

ANALYSE, INTERPRÉTATION ET RECONNAISSANCE DE GESTES (AIR)

Master 2 SIF

Richard Kulpa

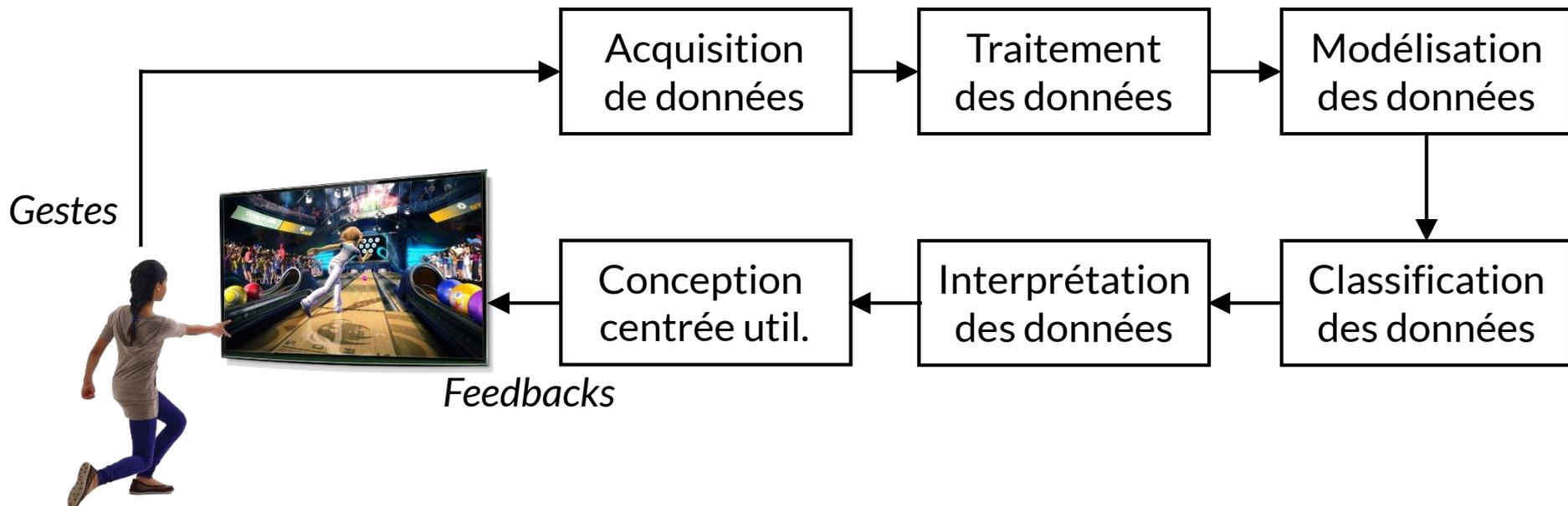
CONTEXTE

- 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.



