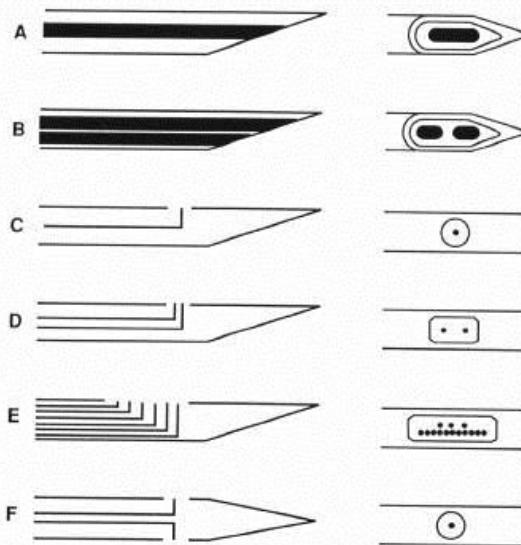


# ACQUISITION DE DONNÉES

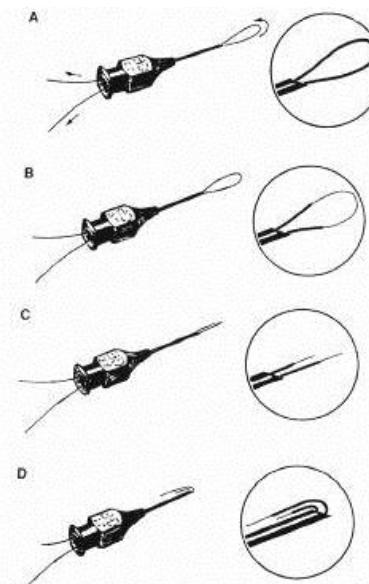
Données musculaires

# ELECTROMYOGRAPHIE (EMG)

- Enregistrement de l'activité électrique musculaire lors de la contraction (= signal myoélectrique)
- EMG intramusculaire
  - Enregistrement sélectif (une ou quelques fibres)
  - Problème : invasif / non reproductible



Électrodes à aiguille

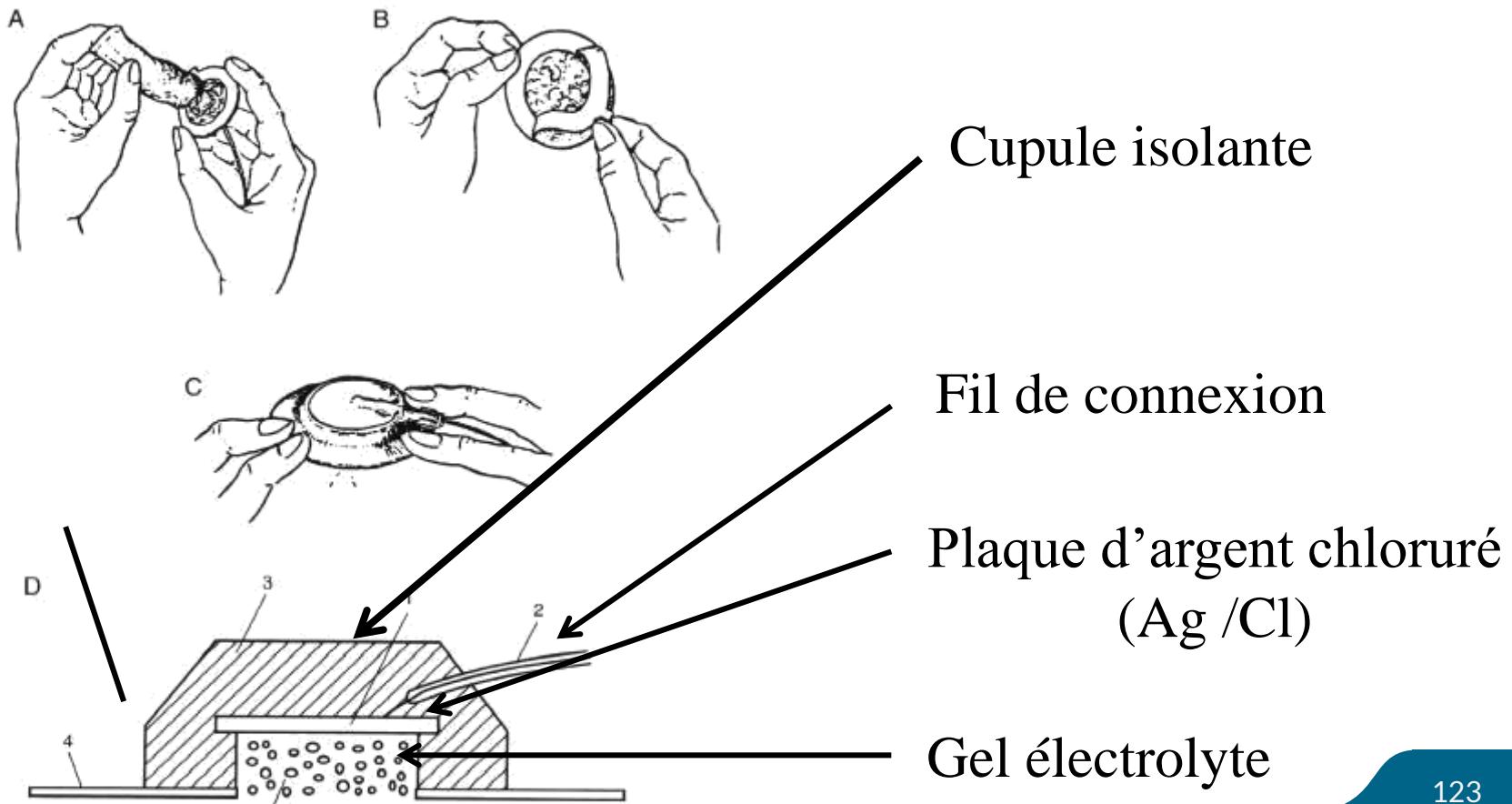


Électrode à fil

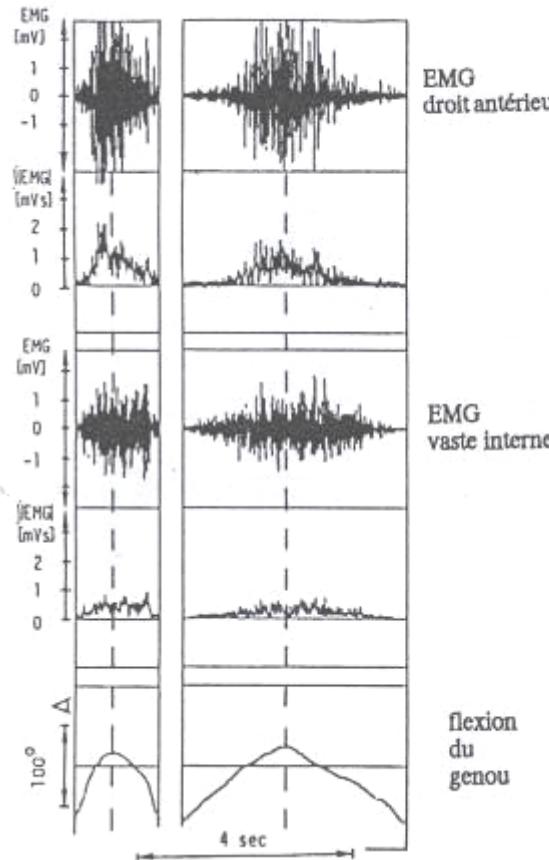
# ELECTROMYOGRAPHIE (EMG)

## ■ EMG de surface

- Activité globale du muscle
- Problème : enregistrement à distance



# ELECTROMYOGRAPHIE (EMG)



# ELECTROMYOGRAPHIE (EMG)

---

- Permet d'évaluer la production de forces
  - Complémentaire de la cinématique
  - Exemple de la co-contraction
- 
- Problème : nécessite un post-traitement important, surtout au niveau filtrage
    - SENIAM

# ACQUISITION DE DONNÉES

Données couplées

# ACQUISITION DE DONNÉES

---

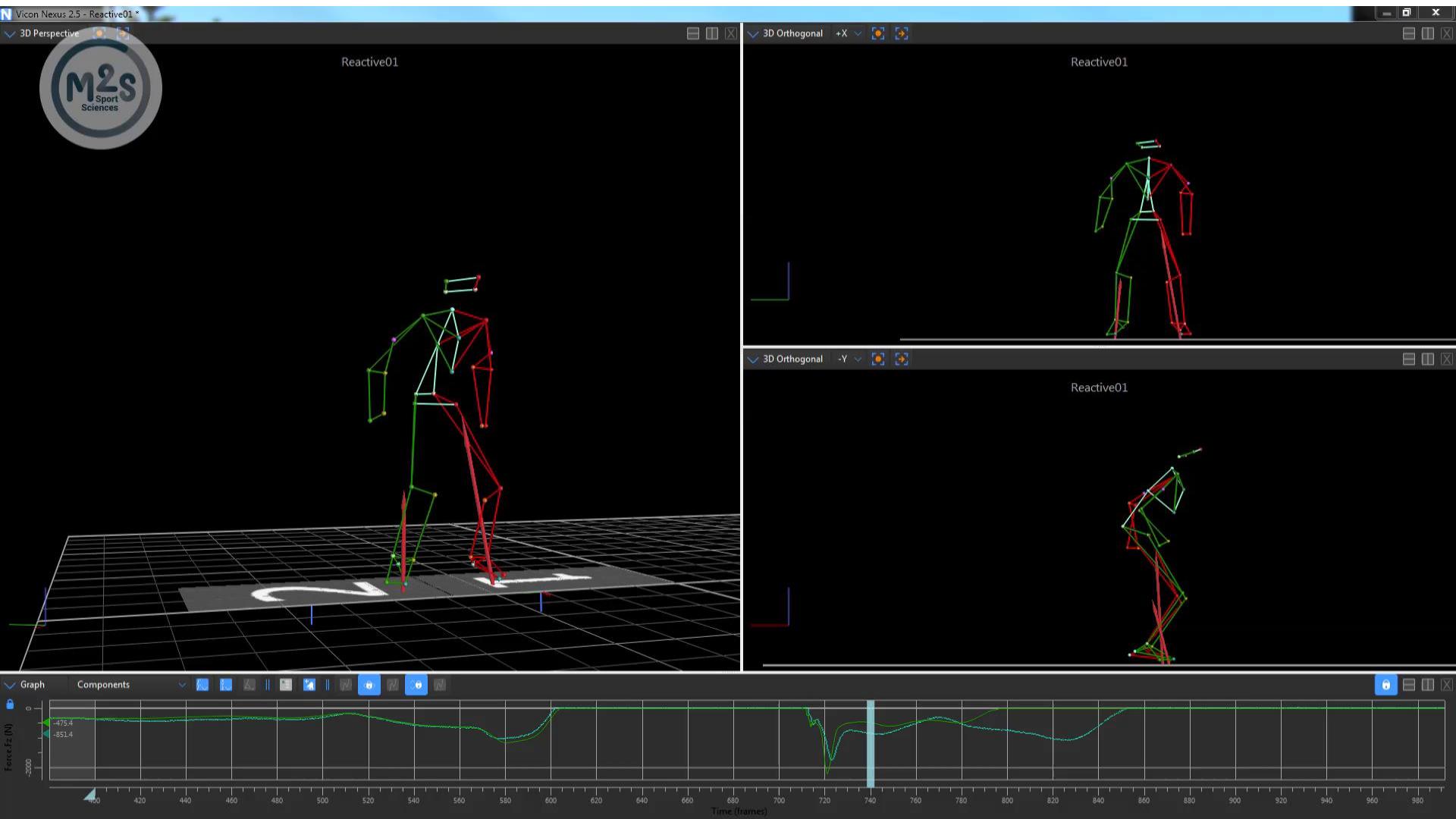
- Données de différentes natures
  - Cinématique
    - Position (3 degrés de liberté)
    - Angle (3 degrés de liberté)
  - Dynamique
    - Force
    - Moment de force
  - Musculaire
    - Temps d'activation musculaire
    - Ratio par rapport à la CMV
- Apport du couplage ?

# COUPLAGE CINÉMATIQUE+FORCES

---



# COUPLAGE CINÉMATIQUE+FORCES



# COUPLAGE CINÉMATIQUE+FORCES

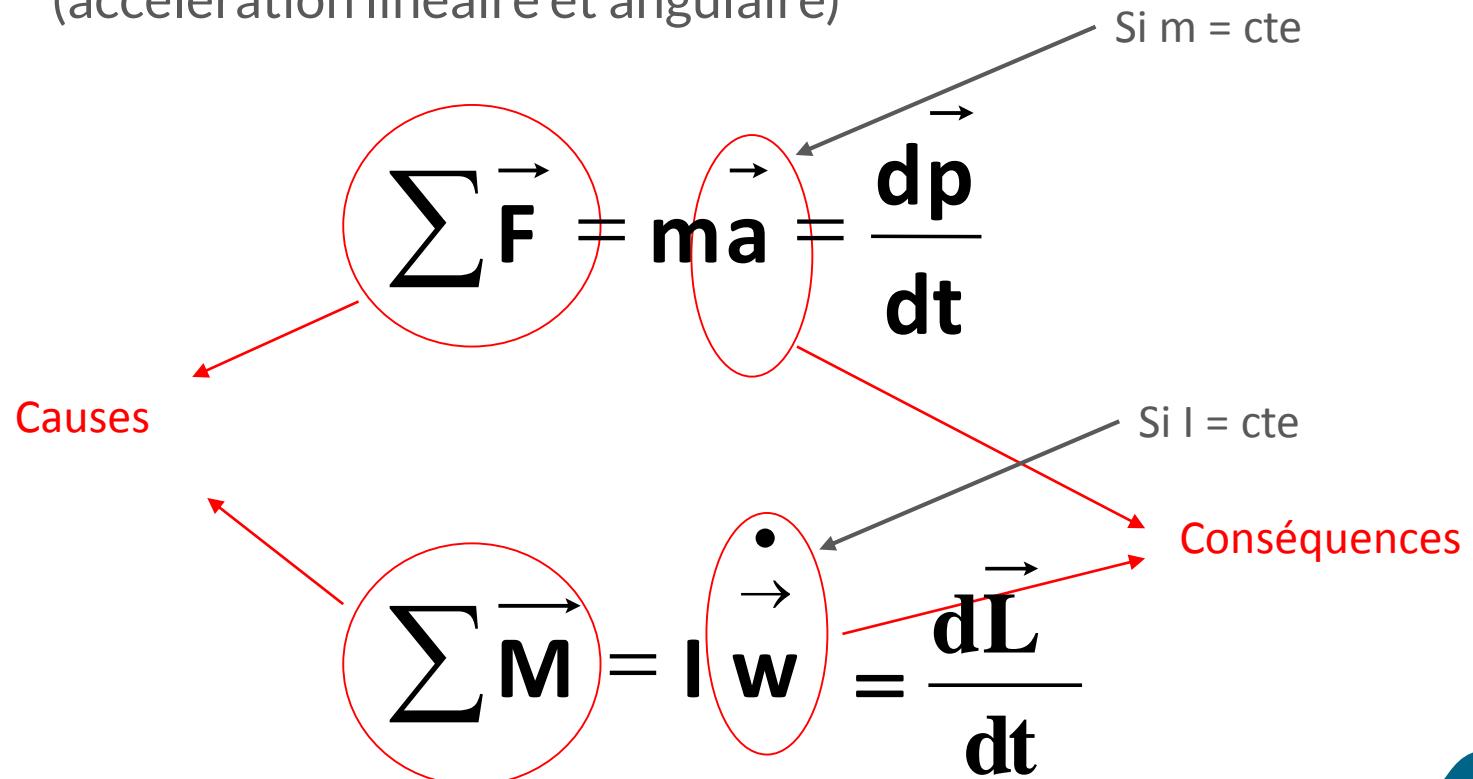
---

- Calcul des contraintes articulaires
  - Forces
  - Moments de force
- Par dynamique inverse

# MODÈLE DYNAMIQUE

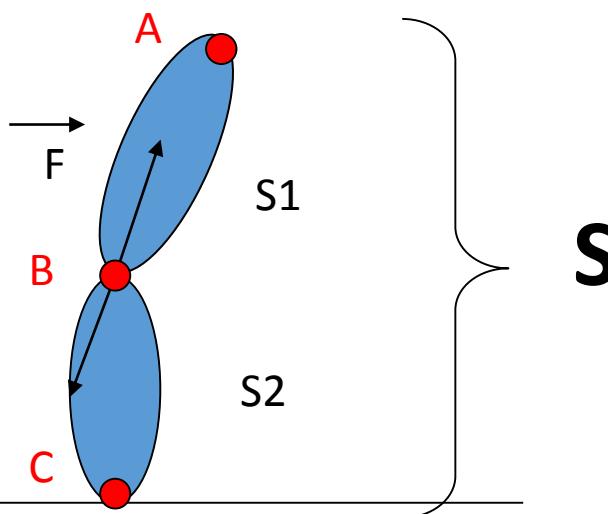
- Un modèle dynamique met en lien les causes et les conséquences du mouvement

- Causes = forces et moments de forces
- Conséquences : paramètres de la cinématiques (accélération linéaire et angulaire)



# MODÈLE DYNAMIQUE INVERSE

- Grâce aux mesures cinématiques, on peut retrouver les forces internes d'un système.
- En biomécanique, ce sont le plus souvent les efforts musculaires aux articulations



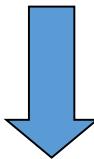
$$\overrightarrow{F} = \overrightarrow{F}_{S2 \rightarrow S1} \text{ est :}$$

- Une force interne à **S**
- Une force externe à **S1**

# MODÈLE DYNAMIQUE INVERSE

- Avec les mouvements des points A et B , on peut retrouver la force F :

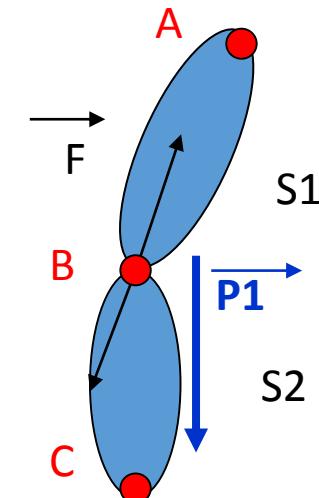
$\vec{a}_A$  et  $\vec{a}_B$  sont connues



$\vec{a}_{G1}$  peut donc être connue (table anthropométrique)

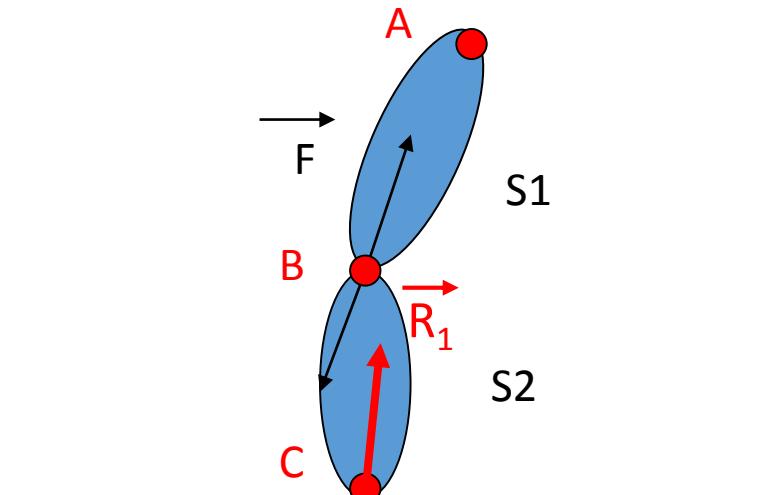
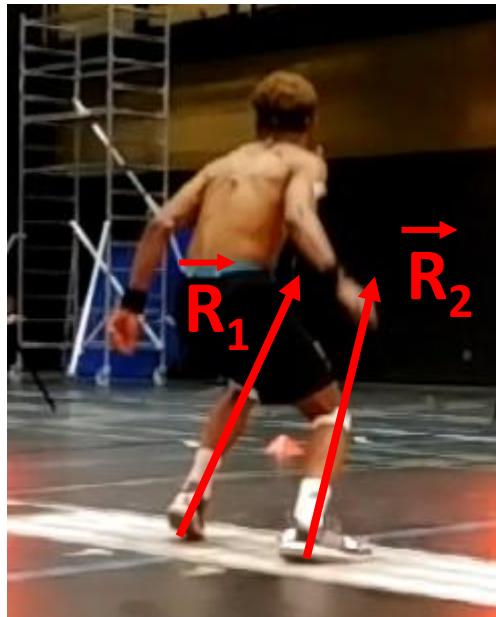
RFD appliquée à S1 :  $\vec{P}_{S1} + \vec{F} = m_1 \vec{a}_{G1}$

Si  $m_1$  est connue, alors on peut déduire :  $\vec{F} = m_1 \vec{a}_{G1} - m_1 \vec{g}$



# MODÈLE DYNAMIQUE INVERSE

- Technique « Bottom up »
  - Applicable si on connaît  $\vec{R}$  et  $\vec{a}$
  - On part du bas de la chaîne cinétique
  - On remonte en calculant les forces et moments aux articulations
  - On passe au segment suivant par principe d'action-réaction



- Reconnaissance du risque de blessure ?

# COUPLAGE CINÉMATIQUE+EMG



# COUPLAGE CINÉMATIQUE+EMG

---

- Lien entre contraintes articulaires et activation musculaire
- Identification des
  - Risques de blessure musculaire
  - Facteurs de fatigue
- Descripteurs pour la reconnaissance ?



# TRAITEMENT DES DONNÉES

# TRAITEMENT DES DONNÉES

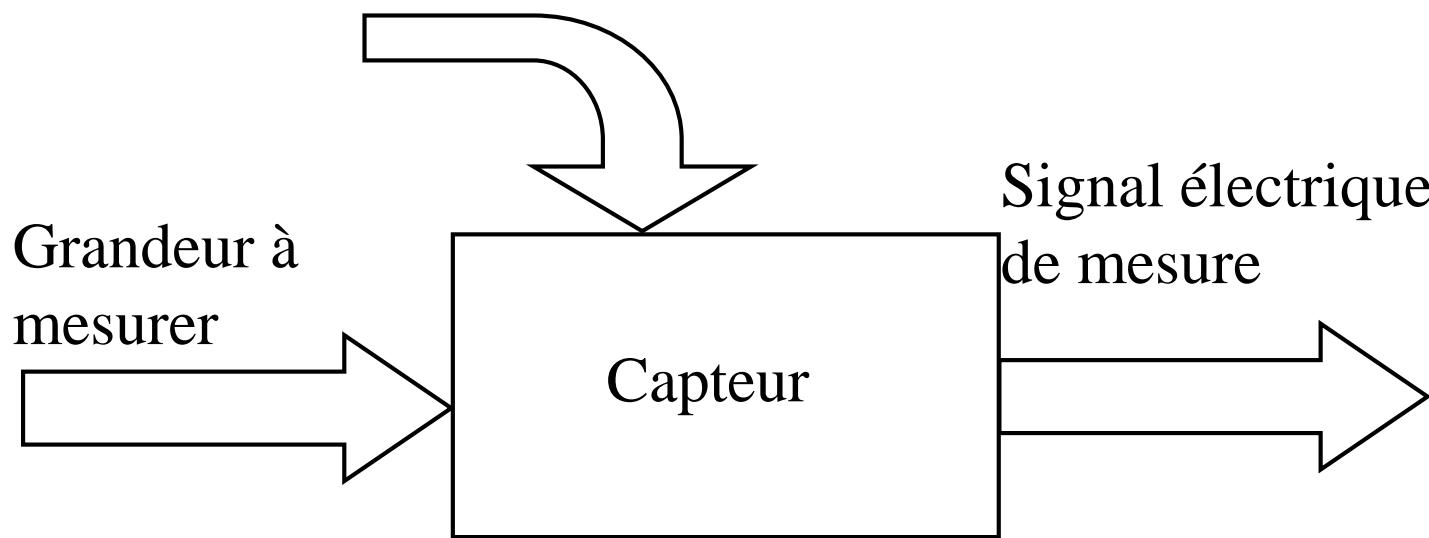
Maîtrise de la mesure

# MESURE

---

- **Mesure** : détermination quantitative de la valeur d'une grandeur physique
- Elle s'effectue grâce à un capteur

Grandeurs d'influence



# SOURCES DE BRUIT

---

- Elles sont multiples
  - Précision de l'appareil
  - Ajout de parasites par la transmission, le traitement
  - ...
- Elles dépendent des systèmes de mesure
  - Un système magnétique est sensible à la présence de métal
  - Un système optique est sensible à l'éclairage
  - ...