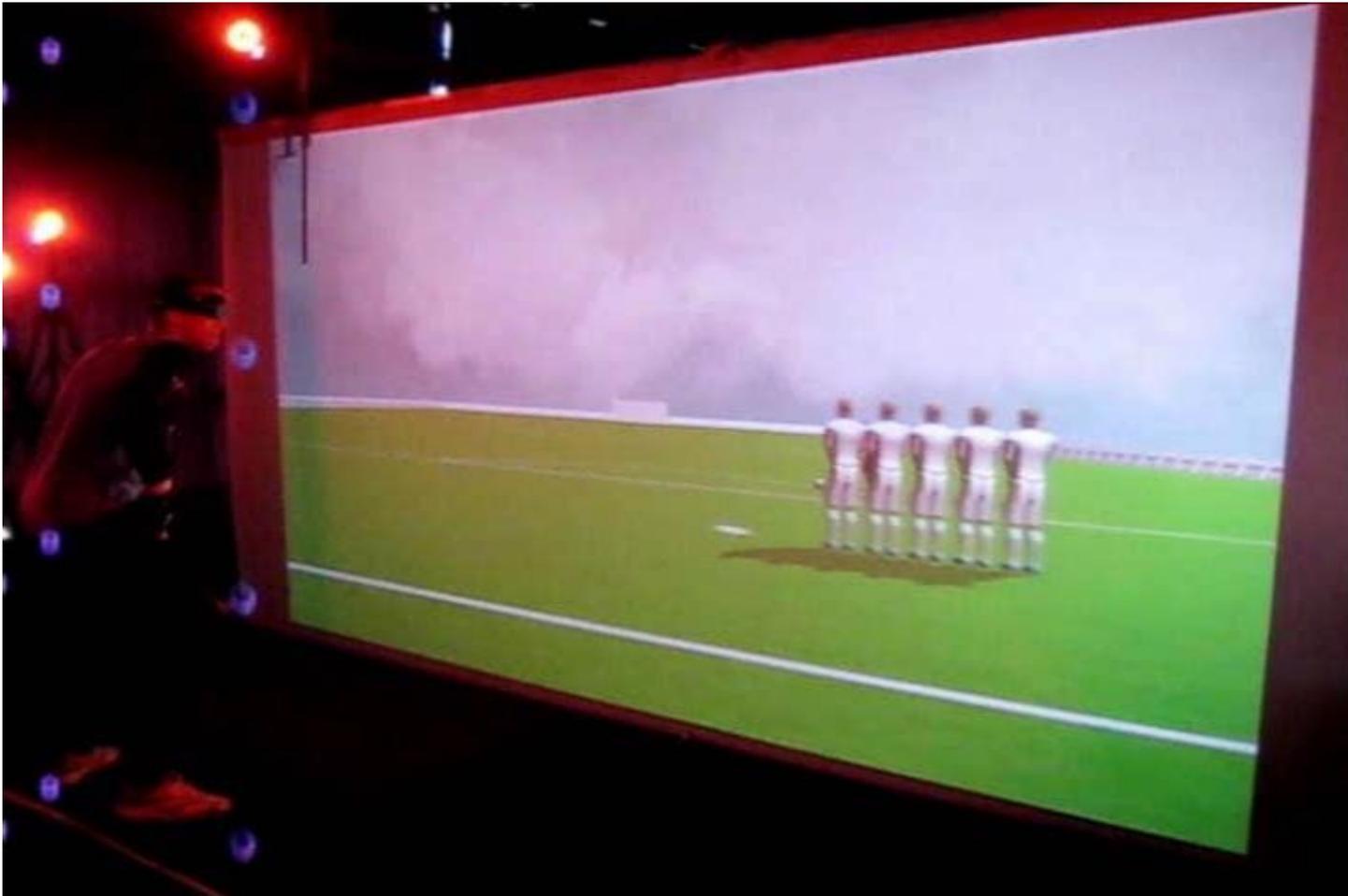
POURQUOI JE SUIS LÀ

- 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 : 23, 27, 30 novembre - Salle E110
 - Systèmes d'acquisition de données
 - Traitement des données acquises
 - Représentation des gestes et normalisation
- Éric Anquetil : 4, 7, 11 décembre - Salle E110 et E209
 - Extraction de descripteurs à partir des signaux
 - Systèmes de classification : séries temporelles et sans temporalité
 - Techniques de segmentation des gestes
- Nathalie Girard : 14, 18, 21 décembre - Salle E110
 - Protocole centré utilisateur
 - Extraction des données
 - Analyse des données

EVALUATION

- Deux évaluations
 - Examen écrit d'1h le 18 janvier – salle B12D - i52
 - Homework : soutenance orale le 15 janvier (créneau de 2h) –B12D - i52

- 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

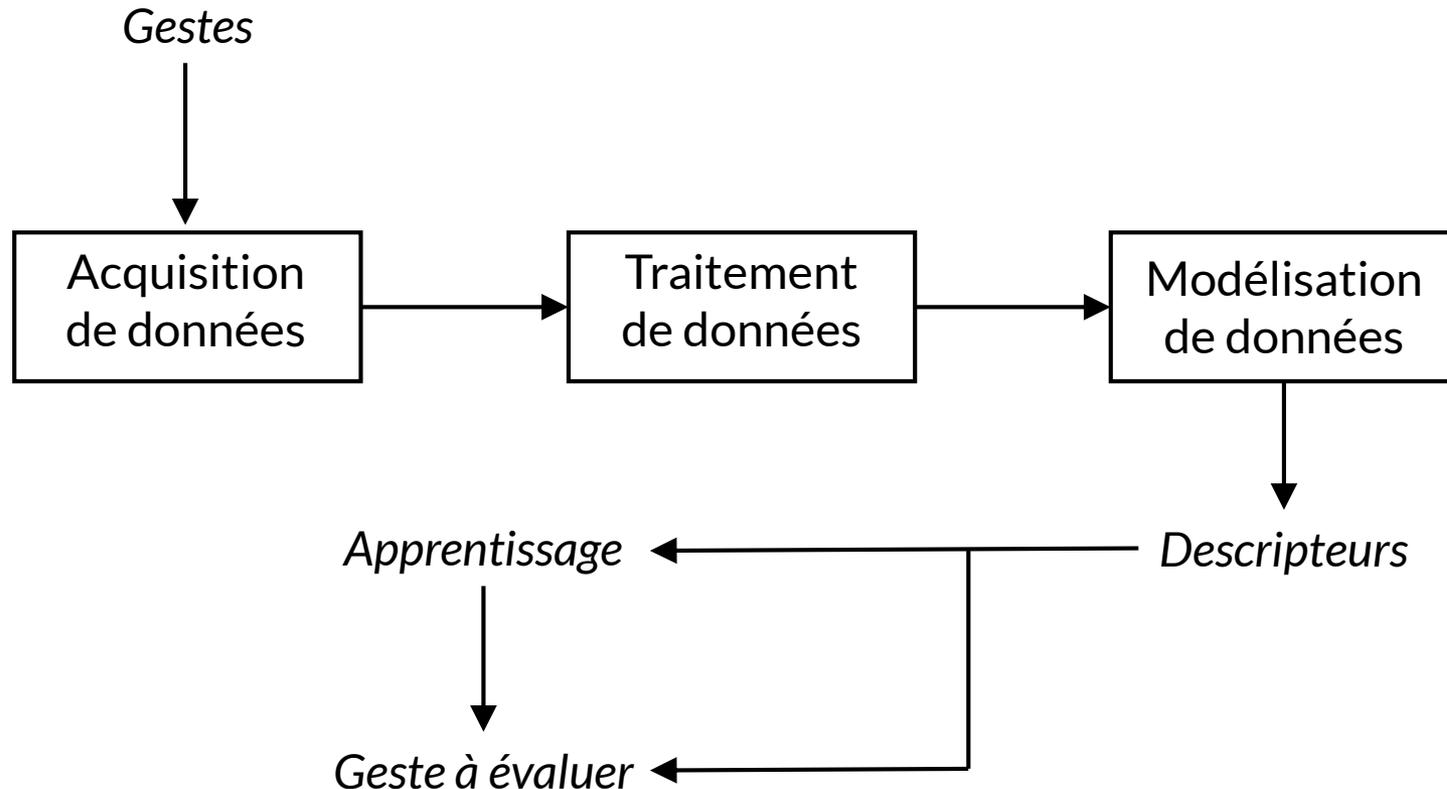
- Site web mis en place la semaine prochaine