# SOURCES DE BRUIT

---

- Il faut toujours chercher à les minimiser
- Il faut en tenir compte dans le choix technologique
- Si reconnaissance d'un geste très précis, ne pas utiliser de système basé vidéo par exemple

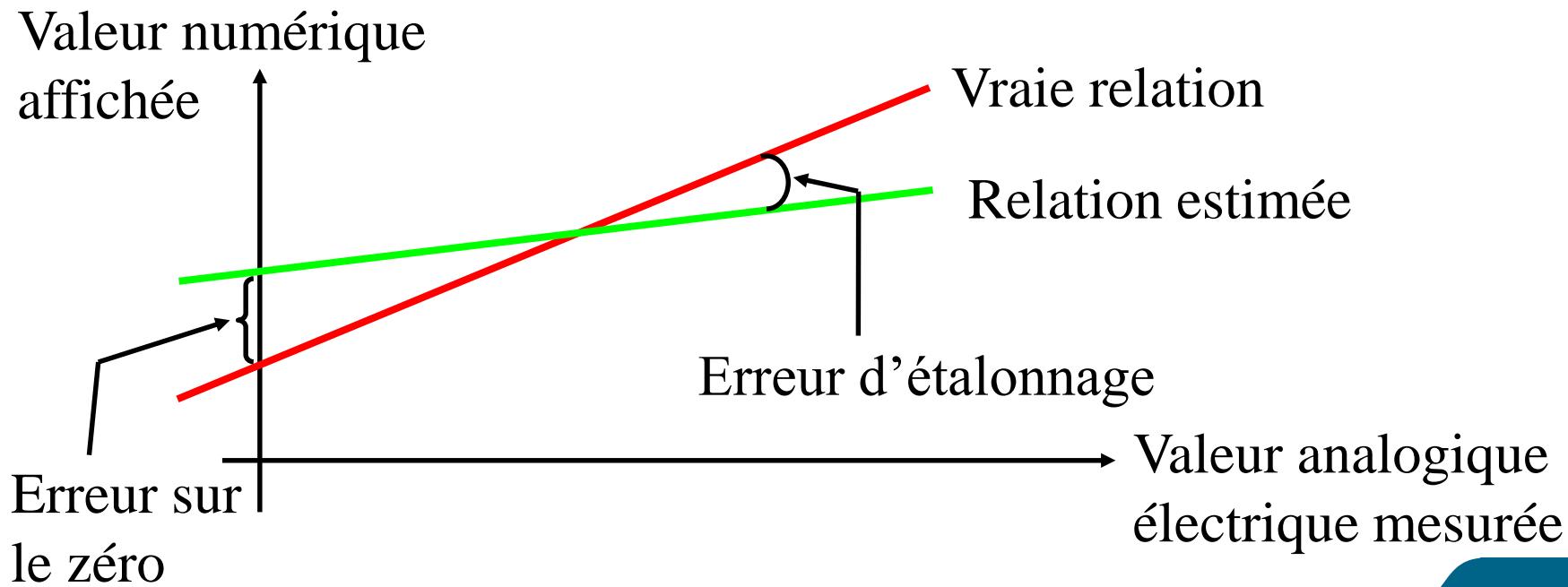
# ECART DE MESURE

---

- La valeur mesurée diffère toujours de la valeur exacte à mesurer
- Cet écart résulte des imperfections du capteur et de la méthodologie de la mesure
- Cet écart est la somme de l'erreur de mesure et de l'incertitude de mesure

# ERREURS DE MESURE

- Elles ont des causes systématiques
  - Erreurs sur le zéro
  - Erreurs d'étalonnage
  - Erreurs dues aux grandeurs d'influence non contrôlées
  - Erreurs de traitement du signal électronique
- Elles peuvent être calculées et éventuellement corrigées



# ERREURS DE MESURE

# INCERTITUDES DE MESURE

---

- Elles ont des causes accidentnelles, liées à l'expérimentateur
  - Erreurs de résolution du capteur
  - Erreurs dues aux grandeurs d'influence non contrôlées
  - Erreurs dues au positionnement des capteurs
- Elles peuvent être au mieux estimées par une analyse statistique

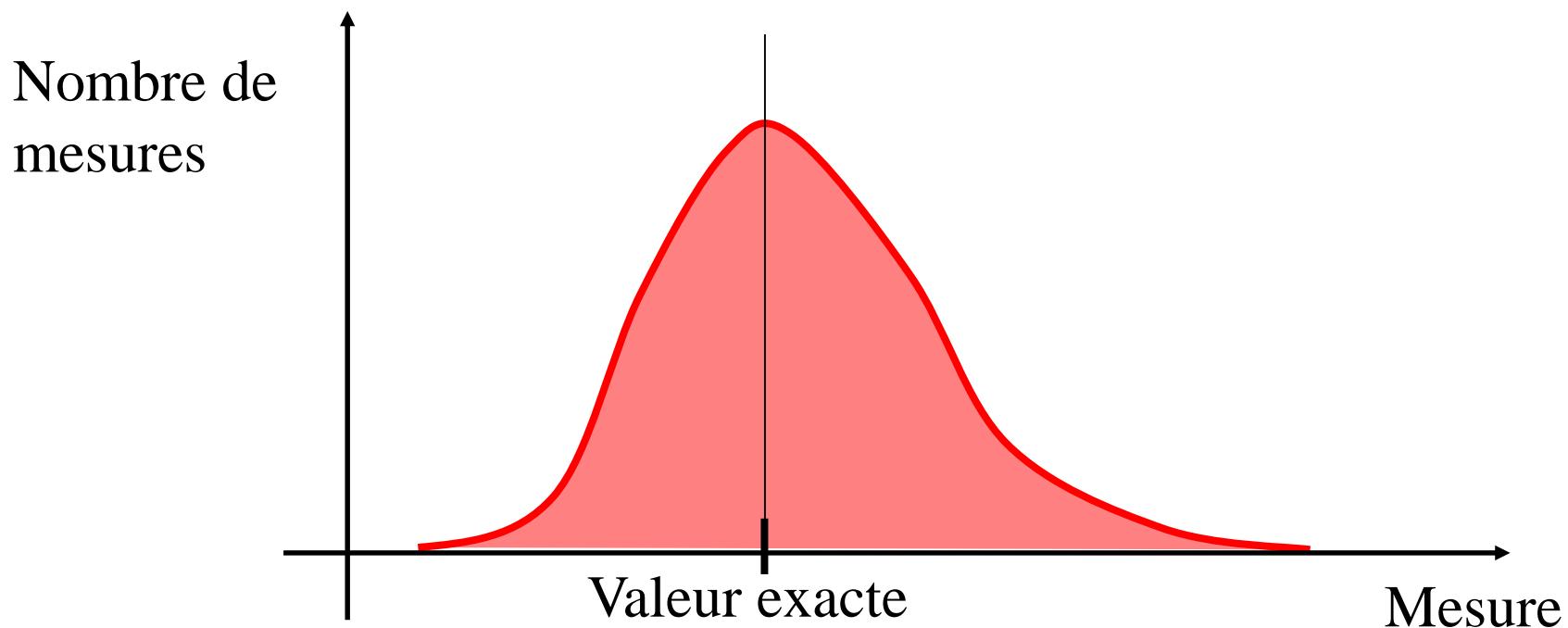
# INCERTITUDES DE MESURE

---

- Exemple sur la plateforme de force
  - Erreurs de résolution  
⇒ Nombre de capteurs, pas de mesure de leur longueur
  - Erreurs de positionnement  
⇒ Plateforme non horizontale
  - Erreurs non contrôlées  
⇒ Vibrations, appui...

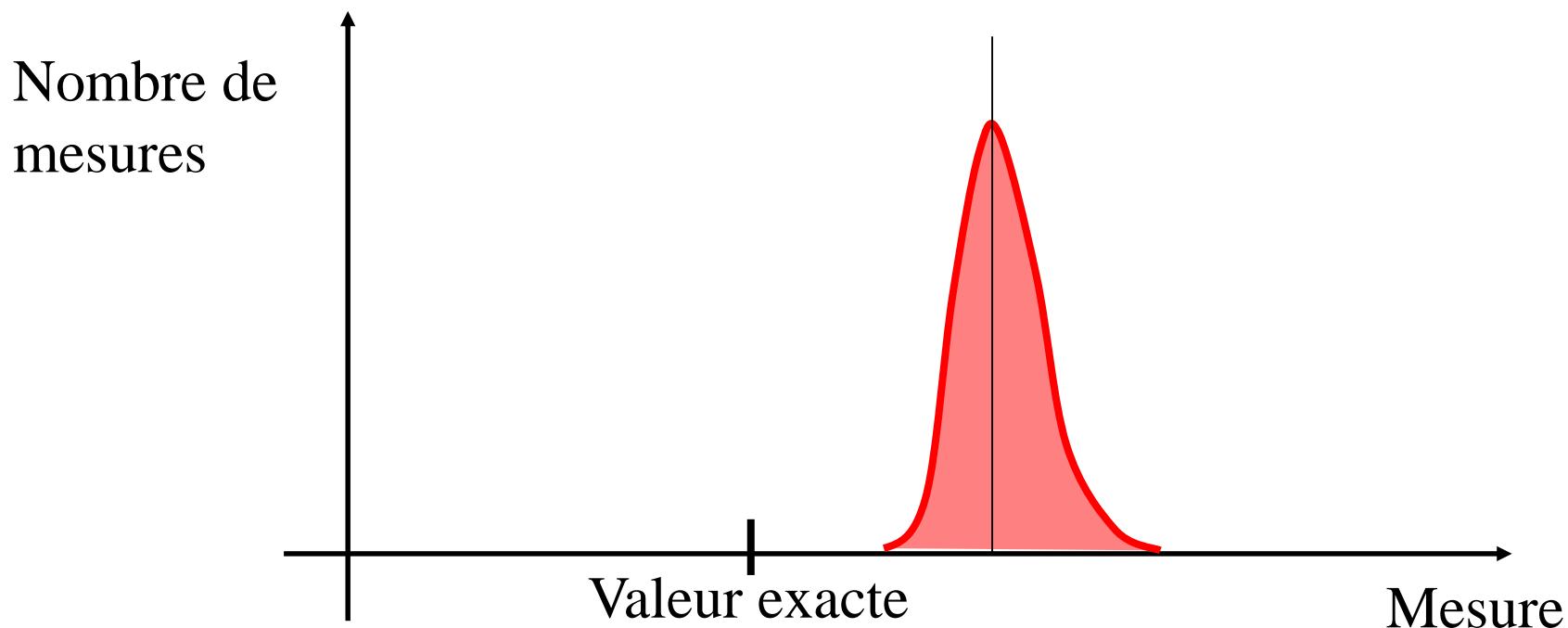
# PRÉCISION : JUSTESSE ET FIDÉLITÉ

- Justesse : capacité à ce que la probabilité de mesure la plus forte soit la valeur réelle



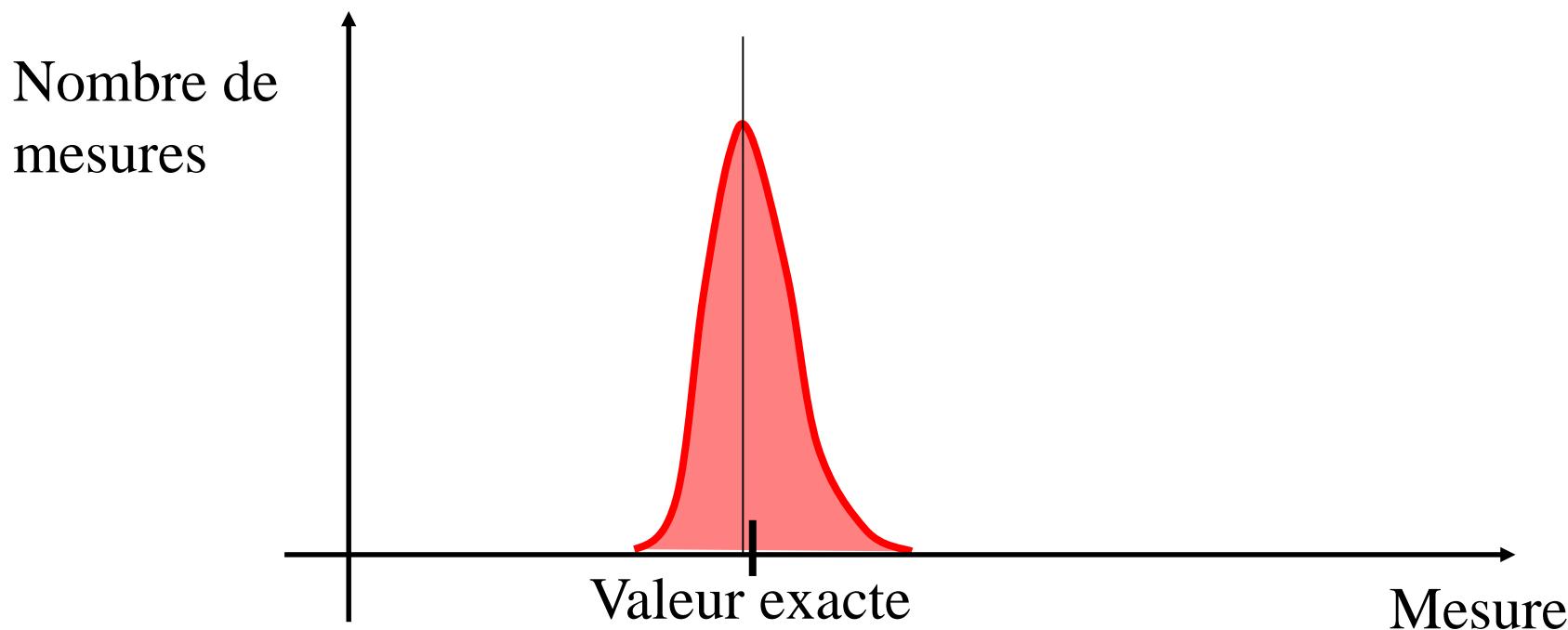
# PRÉCISION : JUSTESSE ET FIDÉLITÉ

- Fidélité : capacité à reproduire une même mesure dans des conditions identiques



# PRÉCISION : JUSTESSE ET FIDÉLITÉ

- Pour être précise, une mesure doit être à la fois juste et fidèle



# ERREURS DE MESURE

---

- Erreurs dues aux expérimentateurs
  - Problème de placement des marqueurs
  - Problème de la répétabilité du placement
    - Inter-opérateurs
    - Intra-opérateur
- Corriger au maximum en amont des mesures
  - Un post-traitement des données ne sera jamais aussi bien qu'avoir des données propres
  - En particulier sur les mouvements humains
  - Exemple de la difficulté à créer un mouvement humain même à partir des lois de la physique



# TRAITEMENT DES DONNÉES

Maîtrise de la mesure d'un système optoélectronique

# LES SOURCES D'ERREURS « EXTERNES »

---

- Sources d'erreur dépendantes de l'expérimentateur
- Marqueurs fantômes
- Marqueurs flottants sur un vêtement, un muscle
- Occultation partielle d'un marqueur
- Comment limiter ces erreurs ?

# Contrôle de la précision

---

- La mesure se fait en deux étapes :
  - la mesure de la projection des marqueurs dans les images caméra
  - le calcul des positions 3D à partir de ces mesures 2D
- La précision doit être contrôlée à chacune de ces deux étapes

# PRÉCISION DE LA MESURE DS L'IMAGE

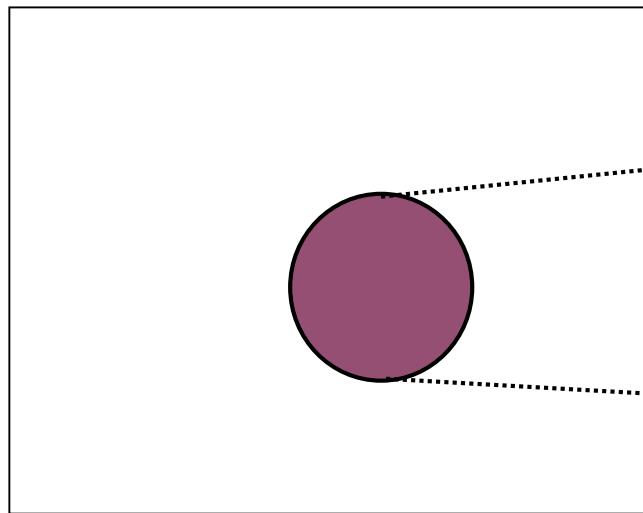
---

- Cette précision dépend :
  - de la forme des marqueurs
  - de la sensibilité et de la résolution des caméras
  - des éventuelles occultations des marqueurs

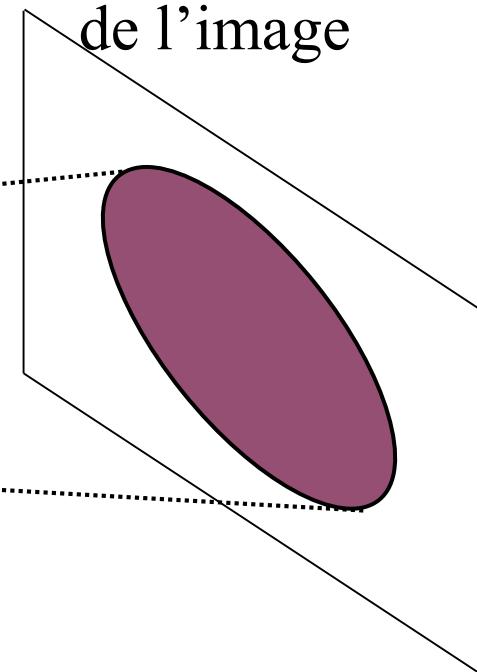
# MARQUEURS PLANAIRES

---

Plan de l'objet



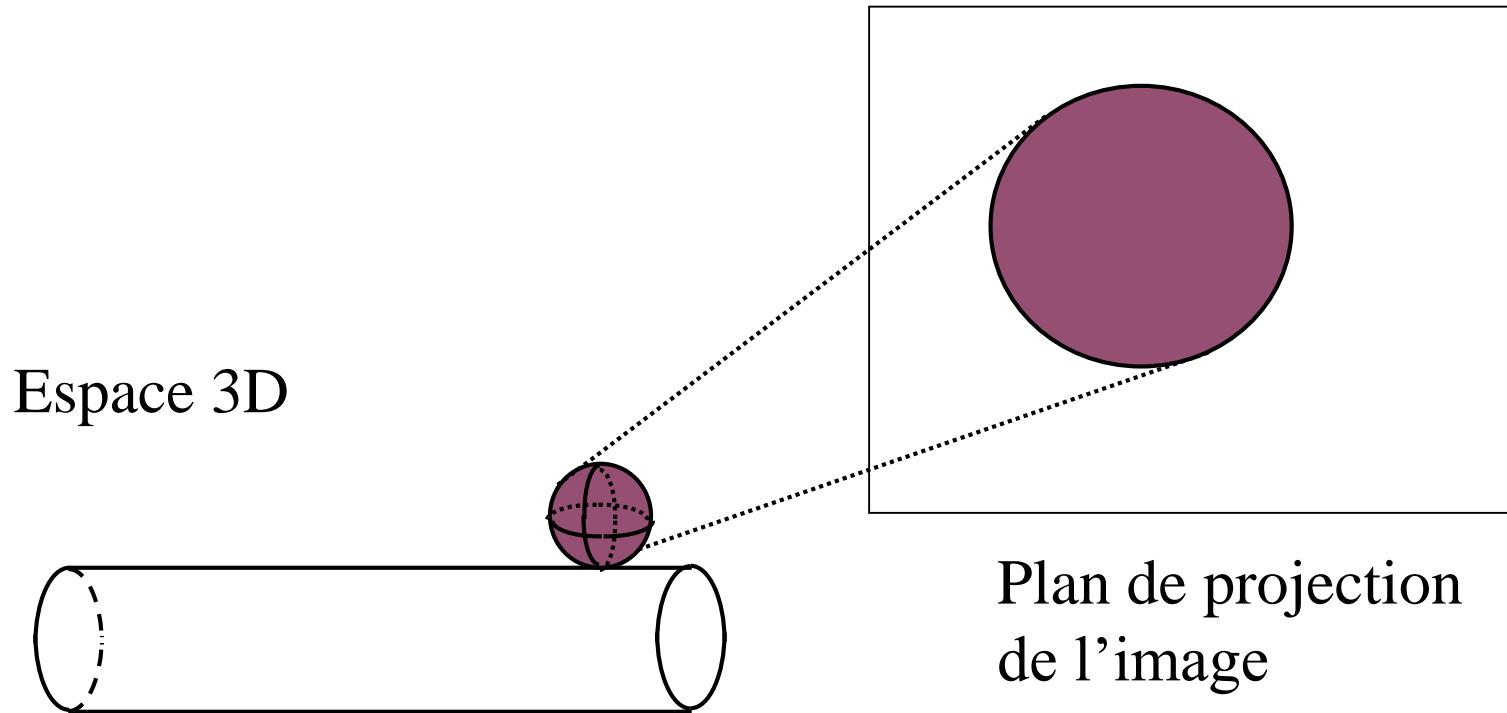
Plan de projection  
de l'image



Un disque plan se projette suivant une ellipse

# MARQUEURS SPHÉRIQUES

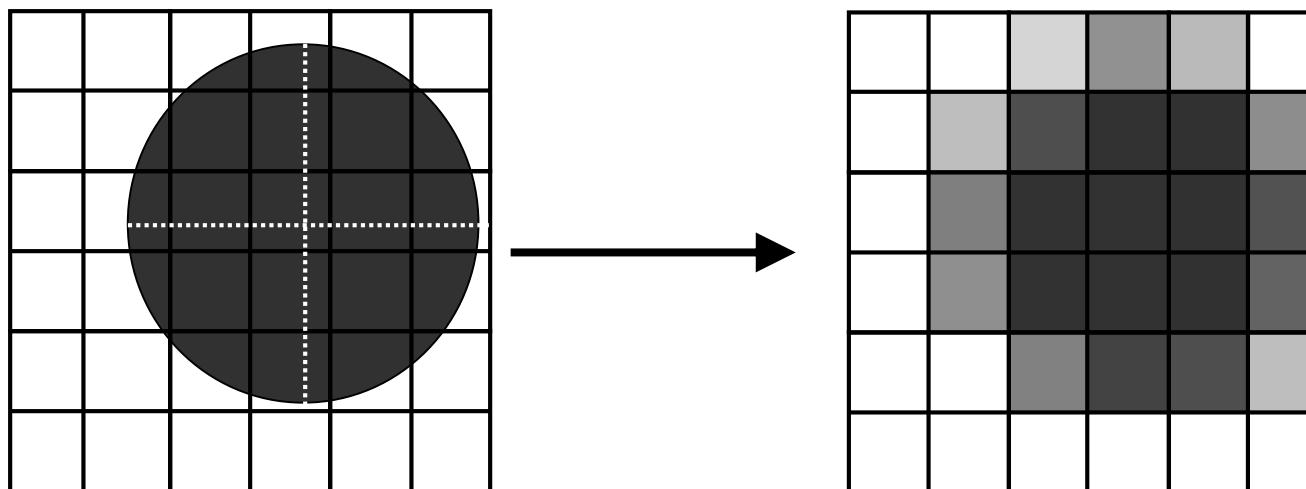
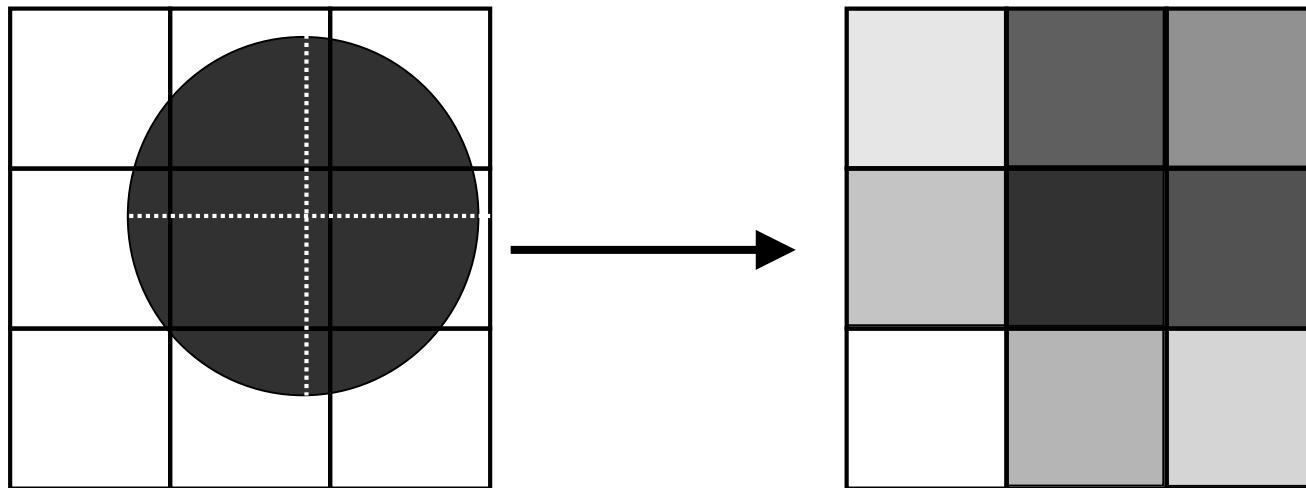
---