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

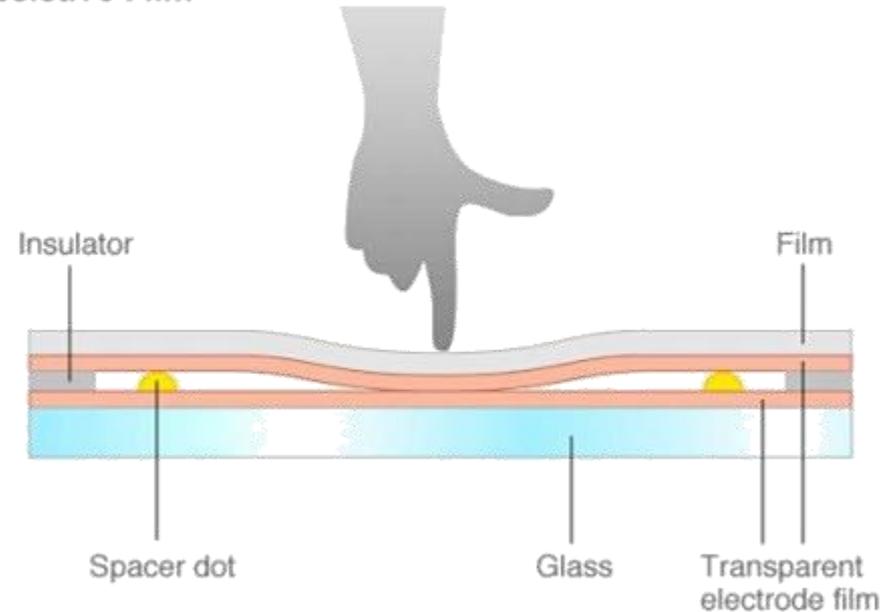
DATA FROM TOUCH SCREEN

- 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
 - Pression

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?