Une sphère se projette suivant un disque

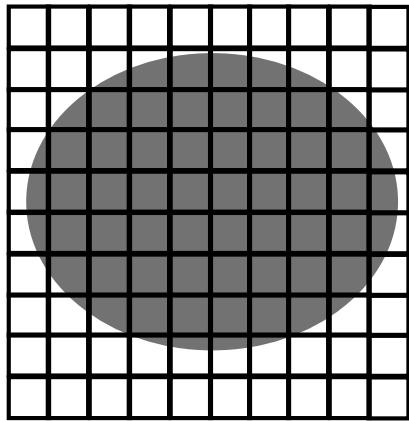
# NUMÉRISATION DE L'IMAGE

---



# PRÉCISION SUB-PIXELIQUE

---



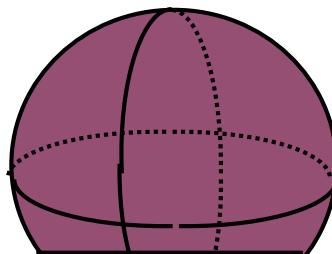
Centre de l'ellipse (tache)  
=  
Position moyenne des pixels

Précision de l'ordre de la racine carré de l'inverse  
du nombre de pixel de la tache

# LES MARQUEURS EN PRATIQUE

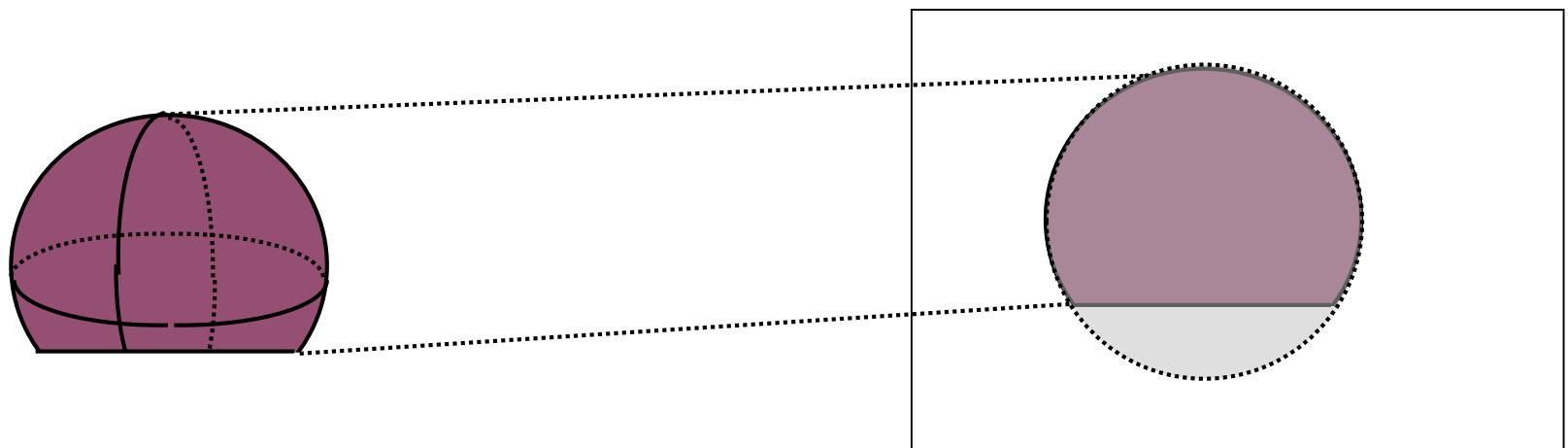
---

- Pour disposer d'une surface de collage, les sphères ne sont pas complètes
- Selon les vues la projection est ou non un disque



# LES MARQUEURS EN PRATIQUE

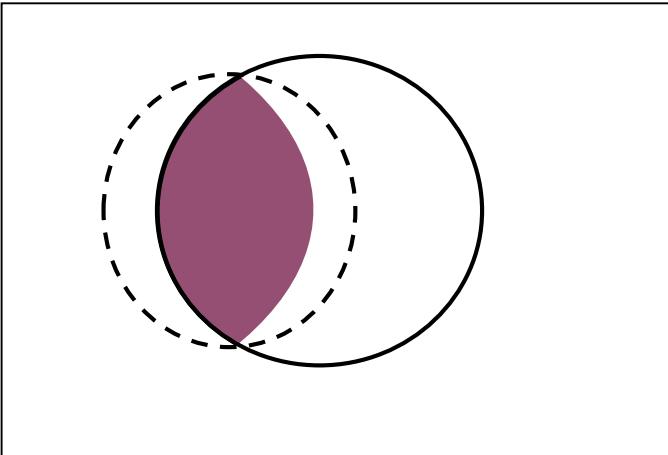
---



Lorsque la projection ne fournit pas un disque complet,  
le logiciel essaie de plaquer un disque complet sur le disque partiel

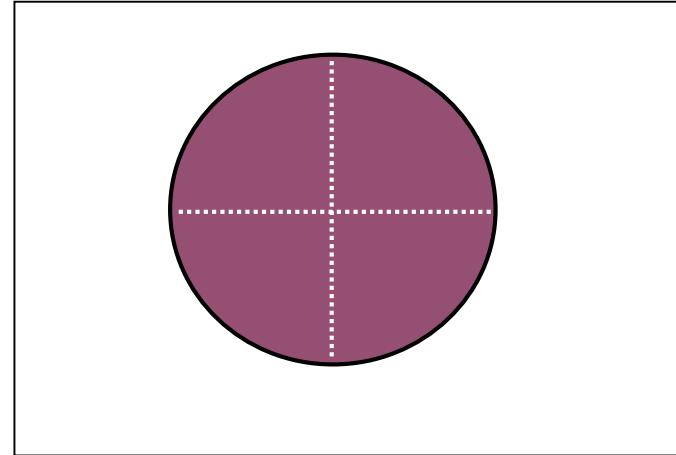
# LES MARQUEURS EN PRATIQUE

---



Projection du marqueur et estimation de sa position par un disque

En cas d'occultation, le disque complété peut être différent du disque réel



Position réelle du marqueur

# PRÉCISION DE LA RECONSTRUCTION 3D

---

- Cette précision dépend :
  - de la finesse de la calibration
  - du nombre de caméras par lesquelles est observé le marqueur

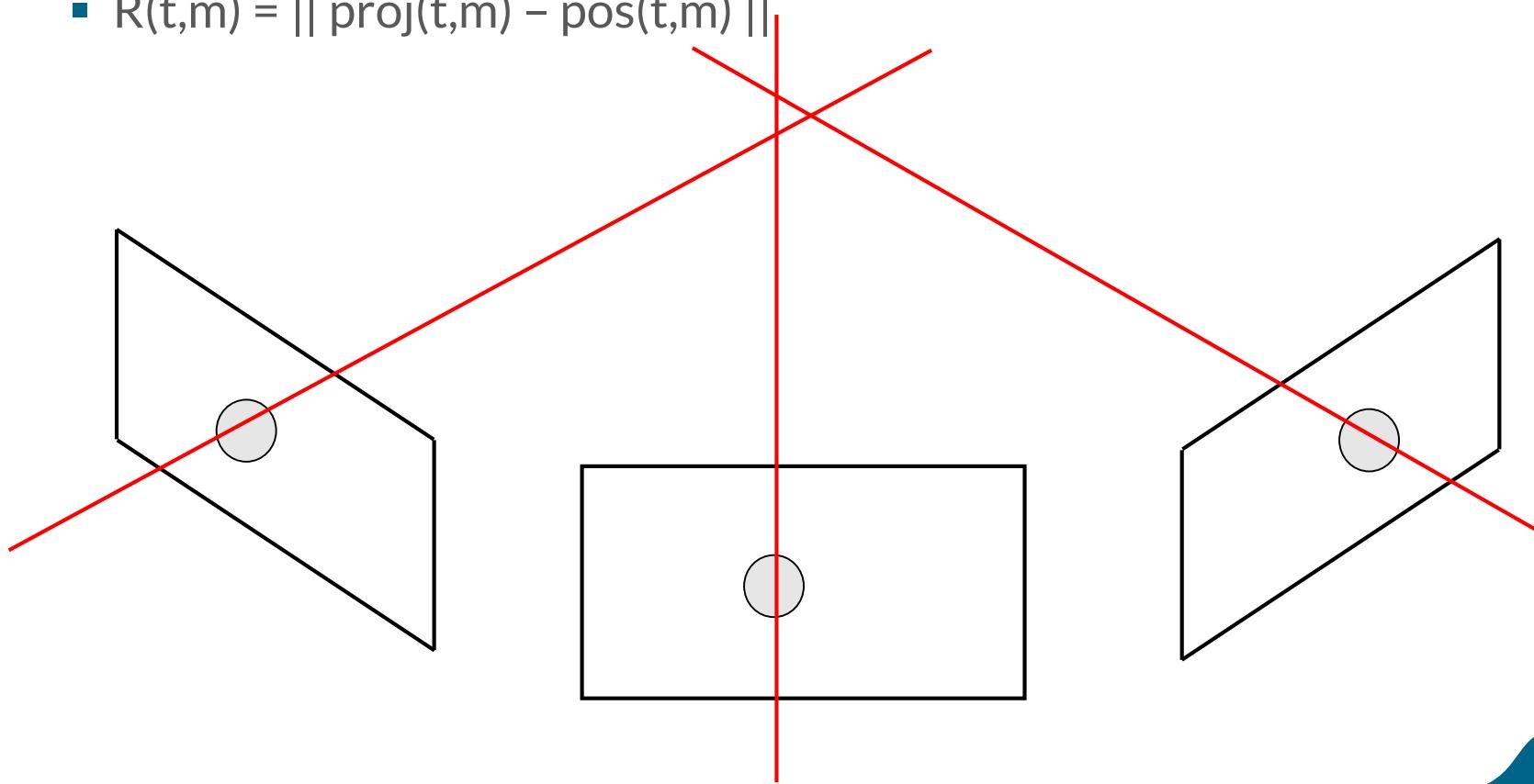
# RECONSTRUCTION 3D D'UN MARQUEUR

---

- On cherche ( $X, Y, Z$ ) dans le repère 3D
  - Il est vu par  $N$  images
  - On dispose de  $(x_1, y_1), \dots, (x_N, y_N)$
- ⇒ Bilan :  
3 inconnues,  $2N$  équations
- Pour  $N \geq 2$  on peut faire la reconstruction

# RECONSTRUCTION 3D D'UN MARQUEUR

- La position choisie est celle qui minimise la distance avec toutes les lignes de vue
  - Projection du point estimé sur les vues 2D
  - Minimisation du résidu de l'erreur sur chaque vue 2D
  - $R(t,m) = \| \text{proj}(t,m) - \text{pos}(t,m) \|$



# PLACEMENT DES MARQUEURS EXTERNES

---

- Liberté totale de placement des marqueurs



- Pour l'humain, placement sur des repères anatomiques
  - Lien avec le squelette
  - Minimiser les glissements de peau

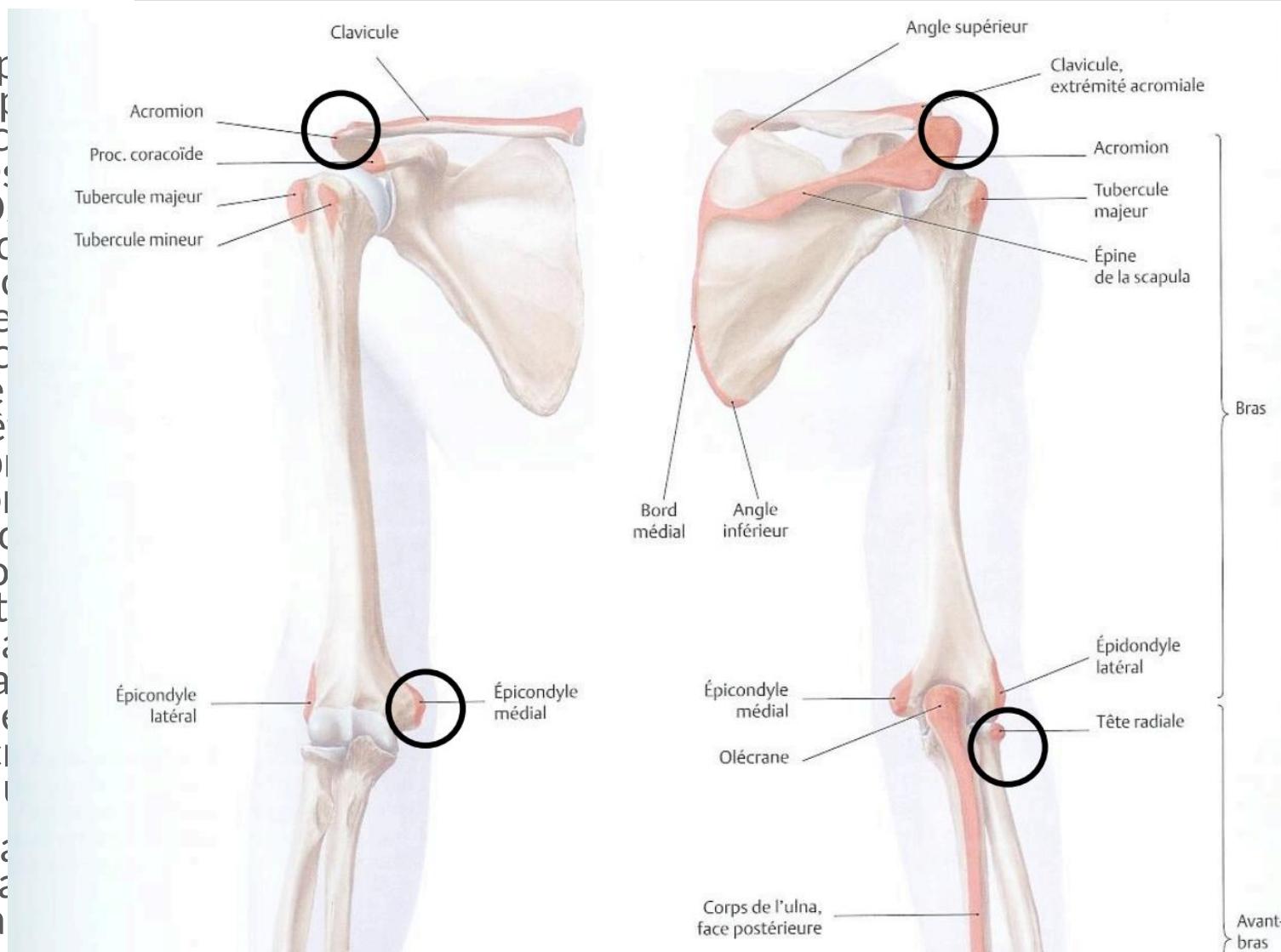
# PLACEMENT DES MARQUEURS EXTERNES

---

- RFWT : épine iliaque antéro-supérieure droite  
RBWT : épine iliaque postéro-supérieure droite  
RSHO : acromion droit  
RFHD : Os frontal côté droit  
RBHD : Os occipital côté droit  
CLAV : Incisure jugulaire du sternum (Jonction des clavicules)  
STRN : processus xyphoïde  
C7 : processus épineux de la 7ème cervicale  
T10 : processus épineux de la 10ème dorsale  
RHUM : épicondyle médial de l'humérus droit  
RRAD : tête du radius droit  
RWRA : processus styloïde du radius droit (côté pouce)  
RWRB : processus styloïde de l'ulna droit (côté auriculaire)  
RCAR : troisième processus métacarpien de la main droite  
RKNE : condyle latéral du fémur droit  
RKNI : tête latérale du tibia droit  
RANE : malléole externe droite  
RANI : malléole interne droite  
RHEE : pternion droit (tubérosité postérieure du calcaneus)  
RTOE : acropodion droit (tête de l'orteil le plus long)  
RTAR : pliure du pied droit
- RBAC : marqueur dissymétrique sur scapula droit  
RUPA : marqueur dissymétrique sur le bras droit  
RTHI : marqueur dissymétrique sur la cuisse droite

# PLACEMENT DES MARQUEURS EXTERNES

- RFWT : épicondyle latéral du bras
- RBWT : épicondyle médial du bras
- RSHO : acromion
- RFHD : O
- RBHD : O
- CLAV : Incisure de la clavicule
- STRN : processus coracoïde
- C7 : processus coracoïde
- T10 : processus coracoïde
- RHUM : épine de la scapula
- RRAD : tête radiale
- RWRA : processus coracoïde
- RWRB : processus coracoïde
- RCAR : trochanter
- RKNE : condyle latéral
- RKNI : tête radiale
- RANE : majeur
- RANI : mineur
- RHEE : ptérygoïde
- RTOE : acétabulum
- RTAR : pli de l'aine
- RBAC : majeur
- RUPA : mineur
- RTHI : majeur



# PLACEMENT DES MARQUEURS EXTERNES

- Placement basé sur tables anthropométriques
  - Moyenne de populations

Table 4. Adjusted parameters for females (F; body mass = 61.9 kg, stature = 173.5 m) and males (M; 73.0 kg, 1.741 m). Segment masses are relative to body mass; segment CM positions are referenced either to proximal or cranial endpoints (origin). Both segment CM positions and radii of gyration ( $r$ ) are relative to the respective segment lengths. A set of easy-to-use endpoints is considered in the first part of the table; for some segments, alternative endpoints are considered in the second part (UPT, MPT, and LPT are the Upper, Middle, and Lower Parts of Trunk)

| Segment                      | Endpoints |       | Longitudinal length (mm) |       | Mass* (%) |       | Longitudinal CM position (%) |       | Sagittal $r$ (%) |      | Transverse $r$ (%) |      | Longitudinal $r$ (%) |      |
|------------------------------|-----------|-------|--------------------------|-------|-----------|-------|------------------------------|-------|------------------|------|--------------------|------|----------------------|------|
|                              | Origin    | Other | F                        | M     | F§        | M¶    | F                            | M     | F                | M    | F                  | M    | F                    | M    |
| Head                         | VERT†     | MIDG† | 200.2                    | 203.3 | 6.68      | 6.94  | 58.94                        | 59.76 | 33.0             | 36.2 | 35.9               | 37.6 | 31.8                 | 31.2 |
| Trunk                        | SUPR†     | MIDH‡ | 529.3                    | 531.9 | 42.57     | 43.46 | 41.51                        | 44.86 | 35.7             | 37.2 | 33.9               | 34.7 | 17.1                 | 19.1 |
| UPT                          | SUPR†     | XYPH† | 142.5                    | 170.7 | 15.45     | 15.96 | 20.77                        | 29.99 | 74.6             | 71.6 | 50.2               | 45.4 | 71.8                 | 65.9 |
| MPT*                         | XYPH†     | OMPH† | 205.3                    | 215.5 | 14.65     | 16.33 | 45.12                        | 45.02 | 43.3             | 48.2 | 35.4               | 38.3 | 41.5                 | 46.8 |
| LPT                          | OMPH†     | MIDH‡ | 181.5                    | 145.7 | 12.47     | 11.17 | 49.20                        | 61.15 | 43.3             | 61.5 | 40.2               | 55.1 | 44.4                 | 58.7 |
| Upper arm                    | SJC‡      | EJC‡  | 275.1                    | 281.7 | 2.55      | 2.71  | 57.54                        | 57.72 | 27.8             | 28.5 | 26.0               | 26.9 | 14.8                 | 15.8 |
| Forearm                      | EJC‡      | WJC‡  | 264.3                    | 268.9 | 1.38      | 1.62  | 45.59                        | 45.74 | 26.1             | 27.6 | 25.7               | 26.5 | 9.4                  | 12.1 |
| Hand                         | WJC‡      | MET3† | 78.0                     | 86.2  | 0.56      | 0.61  | 74.74                        | 79.00 | 53.1             | 62.8 | 45.4               | 51.3 | 33.5                 | 40.1 |
| Thigh                        | HJC‡      | KJC‡  | 368.5                    | 422.2 | 14.78     | 14.16 | 36.12                        | 40.95 | 36.9             | 32.9 | 36.4               | 32.9 | 16.2                 | 14.9 |
| Shank                        | KJC‡      | LMAL† | 432.3                    | 434.0 | 4.81      | 4.33  | 44.16                        | 44.59 | 27.1             | 25.5 | 26.7               | 24.9 | 9.3                  | 10.3 |
| Foot*                        | HEEL†     | TTIP† | 228.3                    | 258.1 | 1.29      | 1.37  | 40.14                        | 44.15 | 29.9             | 25.7 | 27.9               | 24.5 | 13.9                 | 12.4 |
| Using alternative endpoints: |           |       |                          |       |           |       |                              |       |                  |      |                    |      |                      |      |
| Head*                        | VERT†     | CERV† | 243.7                    | 242.9 | 6.68      | 6.94  | 48.41                        | 50.02 | 27.1             | 30.3 | 29.5               | 31.5 | 26.1                 | 26.1 |
| Trunk                        | CERV†     | MIDH‡ | 614.8                    | 603.3 | 42.57     | 43.46 | 49.64                        | 51.38 | 30.7             | 32.8 | 29.2               | 30.6 | 14.7                 | 16.9 |
| Trunk                        | MIDS‡     | MIDH‡ | 497.9                    | 515.5 | 42.57     | 43.46 | 37.82                        | 43.10 | 37.9             | 38.4 | 36.1               | 35.8 | 18.2                 | 19.7 |
| UPT*                         | CERV†     | XYPH† | 228.0                    | 242.1 | 15.45     | 15.96 | 50.50                        | 50.66 | 46.6             | 50.5 | 31.4               | 32.0 | 44.9                 | 46.5 |
| Forearm                      | EJC‡      | STYL† | 262.4                    | 266.9 | 1.38      | 1.62  | 45.92                        | 46.08 | 26.3             | 27.8 | 25.9               | 26.7 | 9.5                  | 12.2 |
| Hand                         | WJC‡      | DAC3† | 170.1                    | 187.9 | 0.56      | 0.61  | 34.27                        | 36.24 | 24.4             | 28.8 | 20.8               | 23.5 | 15.4                 | 18.4 |
| Hand*                        | STYL†     | DAC3† | 172.0                    | 189.9 | 0.56      | 0.61  | 35.02                        | 36.91 | 24.1             | 28.5 | 20.6               | 23.3 | 15.2                 | 18.2 |
| Hand                         | STYL†     | MET3† | 79.9                     | 88.2  | 0.56      | 0.61  | 75.34                        | 79.48 | 51.9             | 61.4 | 44.3               | 50.2 | 32.7                 | 39.2 |
| Shank                        | KJC‡      | AJC‡  | 438.6                    | 440.3 | 4.81      | 4.33  | 43.52                        | 43.95 | 26.7             | 25.1 | 26.3               | 24.6 | 9.2                  | 10.2 |
| Shank                        | KJC‡      | SPHY† | 426.0                    | 427.7 | 4.81      | 4.33  | 44.81                        | 45.24 | 27.5             | 25.8 | 27.1               | 25.3 | 9.4                  | 10.5 |



Point Proximal      Point Distal

DeLeva 1996

# PLACEMENT DES MARQUEURS

- 43 marqueurs

- Table :