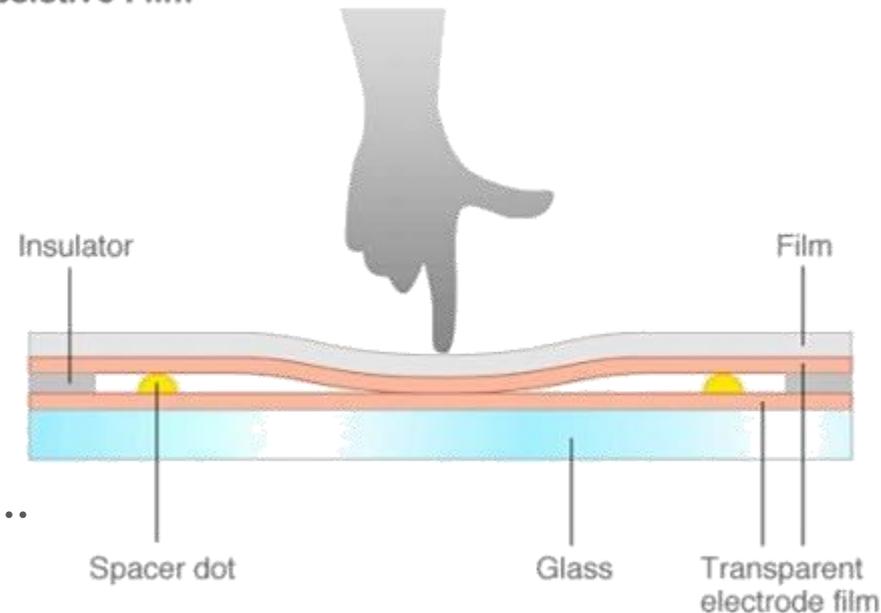
Resistive Film



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

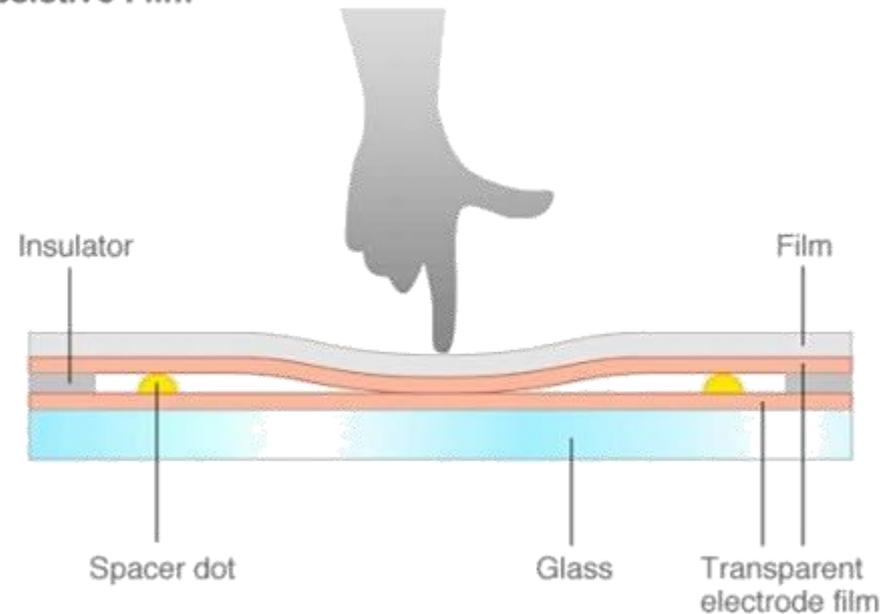
Resistive Film



RESISTIVE TOUCH SCREEN

- Technology
 - 2 thin flexible metallic layers with a gap in between
 - Electric contact
- But some limits
 - ?

Resistive Film



RESISTIVE TOUCH SCREEN

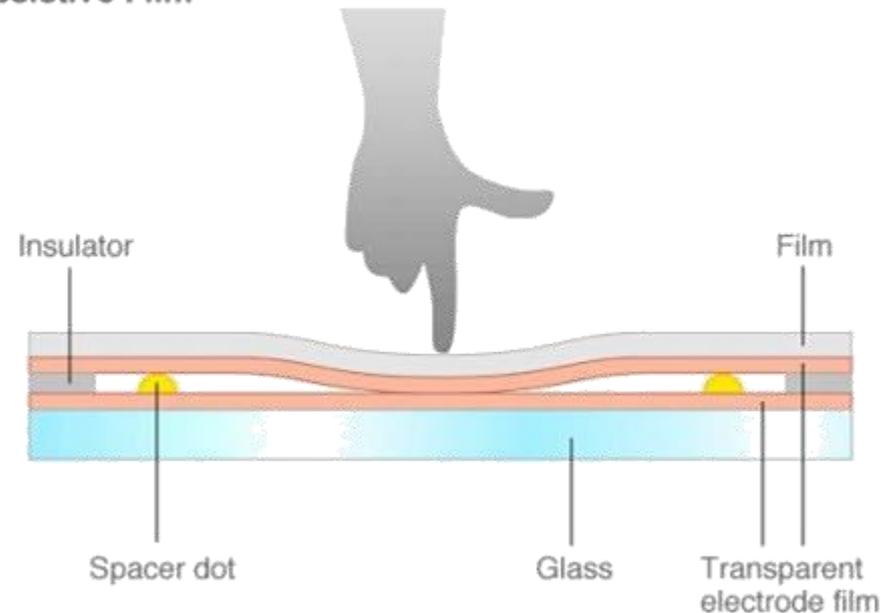
- Technology

- 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.

Resistive Film



CAPACITIVE TOUCH SCREEN

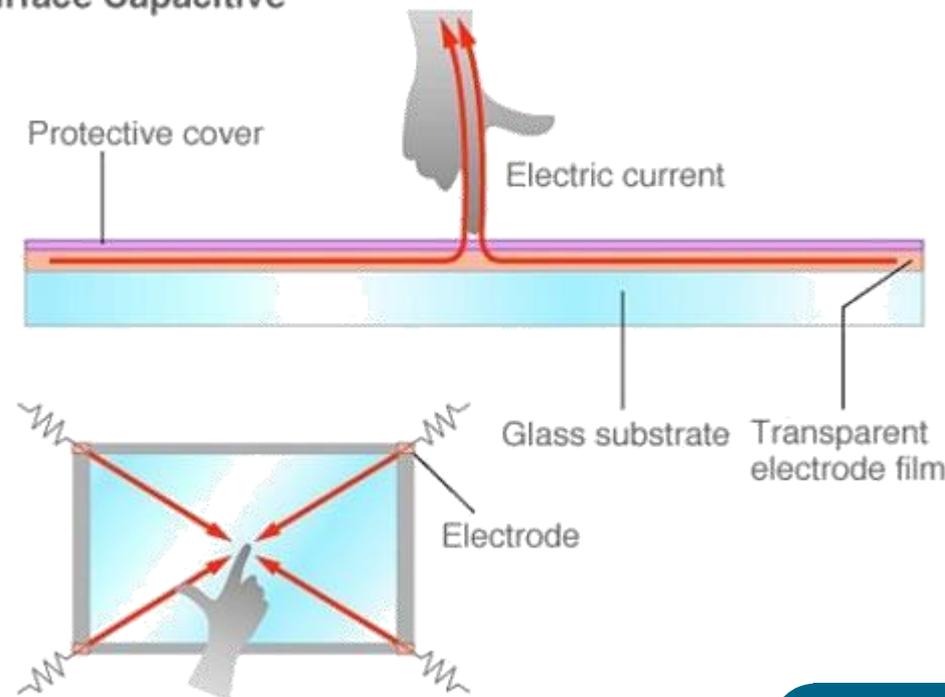
- Technology

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

- Advantages

- ?