Zatsiorsky et al. 1990

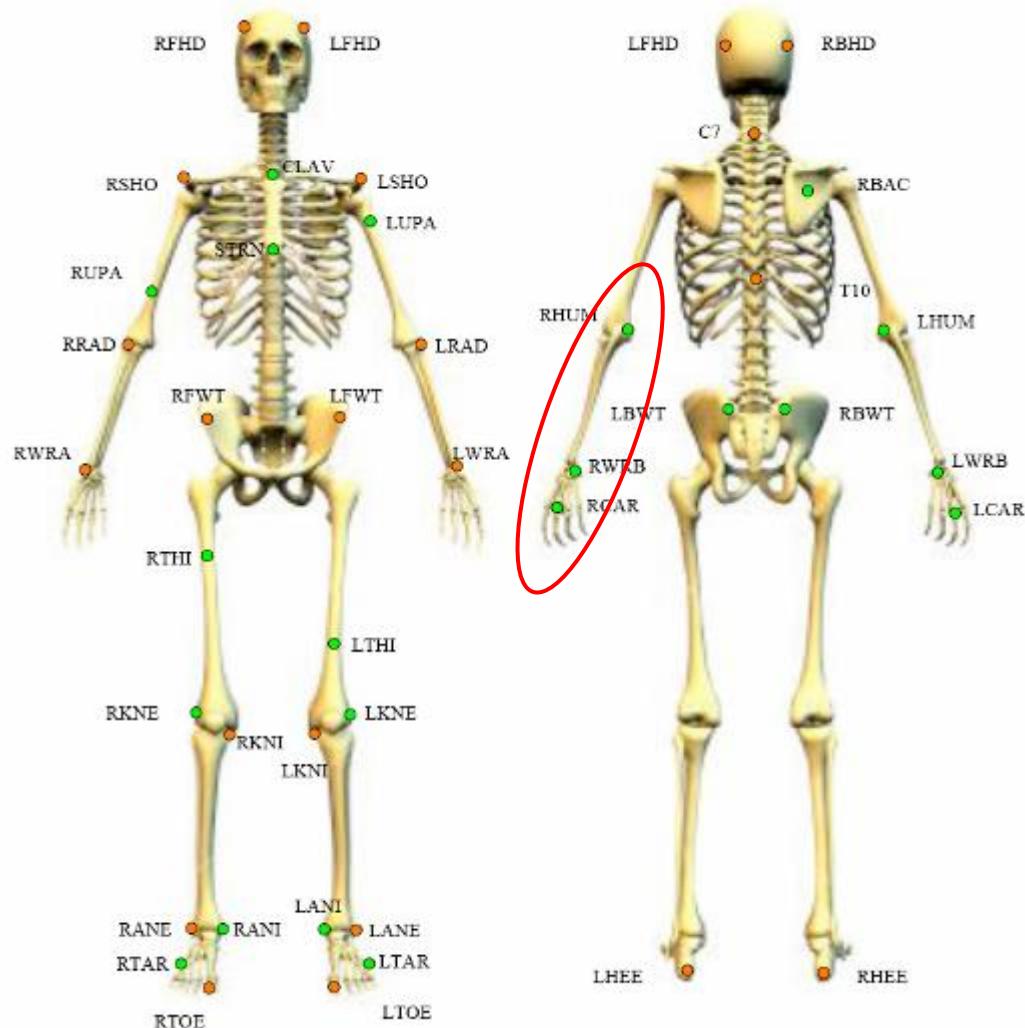
DeLeva et al. 1996

Reed et al. 1999

→ épaules

Leardini et al. 1999

→ hanches



# CALCUL DES CENTRES ARTICULAIRES

---

- Permet de réduire les erreurs mais aussi de calculer les centres articulaires
  - On ne veut pas du mouvement de points sur la peau
  - On veut le mouvement du squelette
- Plusieurs méthodes
  - Par calcul lié aux tables anthropométriques
  - Par résolution d'équation, hypothèse solide rigide

# CALCUL DES CENTRES ARTICULAIRES

---

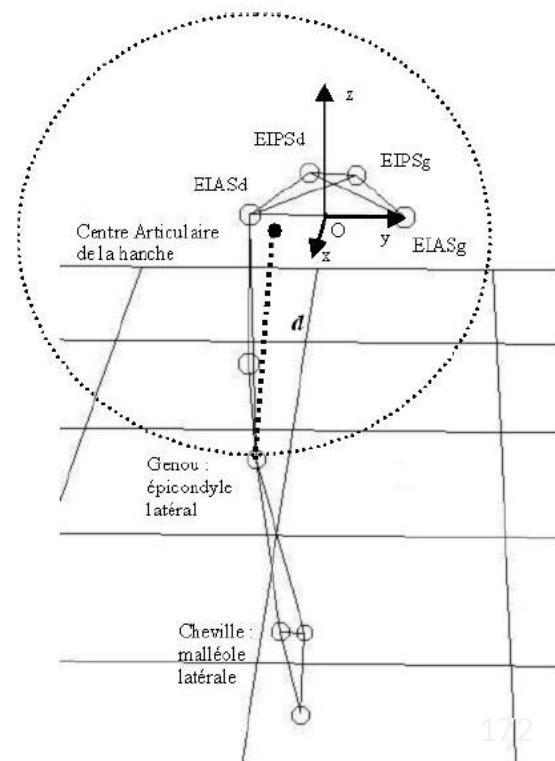
- Exemple de calcul de l'épaule d'après Reed et al., 1999
  - Homme
    - $\text{rightShoulderX} = \text{RSHOx}$
    - $\text{rightShoulderY} = \text{RSHOy} + \cos(11 \times \pi/180) \times 0,43 \times \text{norm(CLAV-C7)}$
    - $\text{rightShoulderZ} = \text{RSHOz} + \sin(11 \times \pi/180) \times 0,43 \times \text{norm(CLAV-C7)}$
    - $\text{leftShoulderX} = \text{LSHOx}$
    - $\text{leftShoulderY} = \text{LSHOy} + \cos(11 \times \pi/180) \times 0,43 \times \text{norm(CLAV-C7)}$
    - $\text{leftShoulderZ} = \text{LSHOz} + \sin(11 \times \pi/180) \times 0,43 \times \text{norm(CLAV-C7)}$
  - Femme
    - $\text{rightShoulderX} = \text{RSHOx}$
    - $\text{rightShoulderY} = \text{RSHOy} + \cos(5 \times \pi/180) \times 0,53 \times \text{norm(CLAV-C7)}$
    - $\text{rightShoulderZ} = \text{RSHOz} + \sin(5 \times \pi/180) \times 0,53 \times \text{norm(CLAV-C7)}$
    - $\text{leftShoulderX} = \text{LSHOx}$
    - $\text{leftShoulderY} = \text{LSHOy} + \cos(5 \times \pi/180) \times 0,53 \times \text{norm(CLAV-C7)}$
    - $\text{leftShoulderZ} = \text{LSHOz} + \sin(5 \times \pi/180) \times 0,53 \times \text{norm(CLAV-C7)}$

# CALCUL DES CENTRES ARTICULAIRES

- Marqueurs externes éloignés des centres articulaires CA pour de nombreuses articulations (hanche, épaule...)
  - Hypothèse de solides rigides → distances constantes aux centres articulaires
  - Optimisation d'une fonction de distance  
→ Récupération de la position relative du CA et de la distance

$$\min_{CA,l} \sum_{f=0}^N \left( dist^2(M(f), CA) - l^2 \right)^2$$

→ Obtenu avec le « Range of Motion »



# TRAITEMENT DES DONNÉES

Correction des données

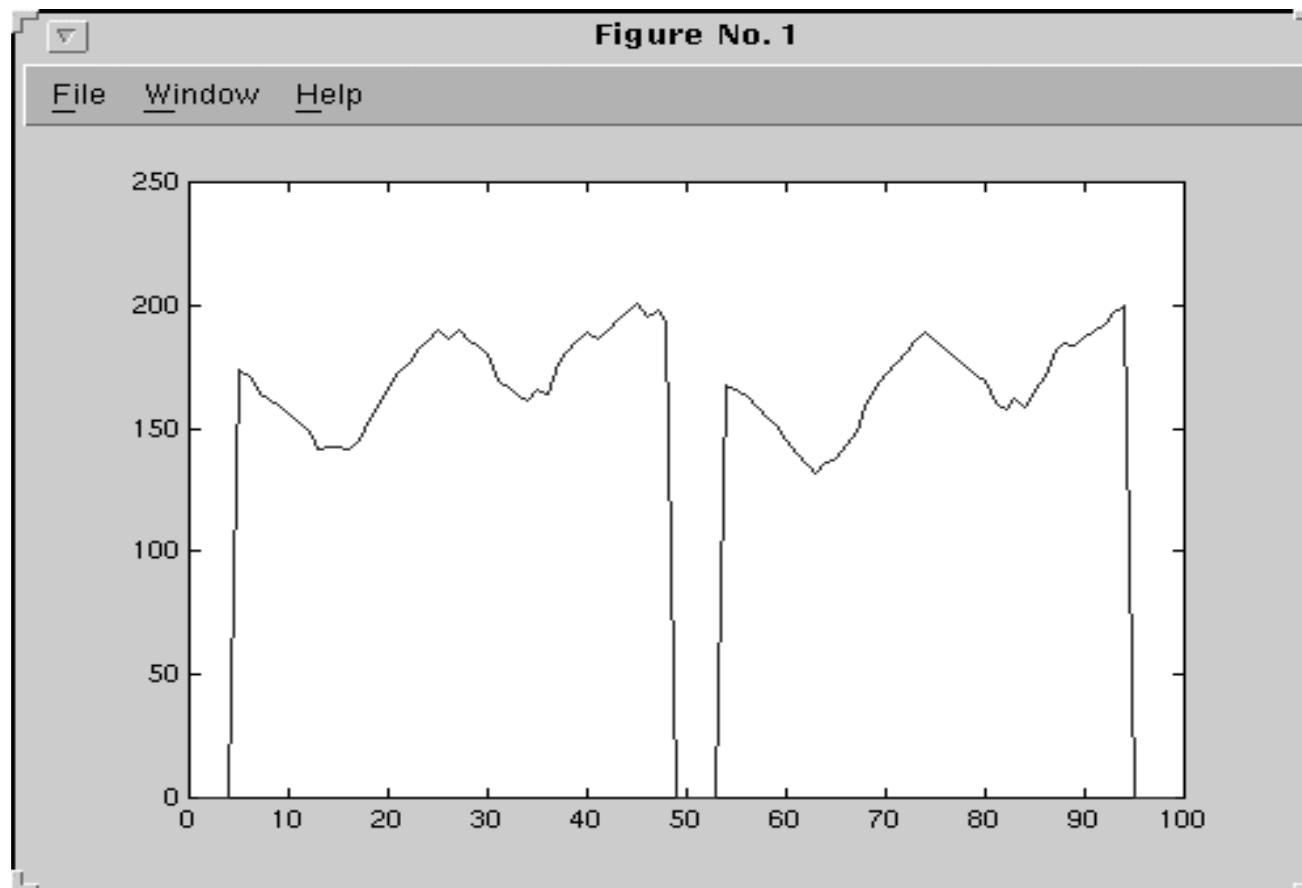
# OBJECTIF DE LA CORRECTION

---

- Malgré toutes les précautions que l'on peut prendre, il reste toujours des erreurs
- On peut tenter d'en diminuer l'amplitude par un traitement a posteriori
- Ce traitement ne permettra jamais de retrouver les valeurs exactes

# CORRECTION DE MESURE

- Exemple des occultations de marqueurs
  - Valeurs nulles sur les 3 axes



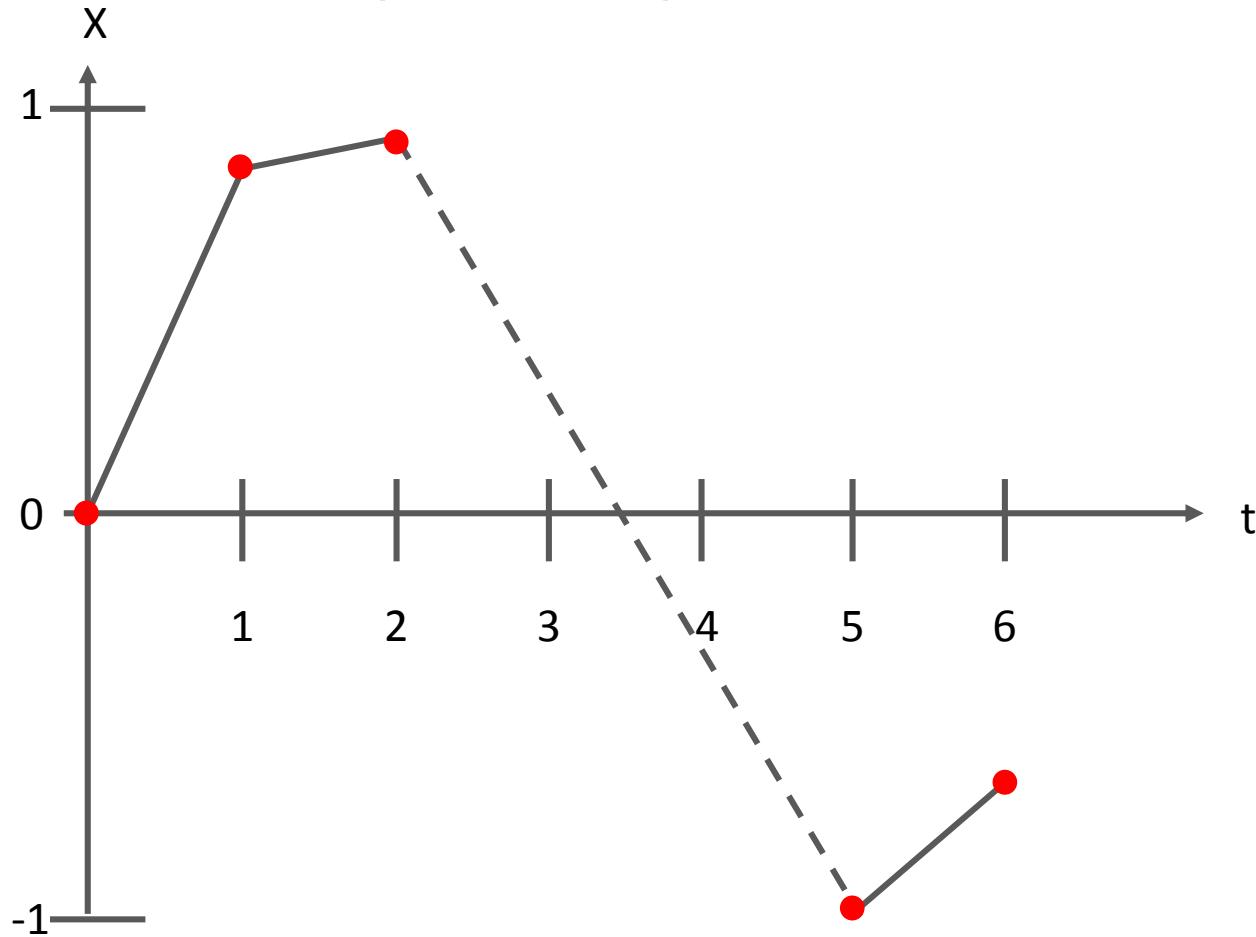
# PRINCIPE DE LA CORRECTION

---

- Il est illusoire de vouloir corriger une mesure isolée
- On corrige une succession de valeurs en utilisant des connaissances a priori
  - Ex : Si on sait qu'une valeur ne varie pas, la mesure corrigée peut être donnée comme la moyenne de plusieurs mesures brutes
- Interpolation : retrouver les valeurs par estimation
  - A faire axe par axe
  - Linéaire
  - Polynomiale
  - Spline

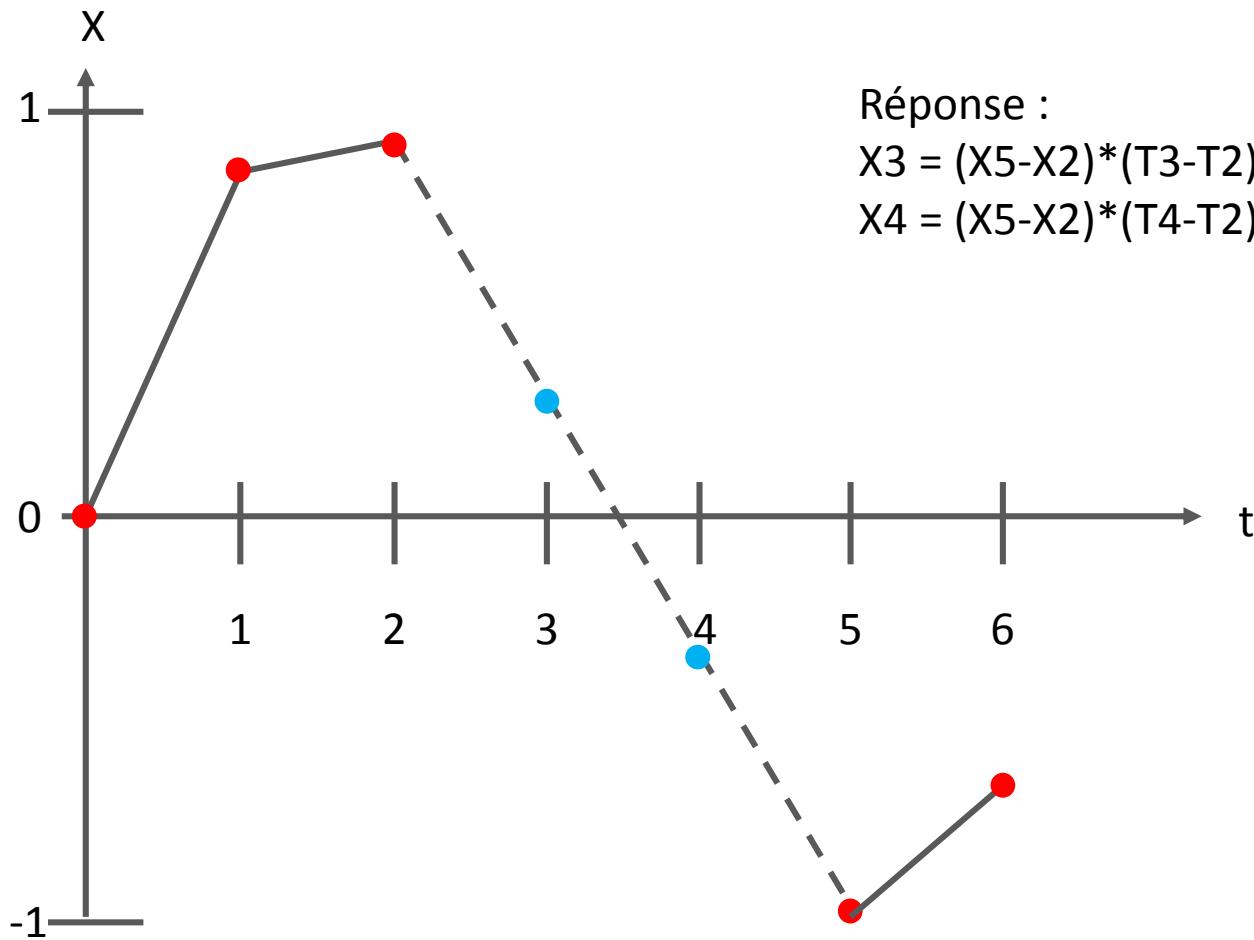
# INTERPOLATION LINÉAIRE

- On considère que la courbe reliant deux points mesurés est une droite
  - Importance de la fréquence de capture



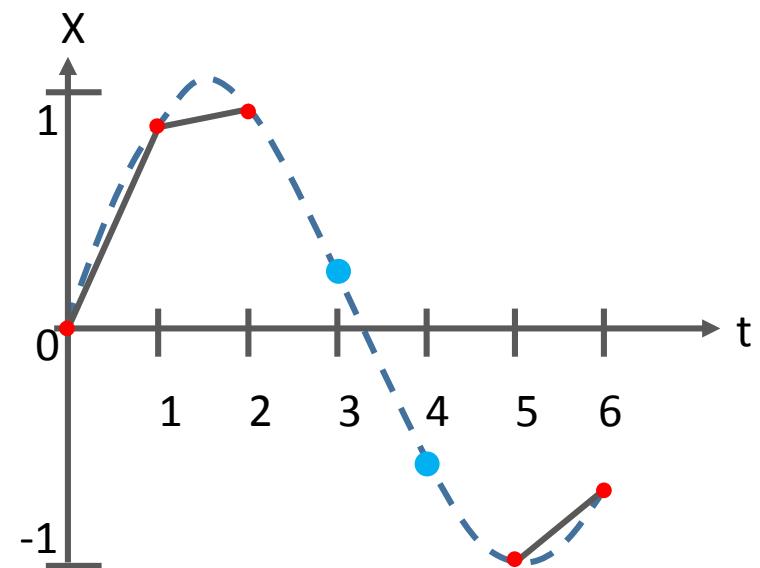
# INTERPOLATION LINÉAIRE

- Calculez les coordonnées des points aux instants 3 et 4



# INTERPOLATION POLYNOMIALE

- On cherche le polynôme qui représente toute la courbe
  - N points  $(t_i, X_i)$
- Polynôme sous forme : exemple degré 3
  - $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$
- On obtient un système
  - $X_1 = at_1^3 + bt_1^2 + ct_1 + d$
  - $X_2 = at_2^3 + bt_2^2 + ct_2 + d$
  - ...