Surface Capacitive



CAPACITIVE TOUCH SCREEN

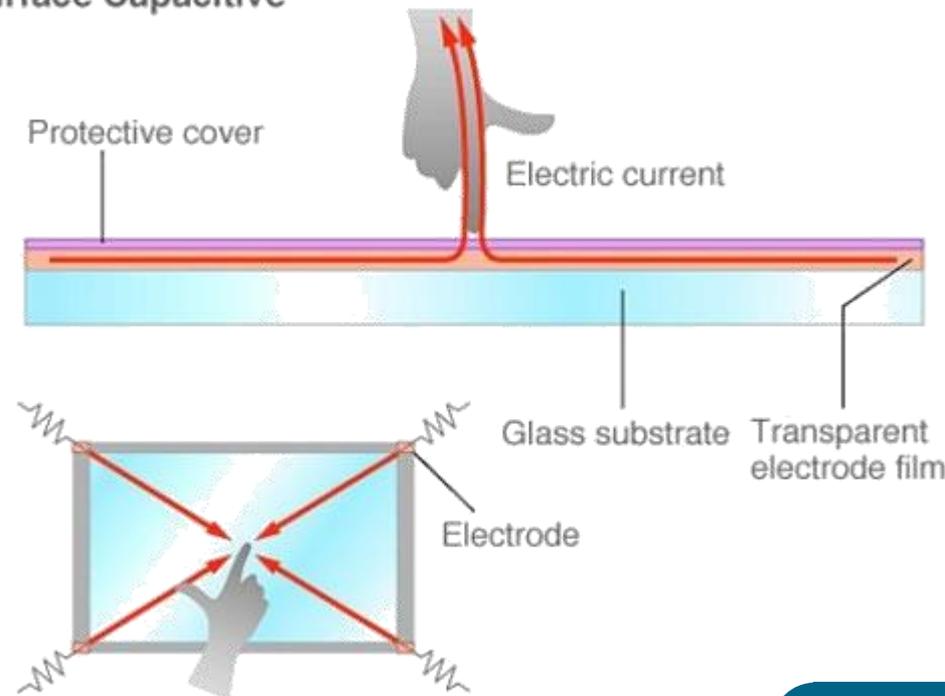
- Technology

- 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

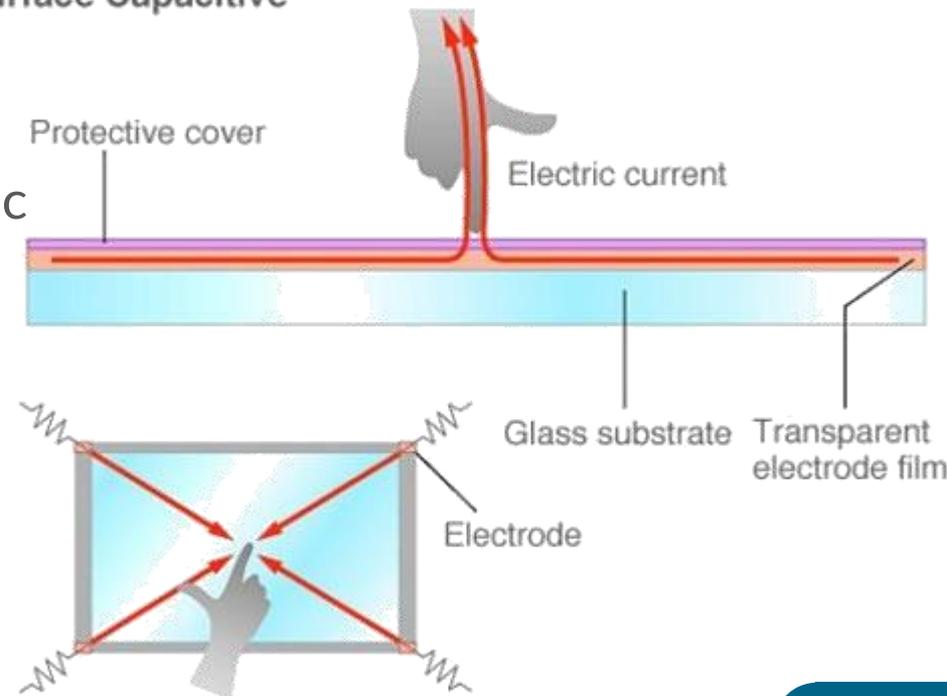
Surface Capacitive



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)

Surface Capacitive



PROJECTED CAPACITIVE TOUCH SCREEN

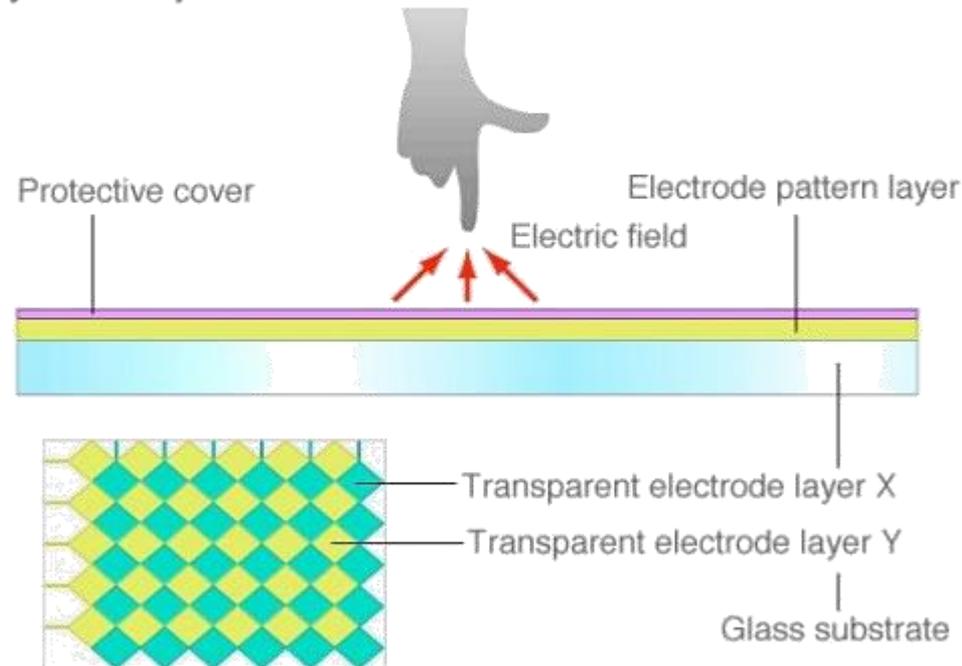
- Technology

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

- Advantages

- ?