# INTERPOLATION POLYNOMIALE

- Polynôme ne passe pas parfaitement par les points
- Il faut trouver la solution donnant le résidu d'erreur le plus faible
  - Utilisation de l'écriture matricielle
- $$\begin{vmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ \dots \\ Y_m \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & X_1 & X_1^2 & \dots & X_1^n \\ 1 & X_2 & X_2^2 & \dots & X_2^n \\ 1 & X_3 & X_3^2 & \dots & X_3^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & X_m & X_m^2 & \dots & X_m^n \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_n \end{vmatrix}$$
- $Y = C * a$

# INTERPOLATION POLYNOMIALE

---

- On cherche les coefficients du polynôme

- Inverser l'équation

$$C^{-1} * Y = C^{-1} * C * a = I * a$$

$$C^{-1} * Y = a \quad (\text{attention à l'ordre du produit matriciel})$$

- Impossible si matrice pas carrée

⇒ Passage par minimisation des moindres carrés

- Utilisation de la pseudo-inverse

$$C^+ * Y = a$$

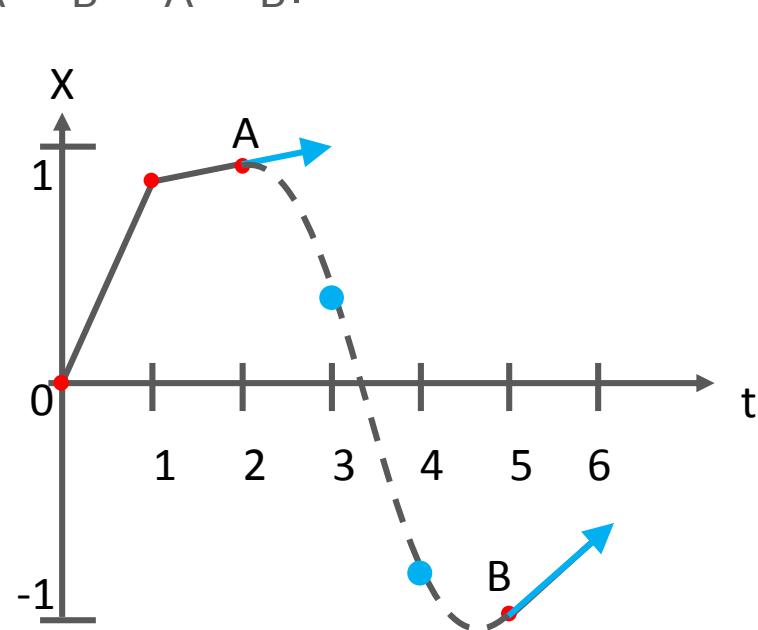
$$\text{avec } C^+ = (C^T C)^{-1} C^T$$

# INTERPOLATION PAR SPLINE

- On peut aussi travailler localement autour du trou à compléter
- On peut aussi prendre en compte la dérivée localement
  - Interpolation calculée sur les 4 points autour de l'intervalle
  - Exemple de Hermite

- $X = |a^3 \ a^2 \ a \ 1| * \begin{vmatrix} 2 & -2 & 1 & 1 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} * |X_A \ X_B \ \dot{X}_A \ \dot{X}_B|$

- a est le pourcentage de l'intervalle
  - Point à  $t_3$  :  $a = (t_3 - t_2) / (t_5 - t_2)$
  - Point à  $t_4$  :  $a = (t_4 - t_2) / (t_5 - t_2)$



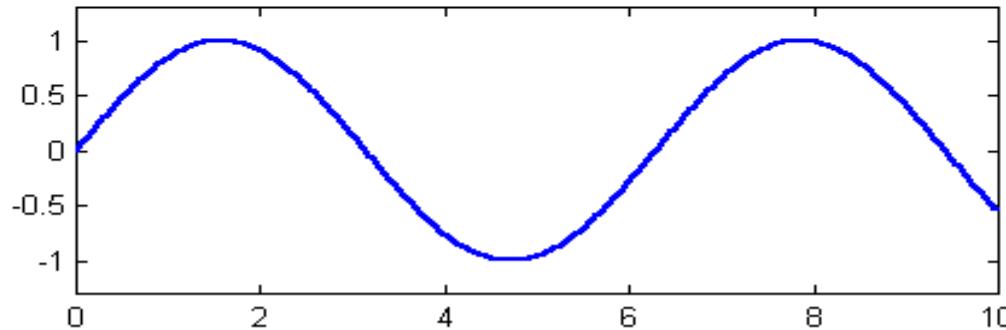
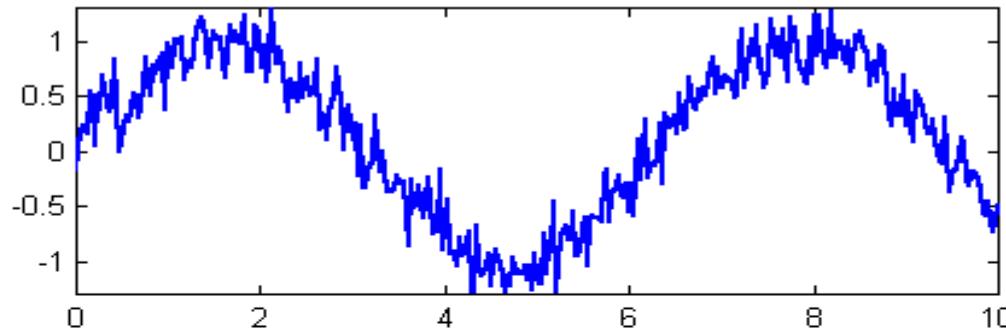
# INTERPOLATION POLYNOMIALE

---

- Résolution permet d'avoir les coefficients du polynôme
  - On en déduit les points qui nous manquent
- Attention au choix du degré
  - Degré trop faible, « lissage » trop fort
  - Degré trop fort, trop de variation, ajout de bruit
  - Se baser sur le nombre de points de flexion

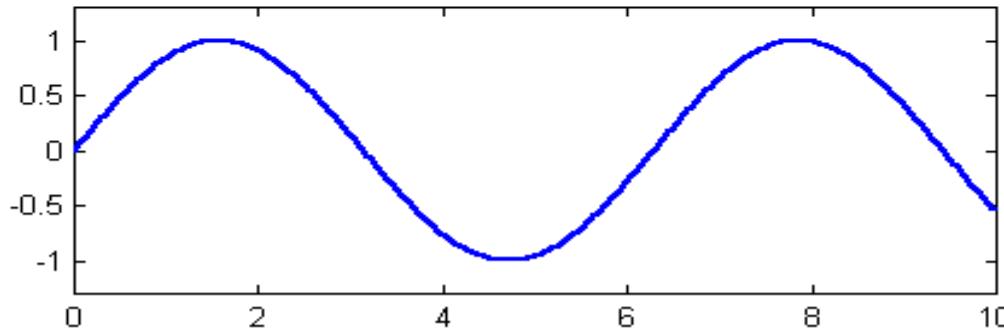
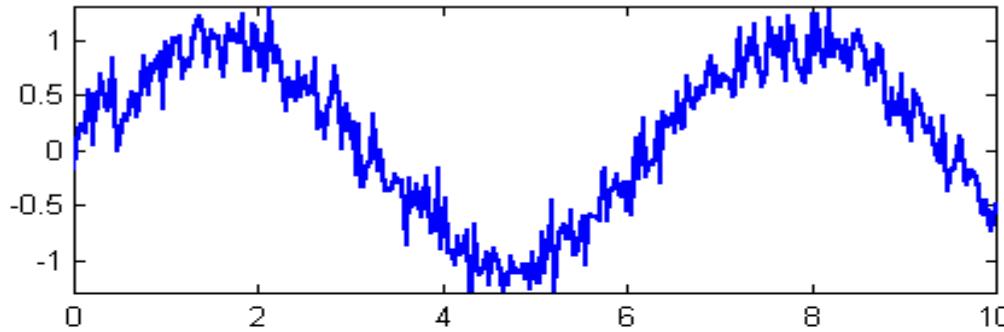
# FILTRAGE DES DONNÉES

- Autre problème : bruit des signaux
- On utilise en général l'idée de la régularité de la valeur à mesurer  
⇒ Filtrage



# FILTRAGE DES DONNÉES

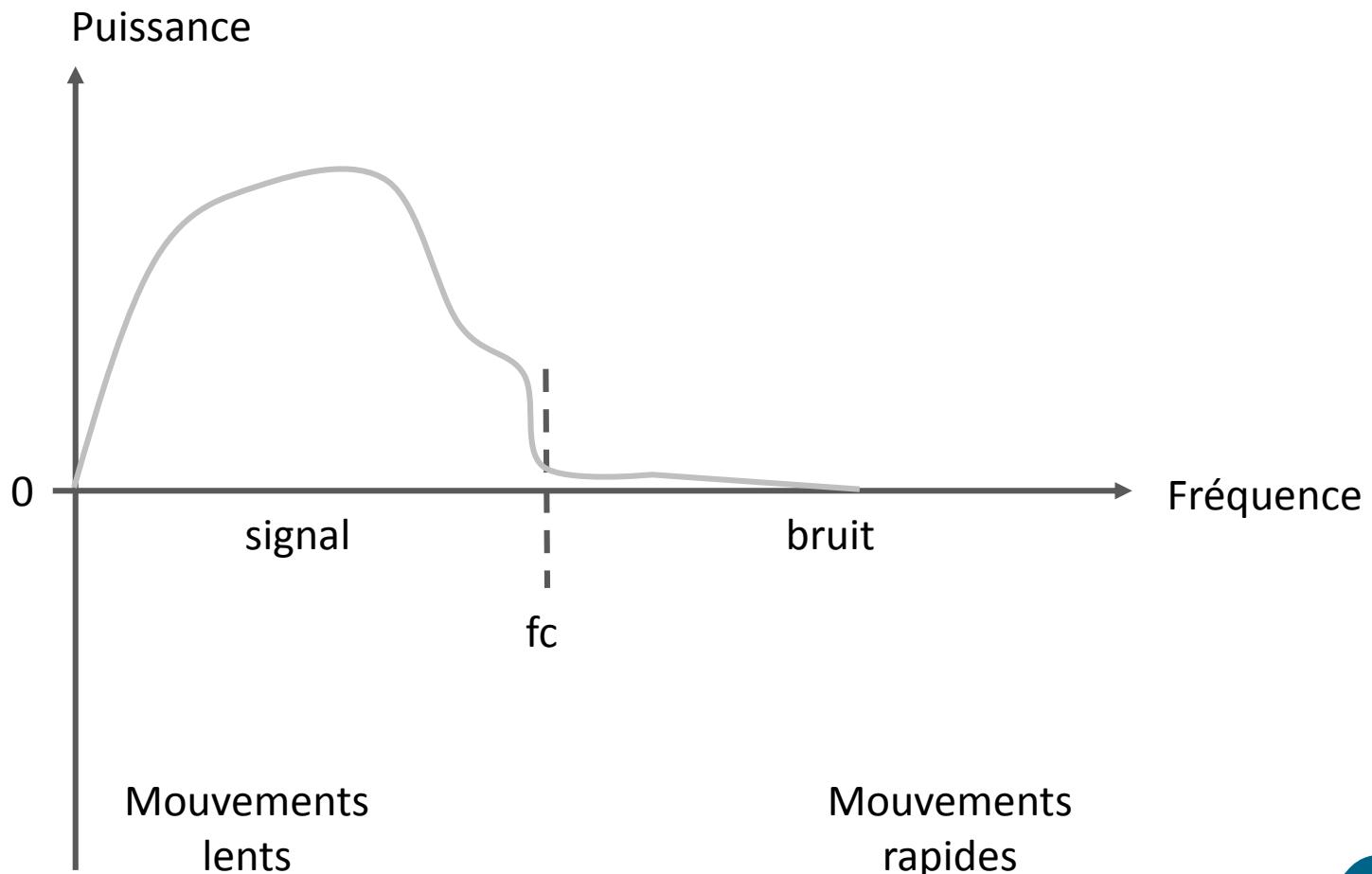
- On peut utiliser une modélisation polynomiale
  - Pas générique, besoin de trouver le degré du polynôme



# FILTRAGE DES DONNÉES

## ■ Filtre passe-bas

- Principe : seuiller les fréquences les plus hautes à la fréquence de coupure  $f_c$



# FILTRAGE DES DONNÉES

- Filtre passe-bas
  - Exemple du Butterworth

Par exemple pour un filtre d'ordre 2 :

$$y_n = a_0x_n + a_1x_{(n-1)} + a_2x_{(n-2)} + b_1y_{(n-1)} + b_2y_{(n-2)}$$

$a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  et  $b_2$  sont les coefficients du filtre. Leur somme est égale à 1. Leur détermination repose sur le rapport entre la fréquence d'acquisition du signal ( $fs$ ) et la fréquence de coupure ( $fc$ ).

$$\omega_c = \tan(\pi fc/fs)$$

$$K1 = (\sqrt{2})\omega_c \text{ (pour un filtre Butterworth)}$$

$$K2 = \omega_c^2$$

$$a_0 = K2 / (1 + K1 + K2)$$

$$a_1 = 2a_0$$

$$a_2 = a_0$$

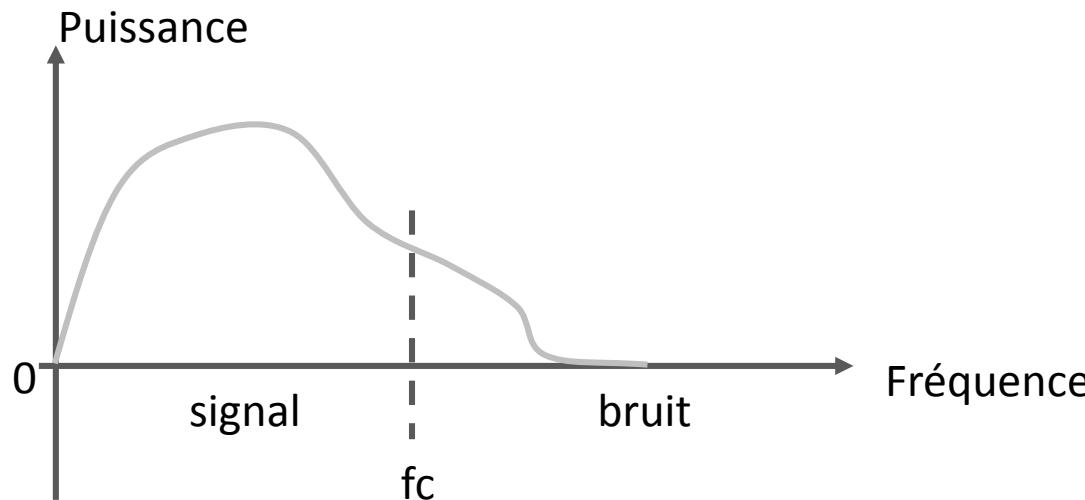
$$K3 = 2a_0/K2$$

$$b_1 = -2a_0 + K3$$

$$b_2 = 1 - 2a_0 - K3 = 1 - a_0 - a_1 - a_2 - b_1$$

# PRINCIPE DE LA CORRECTION

- Filtre passe-bas paramétré par fréquence de coupure
  - Humain : 10Hz
- Danger pour les mouvements rapides, les chocs, etc.
  - Intersection importante entre bruit et signal



# PRINCIPE DE LA CORRECTION

---

- Autre solution : filtre de Kalman
  - Utilise l'historique des valeurs pour estimer la suite
  - Crée donc un modèle prédictif
- Deux phases distinctes :
  - Prédiction : utilise l'état estimé de l'instant précédent pour produire une estimation de l'état courant.
  - Mise à jour : observations de l'instant courant sont utilisées pour corriger l'état prédit dans le but d'obtenir une estimation plus précise
- Implémentations
  - C++ : OpenCV
  - Matlab : Computer Vision System Toolbox

# REPRÉSENTATION DES DONNÉES

Normalisation

Rééchantillonnage temporel et spatial

Choix des descripteurs

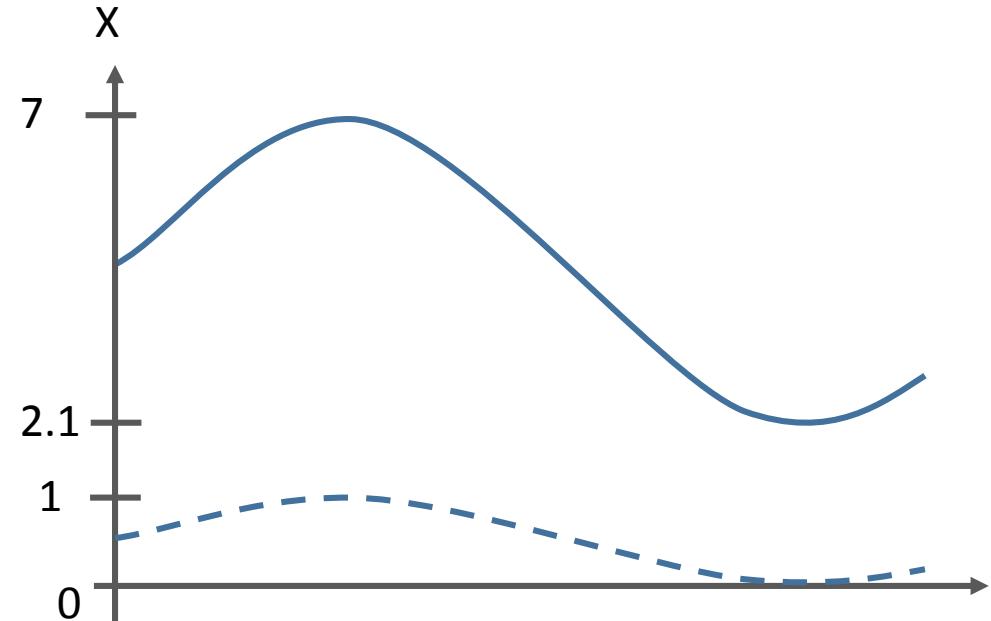
# NORMALISATION DE DONNÉES

---

- Objectif : regrouper des gestes en classes pour les reconnaître
- Il faut donc pouvoir observer des mouvements de manière cohérente, indépendamment des variabilités
  - Morphologie
  - Vitesse d'exécution
  - Amplitude de geste
  - ...
- Normalisation
  - Mettre sur la même échelle de valeur
  - Mettre sur la même échelle de temps

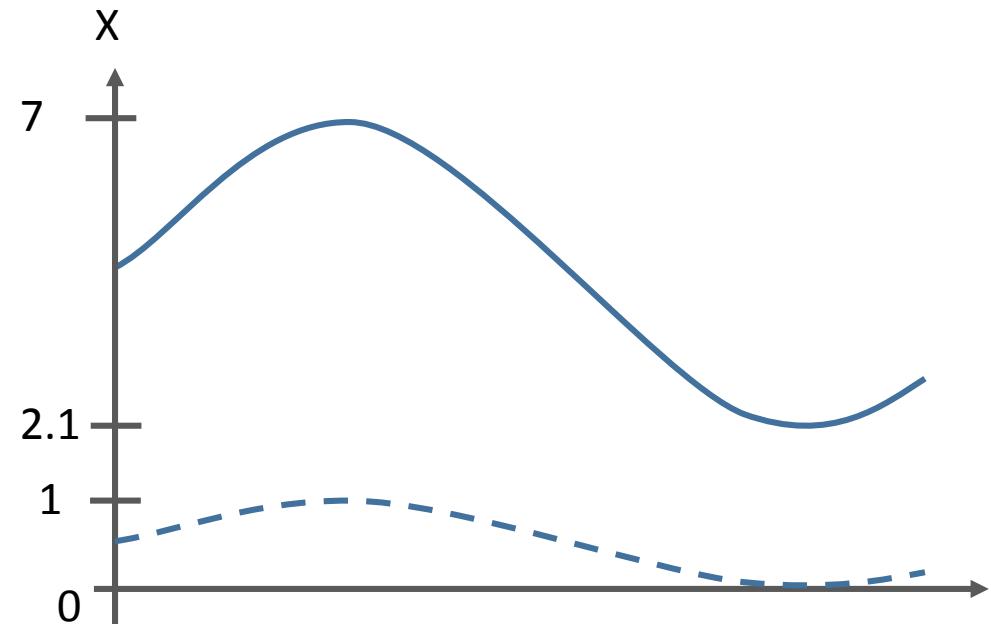
# NORMALISATION DES DONNÉES

- Ramener l'amplitude des gestes sur la même échelle
- Par exemple sur l'intervalle [0, 100%]
  - $X = [5\ 5.4\ 5.8\ 6.2\ 6.6\ 7\ 6.3\ 5.6\ 4.9\ 4.2\ 3.5\ 2.8\ 2.1\ 2.5]$
- Calcul ?



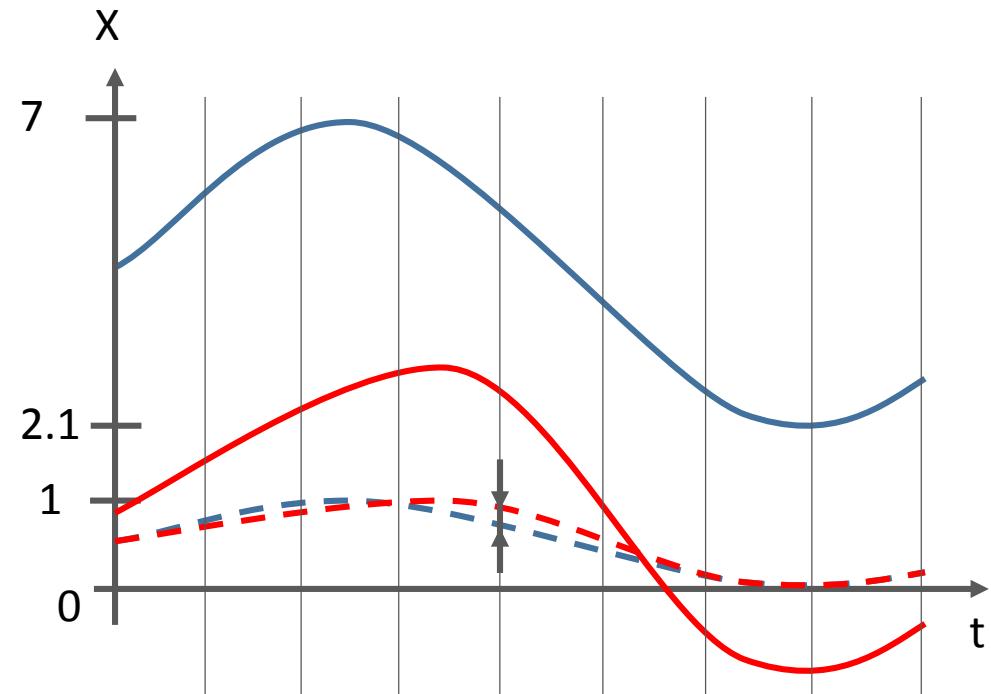
# NORMALISATION DES DONNÉES

- Ramener l'amplitude des gestes sur la même échelle
- Par exemple sur l'intervalle [0, 100%]
  - $X = [5\ 5.4\ 5.8\ 6.2\ 6.6\ 7\ 6.3\ 5.6\ 4.9\ 4.2\ 3.5\ 2.8\ 2.1\ 2.5]$
- Calcul basé sur l'amplitude pour chaque axe
  - $X'_i = (X_i - X_{\text{Min}}) / (X_{\text{Max}} - X_{\text{Min}})$
  - $X' = [0.59\ 0.67\ 0.76\dots]$



# NORMALISATION DES DONNÉES

- Permet la comparaison directe de courbes
- Mais si la durée des mouvements n'est pas la même ?



# NORMALISATION TEMPORELLE

---

- Même approche sur les instants ramenés sur [0, 100%]
- Exemple : temps d'un mouvement capturé
  - $t=[10, 10.02, 10.04, \dots, 20]$
- Nouveaux instants
  - $t'_i = (t_i - t_{\text{Min}}) / (t_{\text{Max}} - t_{\text{Min}})$
  - $t'=[0, 0.01, 0.02, \dots, 1]$
- Toutes les trajectoires ramenées sur le même intervalle
- Mais toujours le même nombre d'instants
  - ⇒ Pas de comparaison directe possible

# RÉÉCHANTILLONNAGE

---

- Il faut rééchantillonner : redécouper le signal
  - Soit pour avoir une fréquence constante
  - Soit pour avoir un nombre de valeurs
- Méthode
  - Trouver les instants souhaités
    - Directement si on a une fréquence
    - Recalculés si nombre de valeurs souhaité
  - On va faire une interpolation
- Et retrouver les valeurs aux instants souhaités

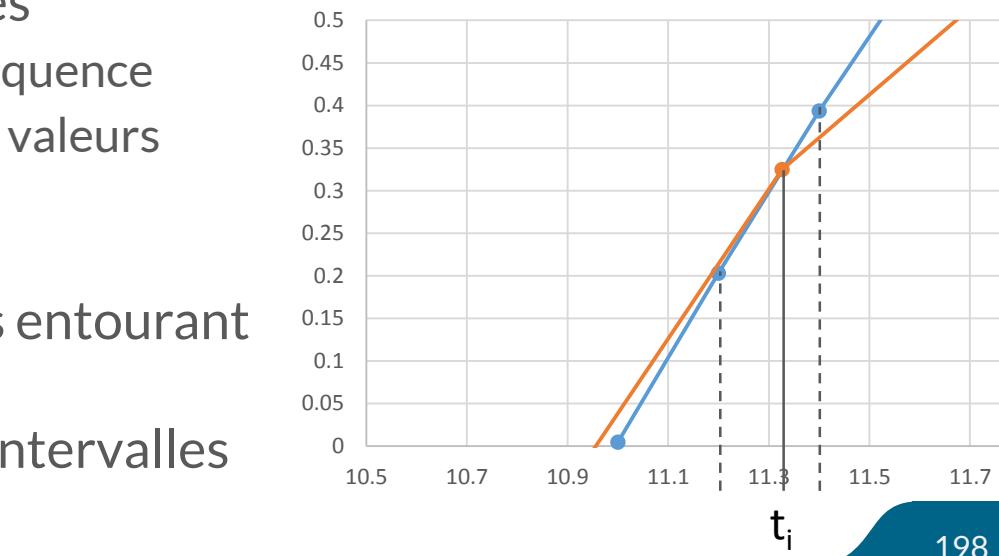
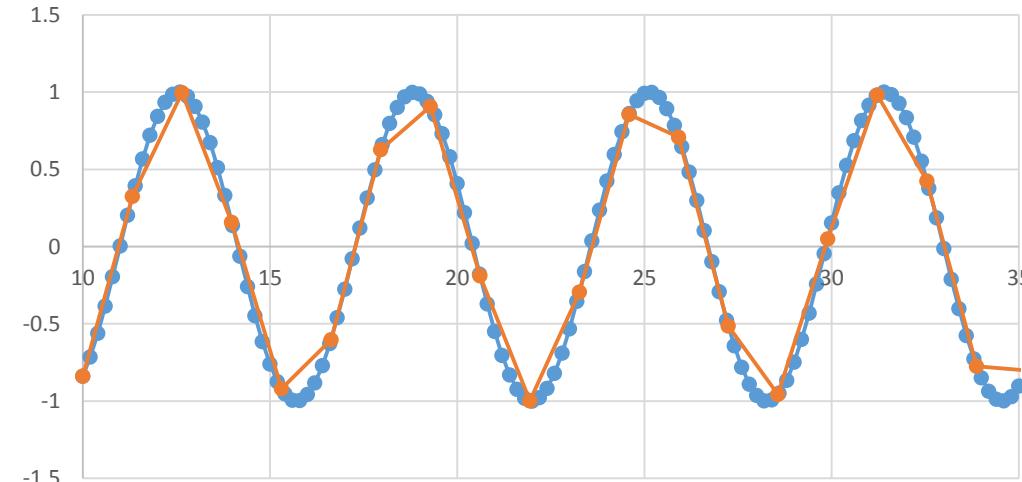
# RÉÉCHANTILLONNAGE

- Il faut rééchantillonner : redécouper le signal

- Soit pour avoir une fréquence constante
- Soit pour avoir un nombre de valeurs

- Méthode

- Trouver les instants souhaités
  - Directement si on a une fréquence
  - Recalculés si un nombre de valeurs souhaité
  - $t_i' = (t_n - t_0) / (\text{nbVal}-1) * i + t_0'$
- Trouver l'intervalle de temps entourant ces instants
- Faire l'interpolation sur ces intervalles



# REPRÉSENTATION DES DONNÉES

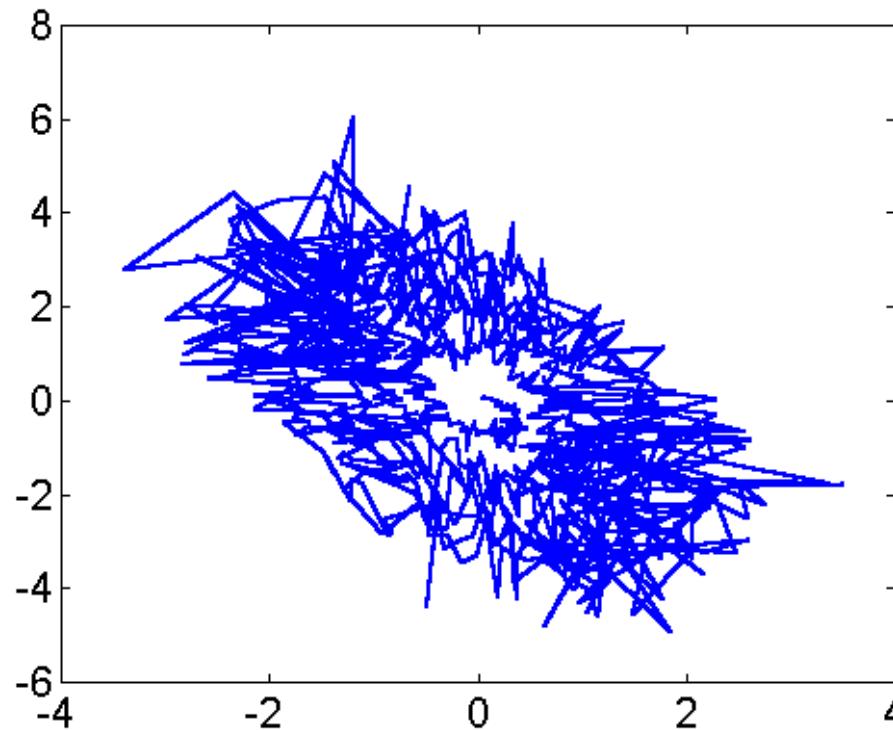
---

- La reconnaissance de gestes s'appuie sur des descripteurs
  - Beaucoup de données peuvent servir à la reconnaissance
    - Cinématiques
    - Dynamiques
    - Musculaires
  - Il est possible de les représenter de plusieurs manières
- Quelle est la meilleure représentation pour faire de la reconnaissance de gestes ?

# REPRÉSENTATION DE DONNÉES

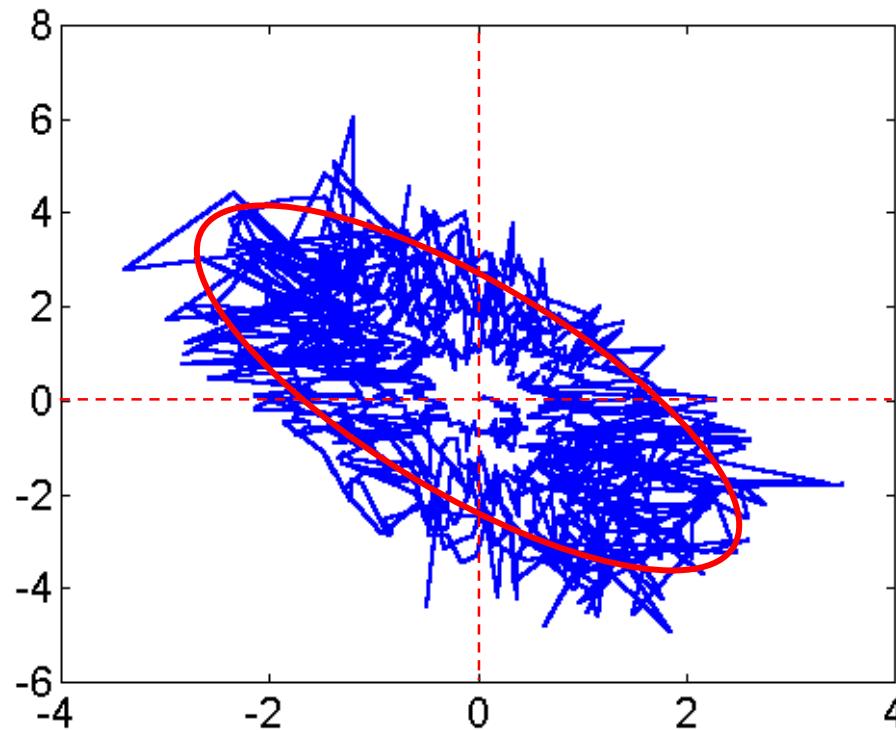
---

- Exemple du centre de pression calculé par PFF
- Statokinésigramme : trajectoire du centre de pression
- Peut être considéré comme un stroke



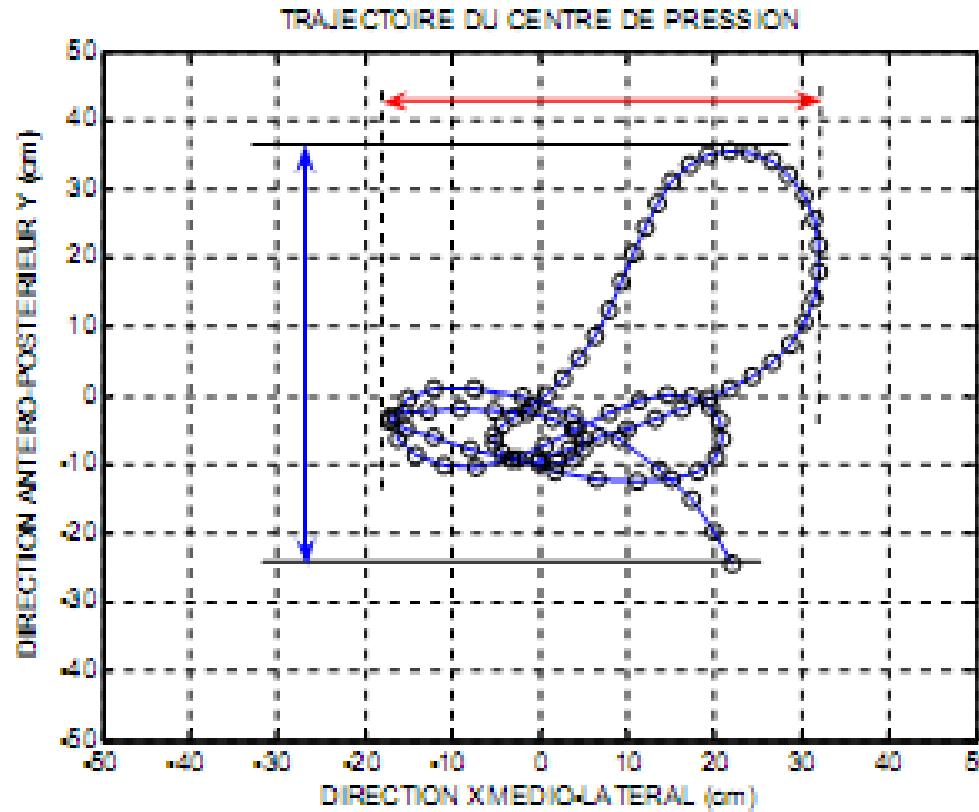
# REPRÉSENTATION DE DONNÉES

- Utiliser l'ellipse de confiance qui regroupe 90% des données



# REPRÉSENTATION DE DONNÉES

- Considérer la boîte englobante
  - Étendue max du COP
  - Selon les deux axes orthogonaux de la PFF : antéropostérieur et médiolatéral

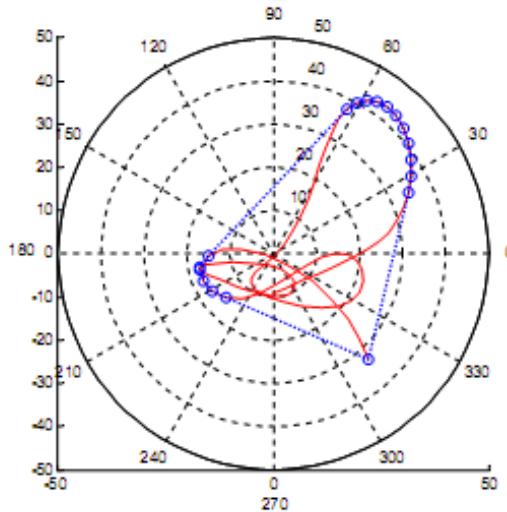


# REPRÉSENTATION DE DONNÉES

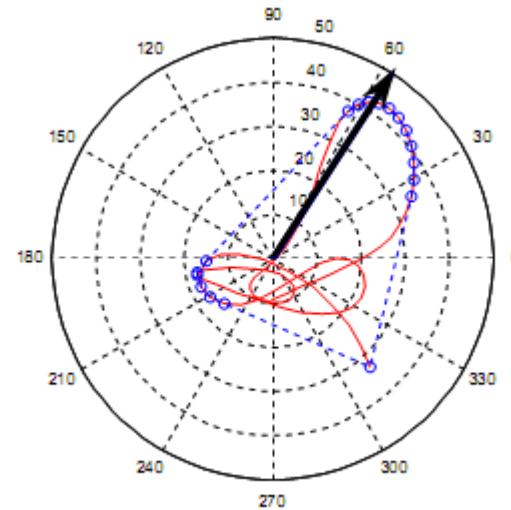
## ■ Surface engendrée par le COP

- Transformation du contour polygonal initial
- Obtention du contour convexe maximal (convexe de Hull)
- Orientation du tracé stabilométrique = angle de direction

Représentation  
cartésienne et polaire



Orientation du tracé



# REPRÉSENTATION DES DONNÉES

- On s'intéresse au mouvement du squelette
- Donc aux articulations qui articulent les membres

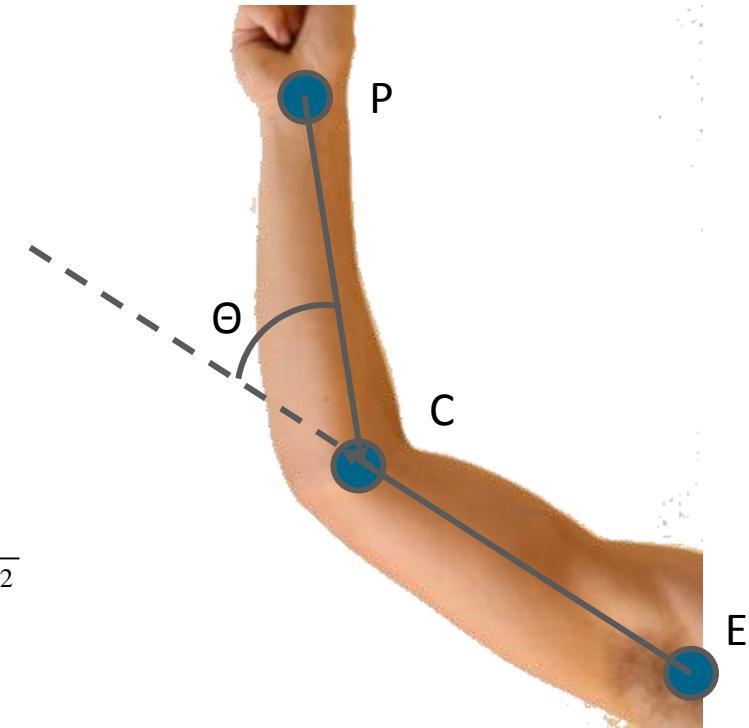
- On peut utiliser
  - Positions des articulations (E, C, P)
  - Angles intersegmentaires

$$\cos \theta = \frac{\overrightarrow{EC} \cdot \overrightarrow{CP}}{\|\overrightarrow{EC}\| \cdot \|\overrightarrow{CP}\|}$$

- Distances

$$\|\overrightarrow{EP}\| = \sqrt{(x_P - x_E)^2 + (y_P - y_E)^2 + (z_P - z_E)^2}$$

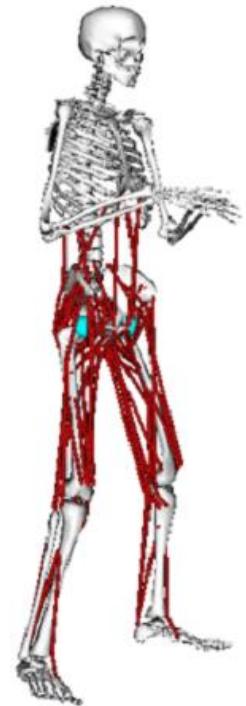
- Autres ?



# MODÉLISATION DU SQUELETTE

---

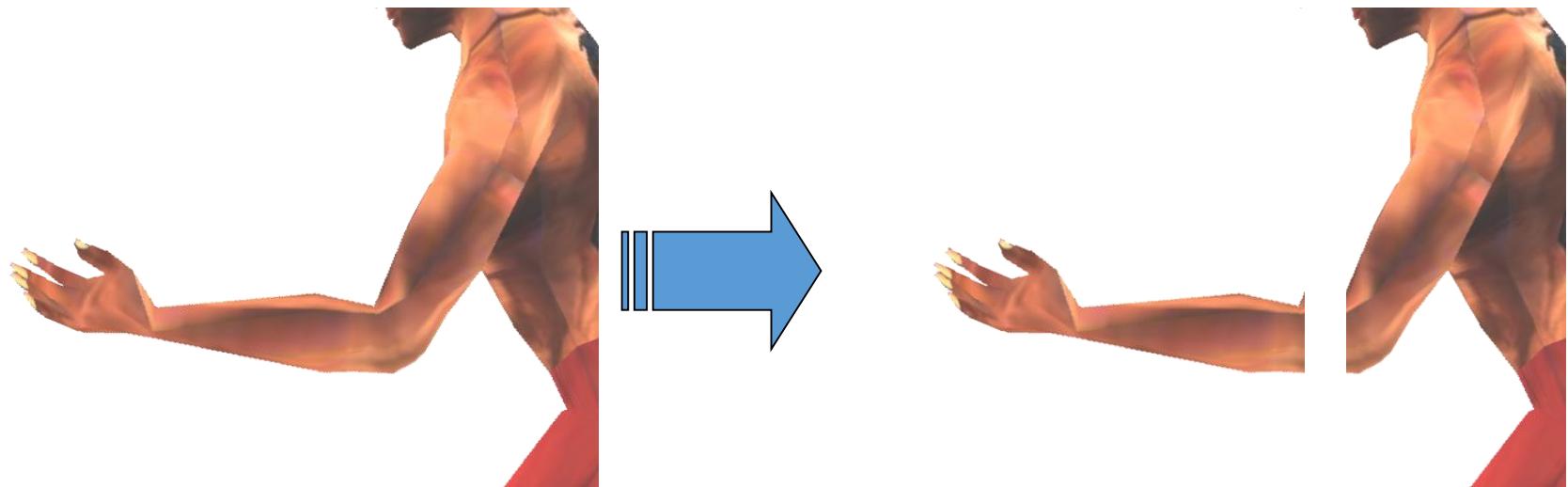
- On va simplifier le corps humain
  - 206 os
  - + de 600 muscles
- Système musculo-squelettique
  - Complexe
- Représentation classique en animation graphique
  - Solides rigides articulés !



# SQUELETTE

---

- Position ou angle ?
- Si on ne se base que sur les positions
  - Risque de démembrements



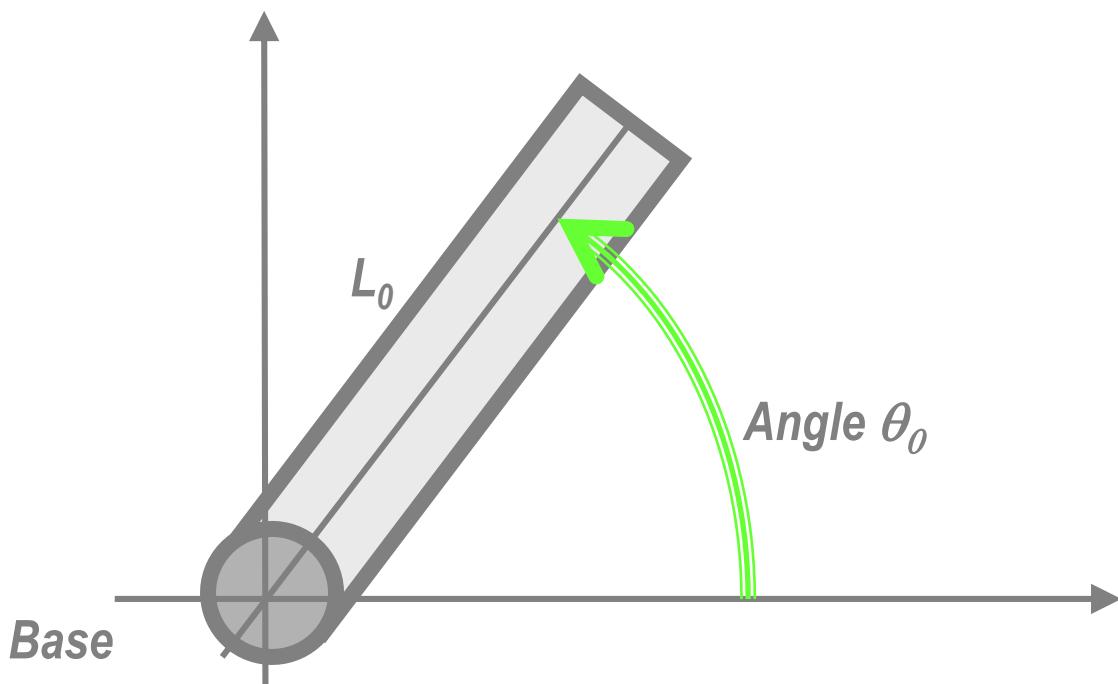
# SQUELETTE

---

- On se base sur des rotations
  - Rotations globales
  - Rotations locales
- En animation : rotations locales
- En reconnaissance : ça dépend

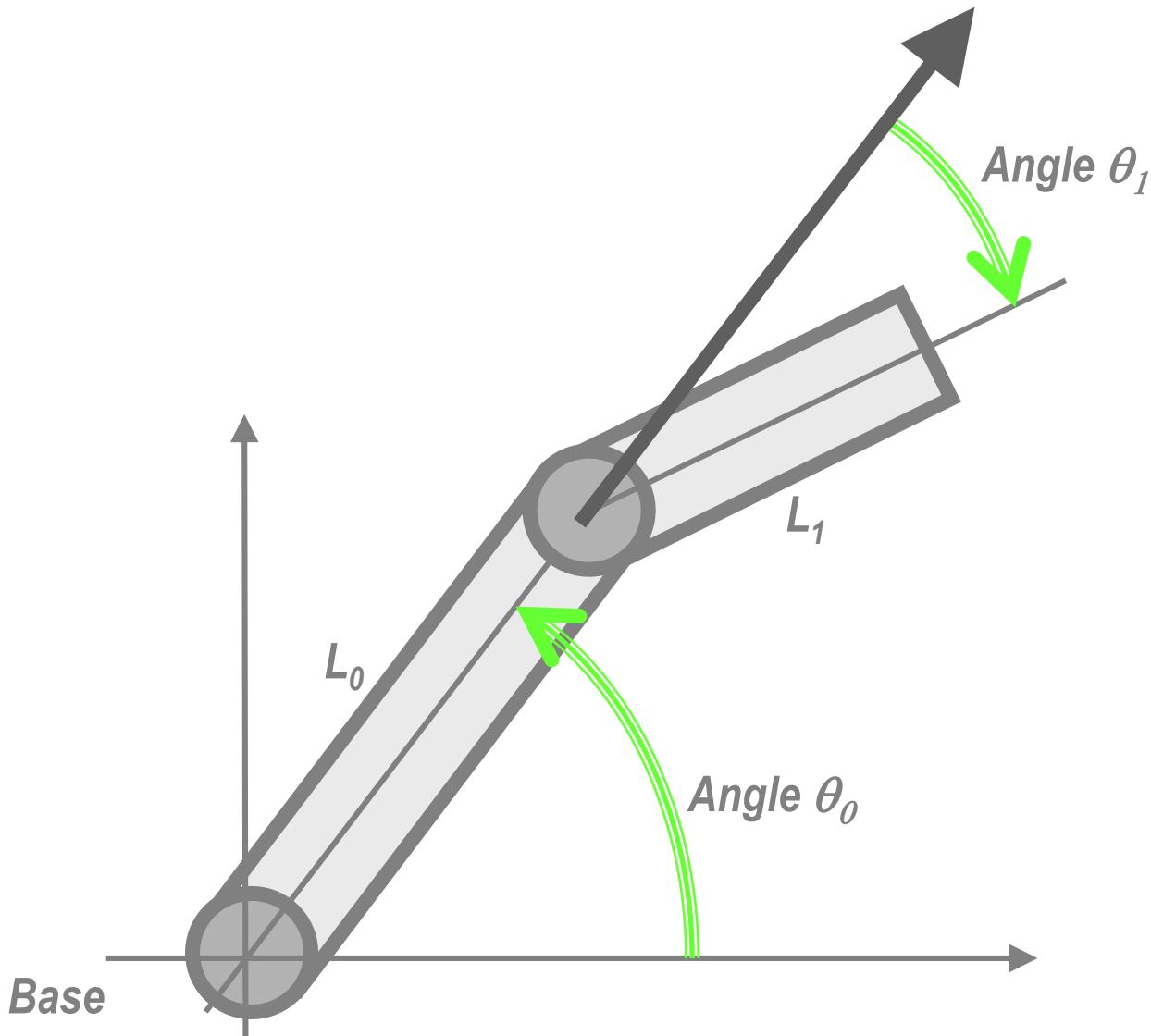
# PREMIER SEGMENT

---

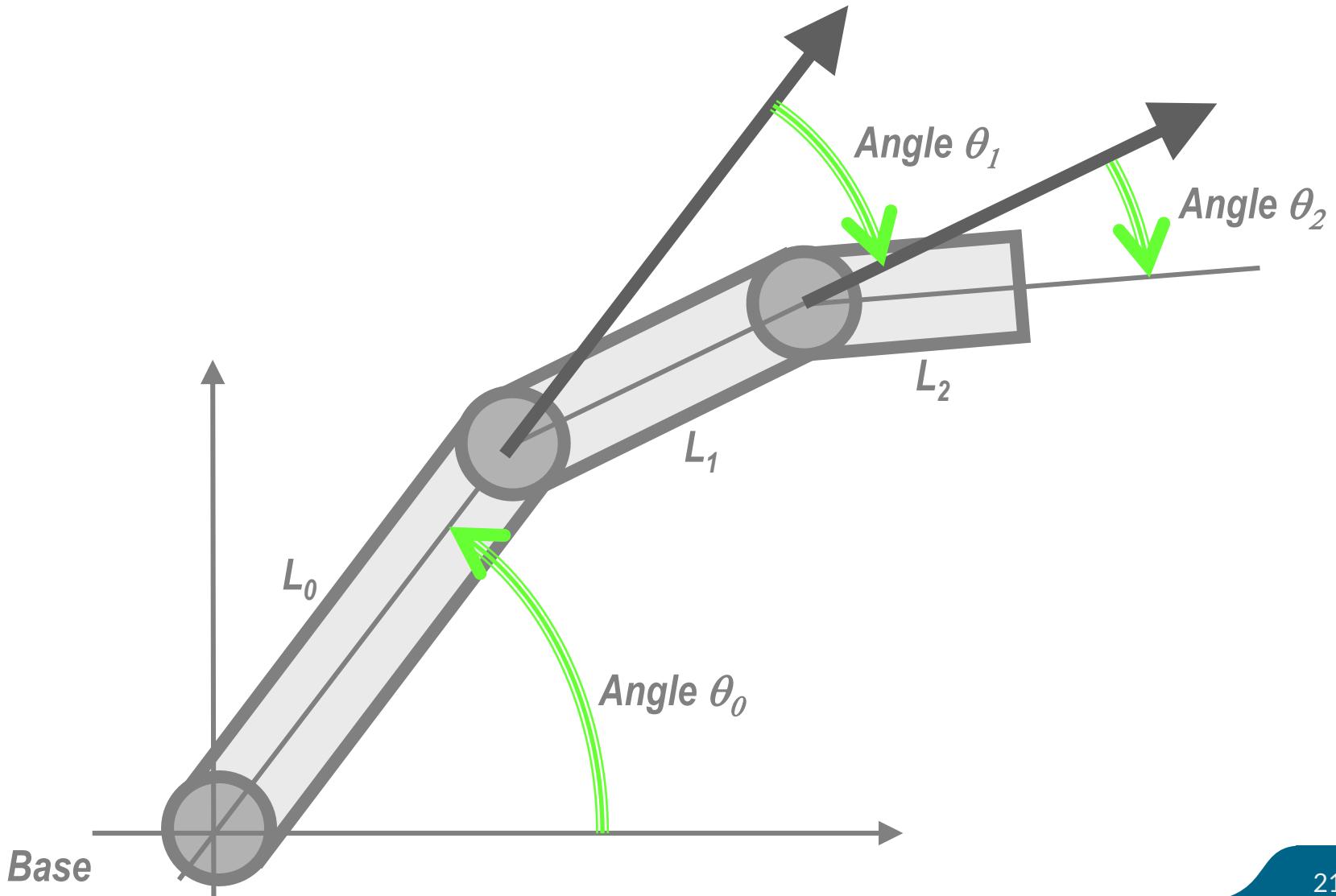


# SECOND SEGMENT

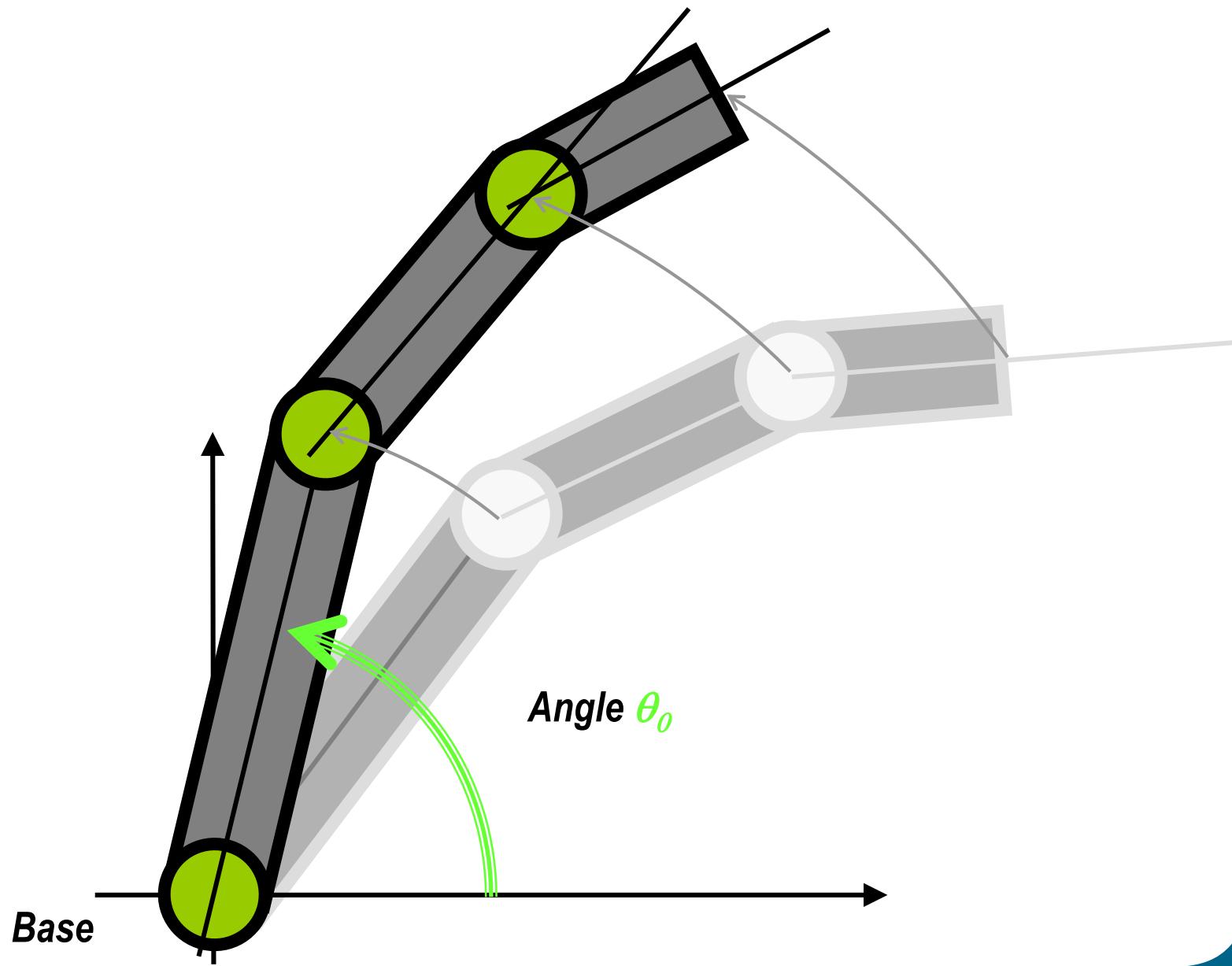
---



# TROISIÈME SEGMENT

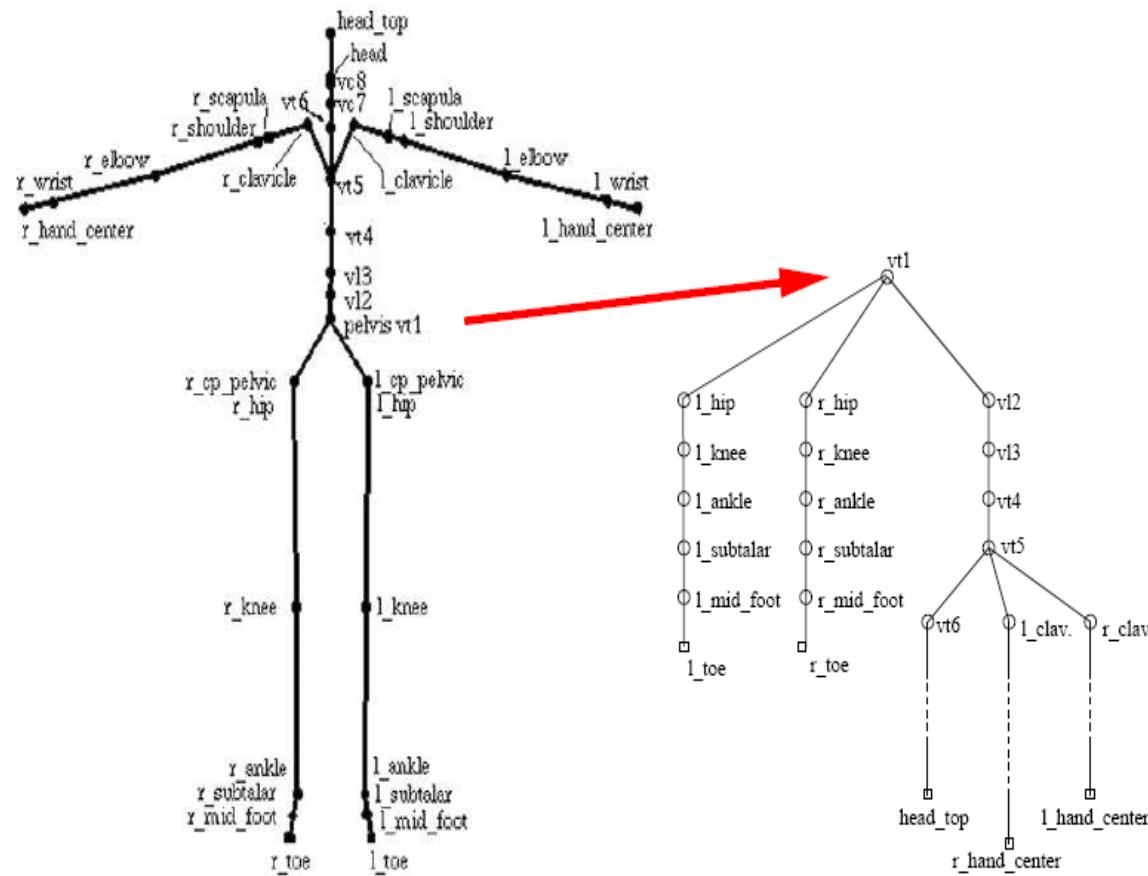


# ROTATION DE LA CHAÎNE COMPLÈTE



# MOUVEMENTS

- On obtient donc une hiérarchie
- Pour un personnage
  - Orientation locale des segments



# REPRÉSENTATION CINÉMATIQUE

---

- Cohérence entre données globales et locales
  - Artefact des pieds qui glissent sur le sol
- Racine (root) : rotation ET translation globales !
- Posture

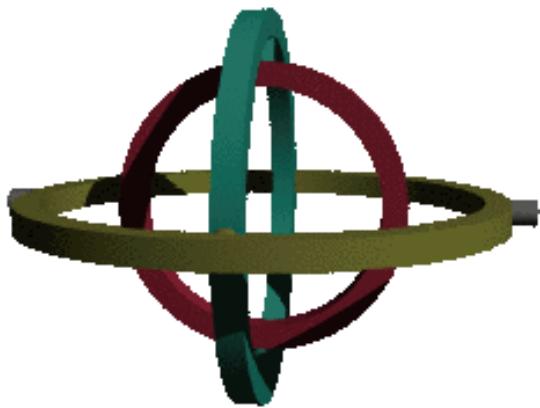
$$P(t) = \{p(t), \theta(t), \{\theta_i(t)\}_{i=1..n}\}$$



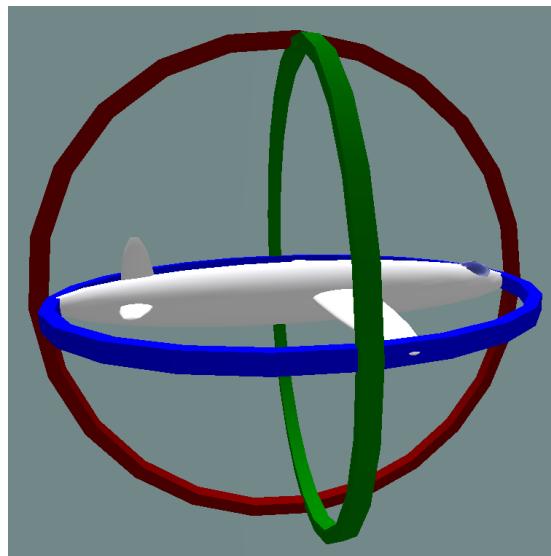
# REPRÉSENTATION CINÉMATIQUE

- Plusieurs représentations des angles

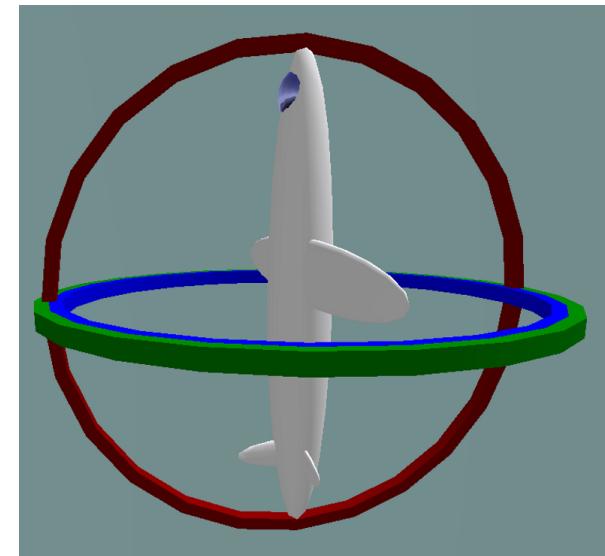
- Angle d'Euler (matrice homogène)
    - Angle par axe
    - Problème du Gimbal Lock



3 axes indépendants



Rotation de 0°  
3 DoF



Rotation de 90°  
Plus que 2 DoF

# REPRÉSENTATION CINÉMATIQUE

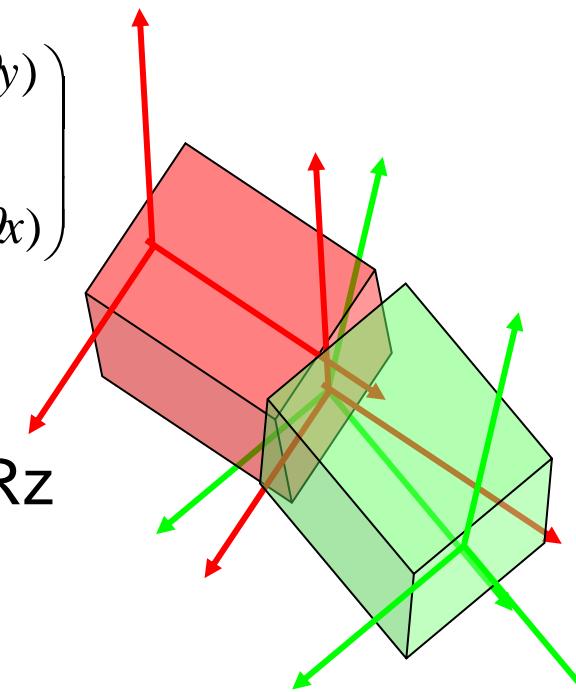
- Plusieurs représentations représentations angulaires
  - Angle d'Euler (matrice homogène)
    - Angle par axe
    - Problème du Gimbal Lock
    - Attention à l'ordre d'application des angles

$$Rx = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta_x) & -\sin(\theta_x) \\ 0 & \sin(\theta_x) & \cos(\theta_x) \end{pmatrix}$$

$$Ry = \begin{pmatrix} \cos(\theta_y) & 0 & \sin(\theta_y) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta_y) & 0 & \cos(\theta_y) \end{pmatrix}$$

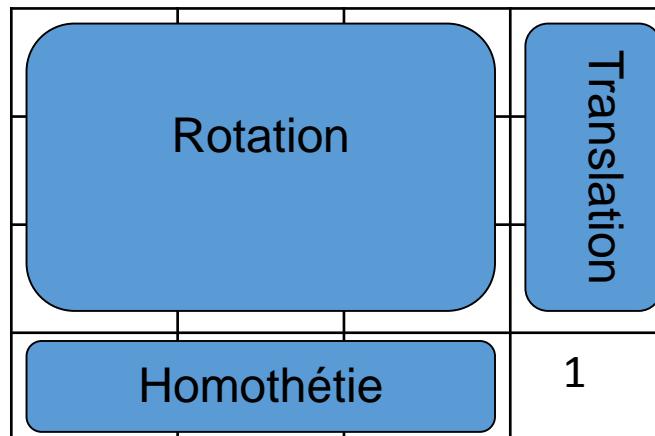
$$Rz = \begin{pmatrix} \cos(\theta_z) & -\sin(\theta_z) & 0 \\ \sin(\theta_z) & \cos(\theta_z) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$R_{\text{fils} \rightarrow \text{père}} = Rx \times Ry \times Rz$$



# MATRICES HOMOGÈNES

- Homogénéise la représentation des rotations, des translations et des homothéties
- Cumul des rotations et des translations



$$X(t) = \left( \prod_{i=1}^n R_i(\theta_i(t)) \times T_i \right) \times X_c$$

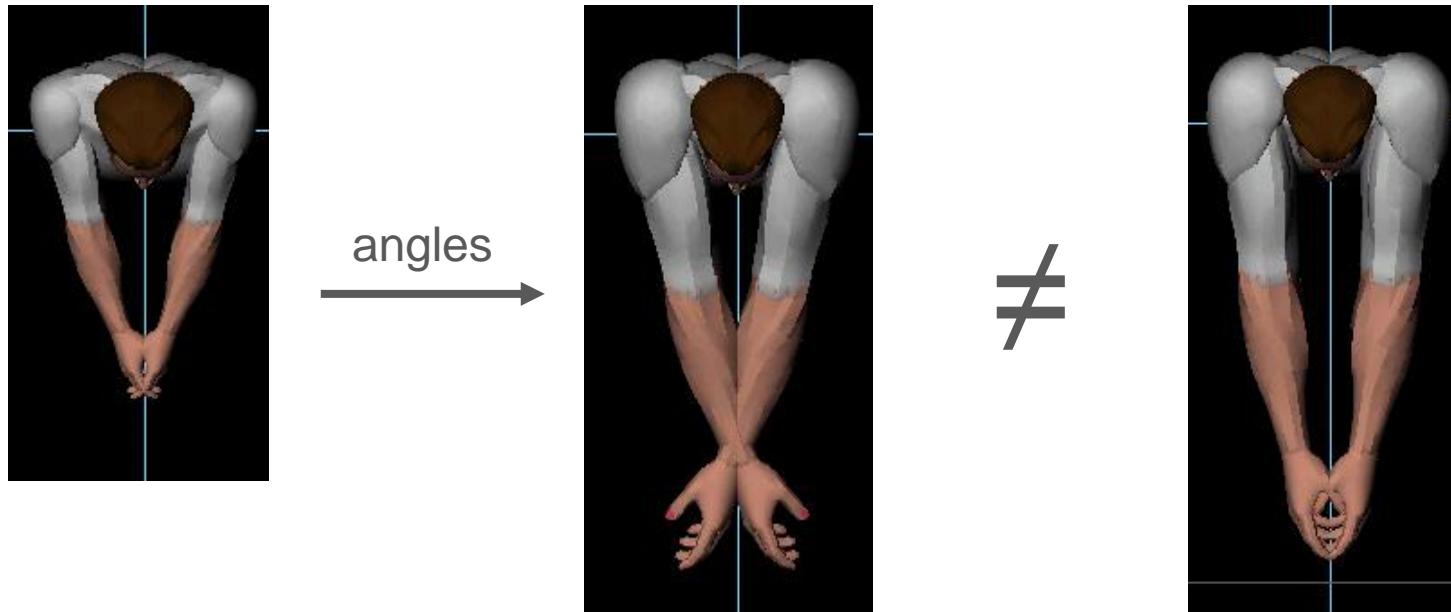
# REPRÉSENTATION CINÉMATIQUE

---

- Plusieurs représentations angulaires
  - Angle d'Euler (matrice homogène)
    - Angle par axe
    - Attention à l'ordre d'application des angles
    - Problème du Gimbal Lock
  - Quaternion
    - Représentation d'un angle avec 4 valeurs ( $x, y, z, w$ )
    - Peut être converti en axe de rotation + angle

# ADAPTATION DE MOUVEMENTS

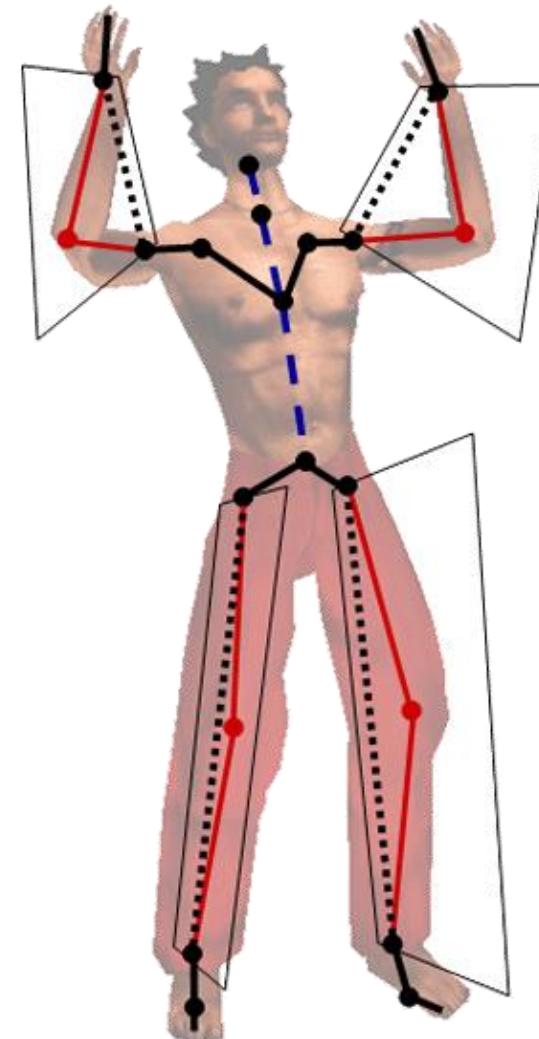
- Problème des angles : dépendant de la morphologie



- Autre représentation de mouvements ?
  - Représentation normalisée des données

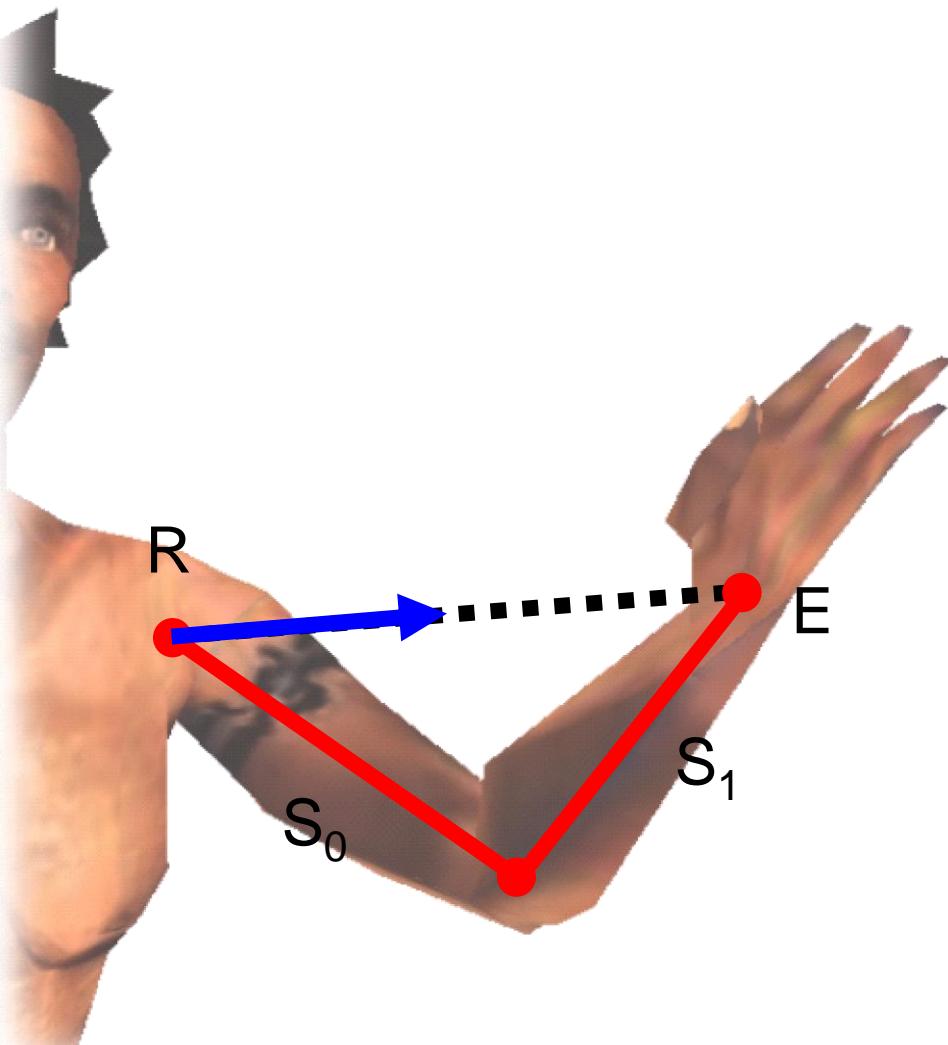
# SQUELETTE NORMALISÉ

- Squelette divisé en :
  - Membres
  - Colonne vertébrale
  - Reste des segments



[Kulpa05]

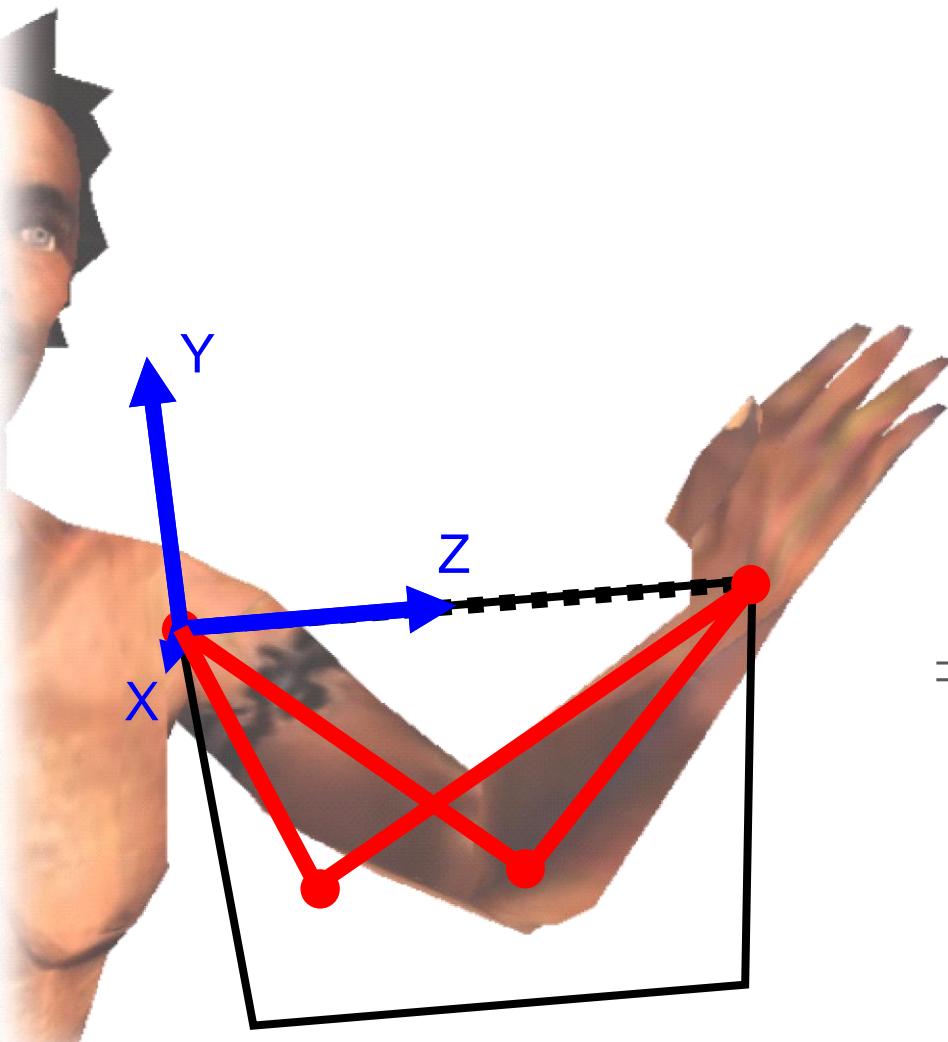
# SQUELETTE NORMALISÉ



- Membres sont indépendents de la longueur initiale
  - Utilise le vecteur de l'épaule au poignet
  - Normalise par la longueur du bras

$$\text{normalizedKC} = \frac{E - R}{\sum_j \text{length}(S_j)}$$

# SQUELETTE NORMALISÉ



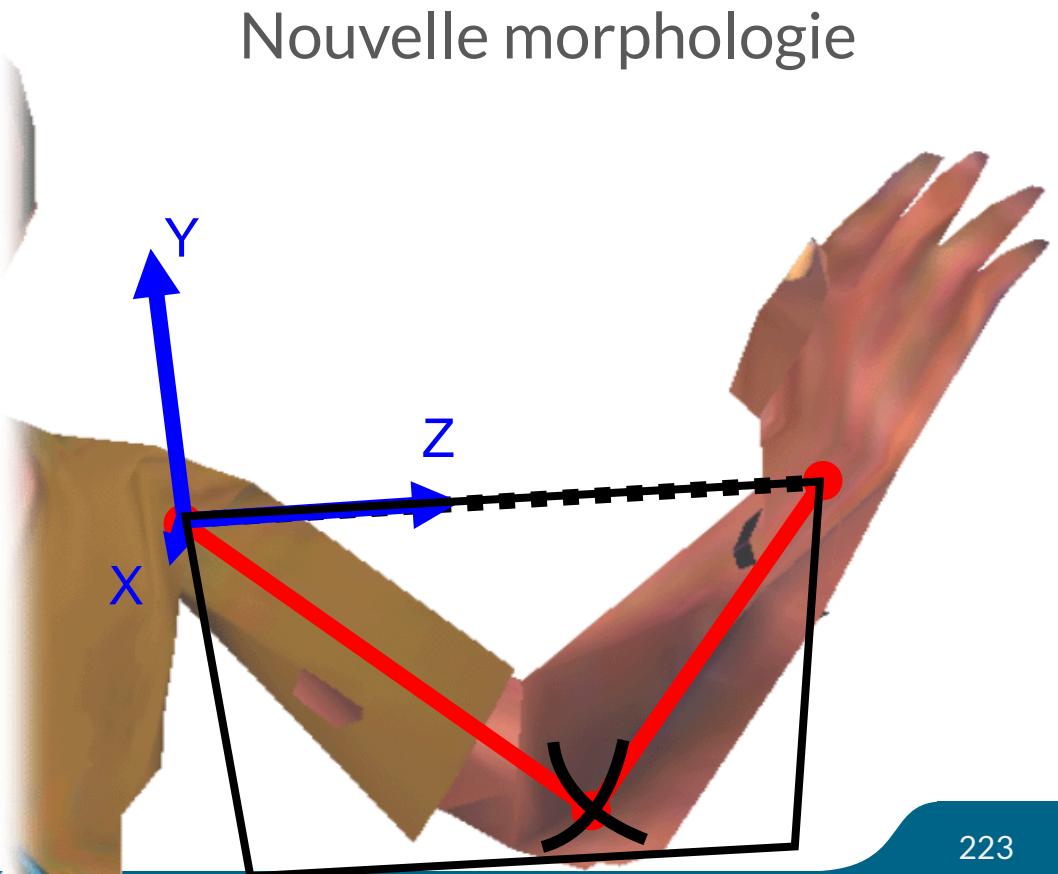
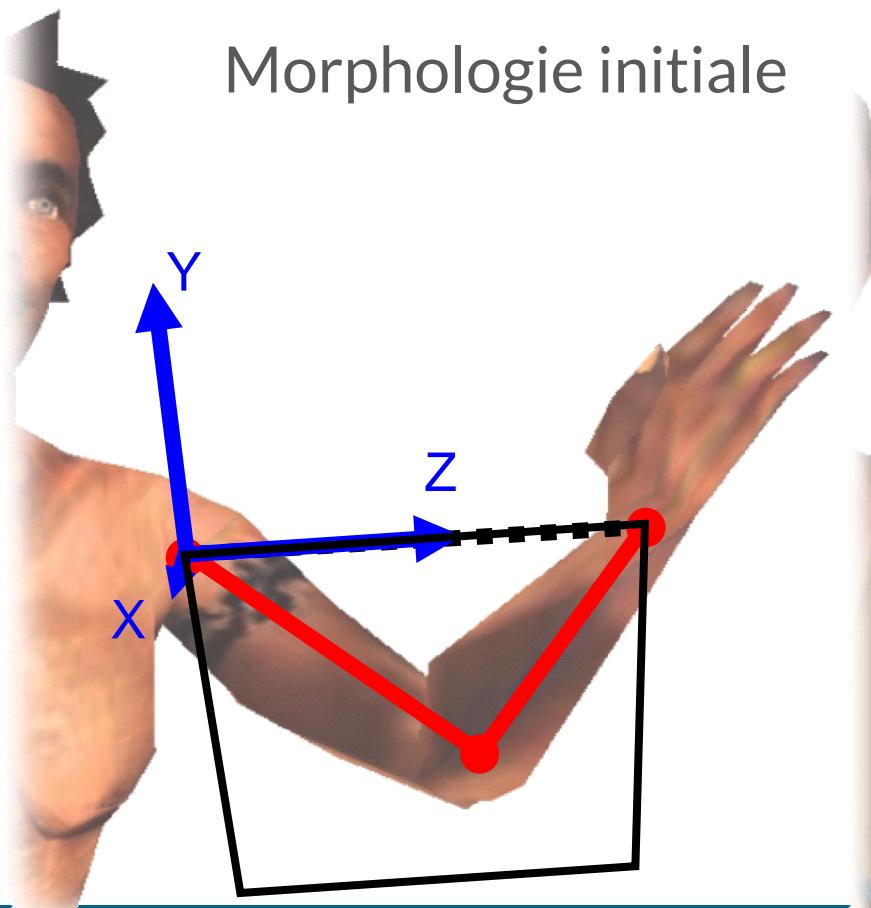
- Membres sont indépendents du ratio entre les longueurs des segments
  - Stocke le demi-plan qui contient le coude

⇒ Membres définis par :

- Repère : définit le vecteur et le demi-plan
- Scalaire : pourcentage de la longueur du membre

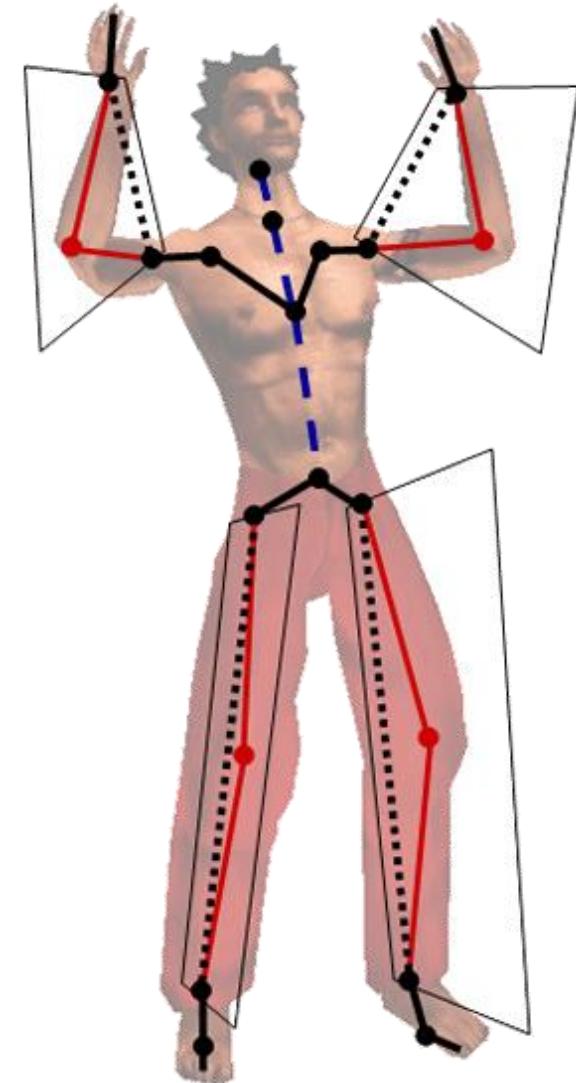
# ADAPTATION MORPHOLOGIQUE

- Inverser le processus de normalisation



# SQUELETTE NORMALISÉ

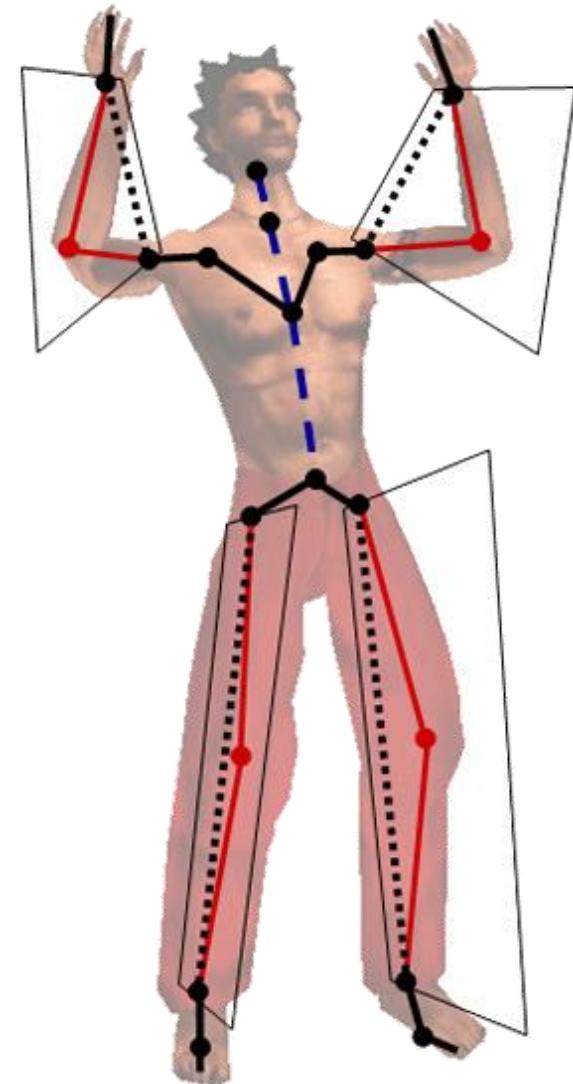
- La colonne est représentée par une spline  
⇒ Subdivisable en autant de vertèbres que nécessaire
- Les autres segments sont normalisés par la longueur d'origine



$$\text{normalizedKC} = \frac{E - R}{\sum_j \text{length}(S_j)}$$

# SQUELETTE NORMALISÉ

- La position de la racine est normalisée par la longueur des jambes
- Son orientation est décomposée
  - Orientation globale  
Ex : direction de la marche
  - Orientation locale  
Ex : basculement du bassin autour de cette direction globale



# SQUELETTE NORMALISÉ

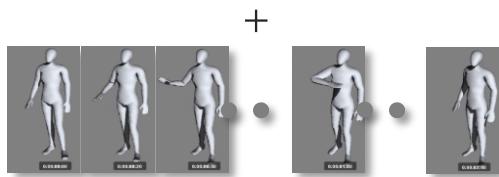
---

- Cette représentation a montré son avantage en animation d'humains virtuels
- En reconnaissance de gestes, la problématique est différente
- Exemple de l'utilisation de cette représentation normalisée en reconnaissance de gestes

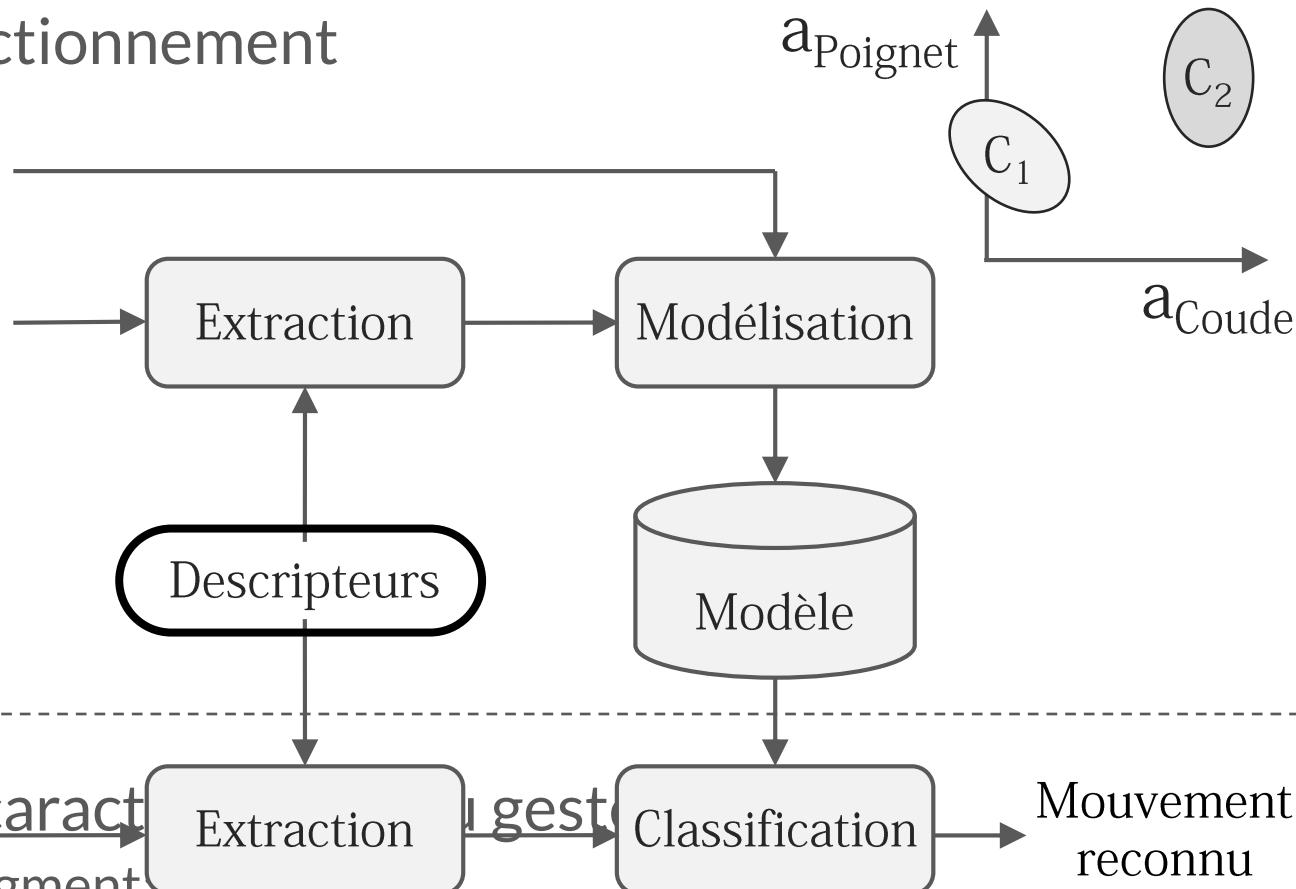
# RECONNAISSANCE DE GESTES

## ■ Principe de fonctionnement

Types de mouvements



Mouvements connus



Mouvement à reconnaître  
Désigner une caractéristique

- Angle intersegmentaires

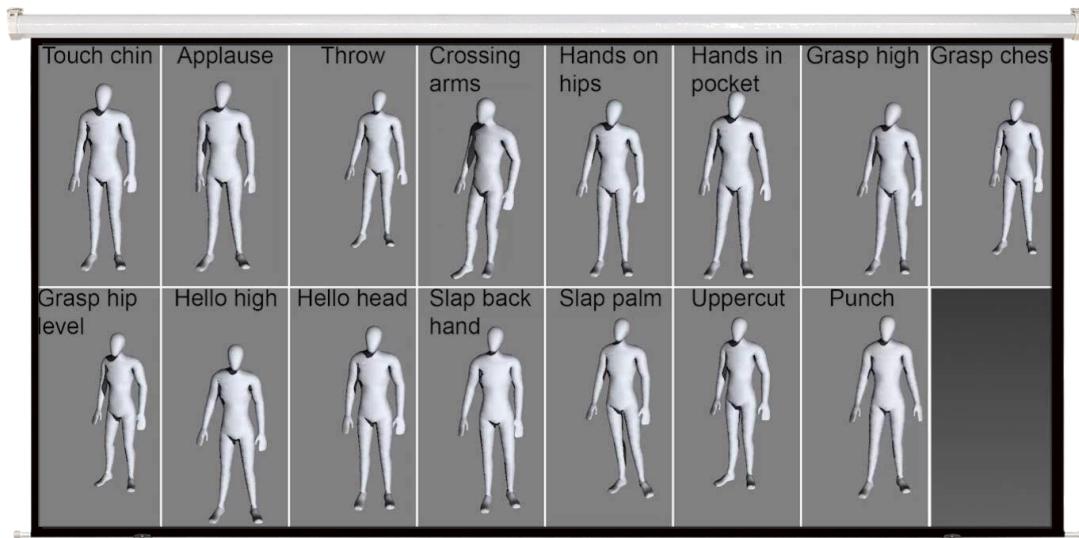
- Position relatives

Nouveau descripteur

- Moins sensible aux variabilités
- Faciliter les autres étapes

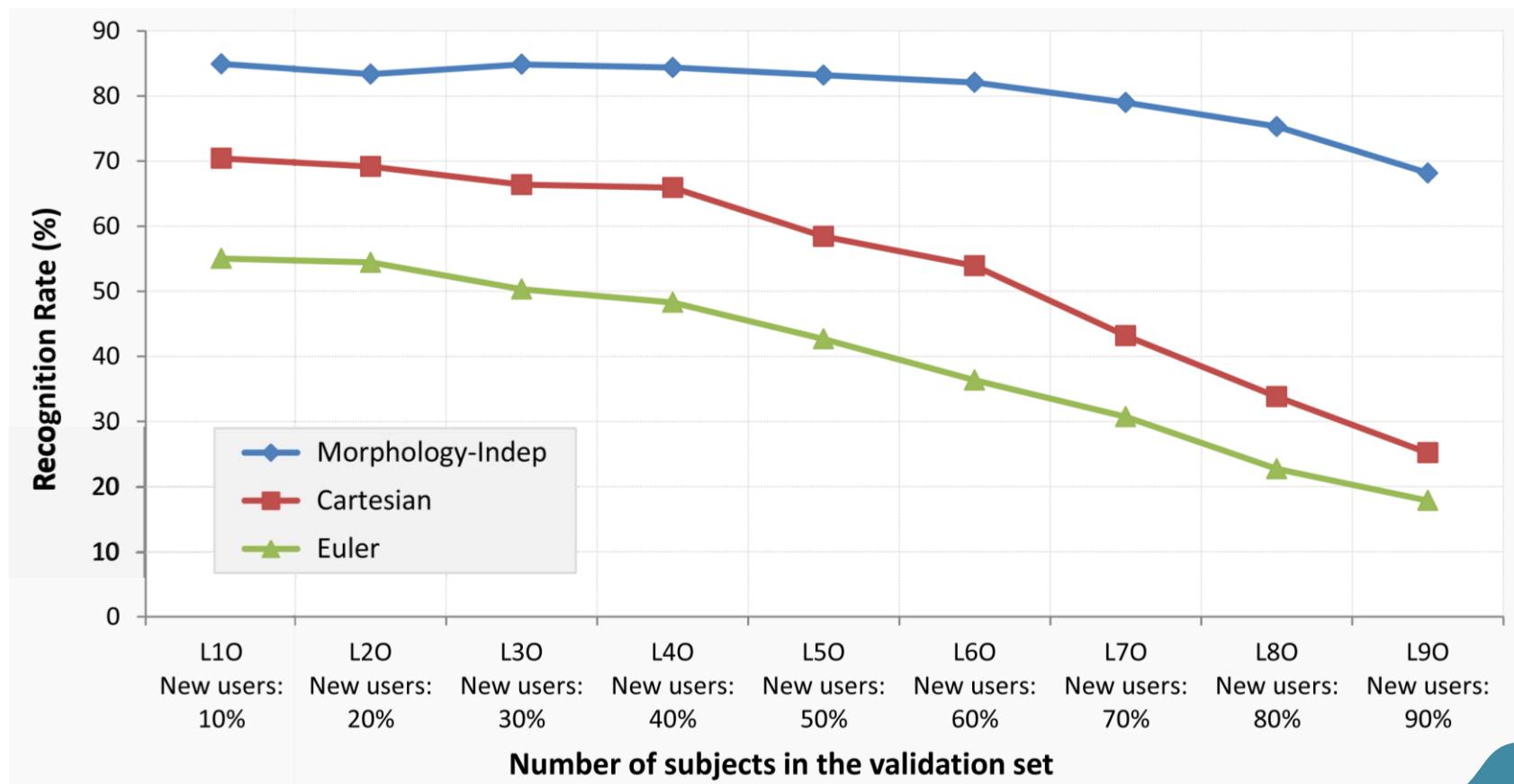
# RECONNAISSANCE DE GESTES

- Comparaison entre 3 descripteurs
  - Normalisé (membres supérieurs)
  - Cartésien
  - Angulaire
- Base de données de 15 gestes



# RECONNAISSANCE DE GESTES

- Meilleure reconnaissance avec amorphologique
- Idem avec peu de morphologie apprise



# CHOIX DES DESCRIPTEURS

---

- Mais pour faire le choix, on peut aussi s'appuyer sur des méthodes de sélection automatiques
  - Utiliser un grand nombre de descripteurs
  - Evaluation de la qualité de la reconnaissance
  - Utiliser un algorithme de sélection des plus pertinents
  - Réévaluation de la qualité de la reconnaissance
- C'est la partie suivante du cours faite par Eric Anquetil

# CONCLUSION

---

- Choisir le type de données (cinématique, dynamique, etc.)
- Cela définit les outils utilisables
- Capture avec beaucoup de variabilités
  - Morphologie
  - Style
  - Vitesse d'exécution
- Extraction des descripteurs
  - Position
  - Angles
  - Accélérations
  - Etc.
- Base des méthodes de reconnaissance de gestes