Projected Capacitive



PROJECTED CAPACITIVE TOUCH SCREEN

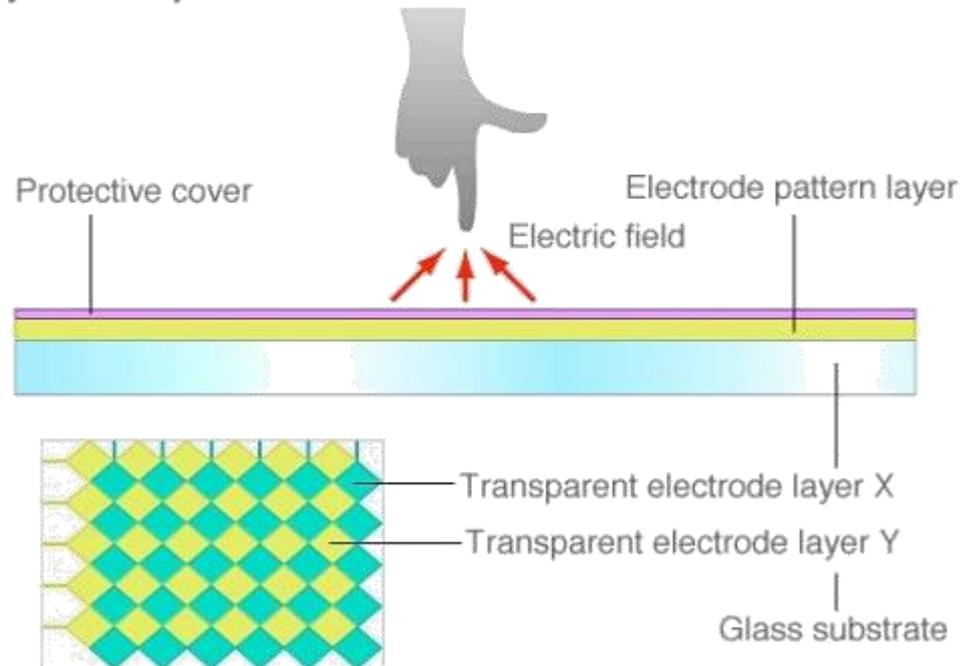
- Technology

- Sheet of glass with embedded transparent electrode films and an integrated circuit (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



PROJECTED CAPACITIVE TOUCH SCREEN

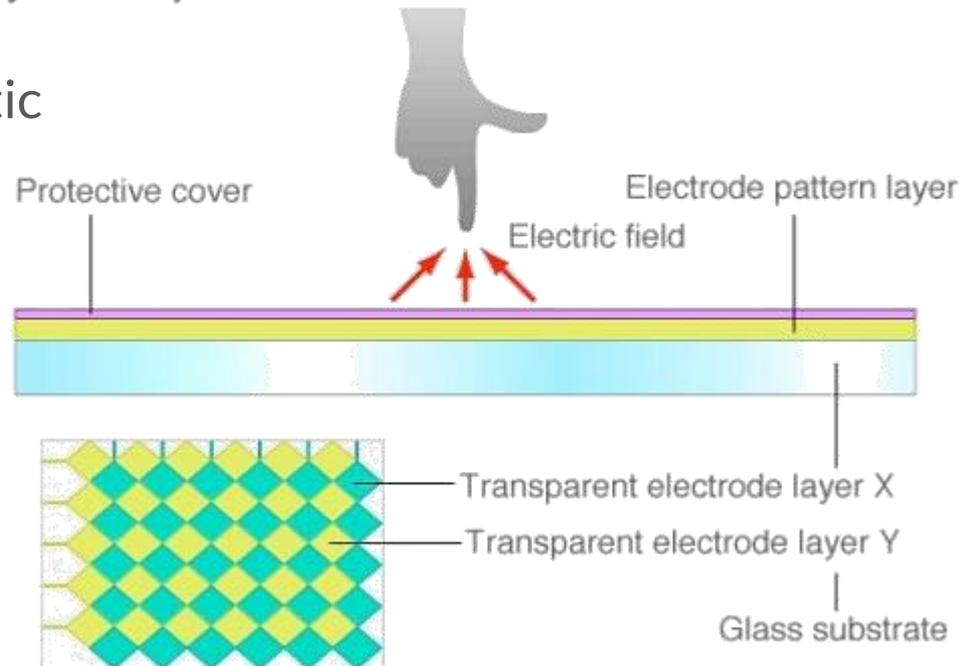
- Technology

- Sheet of glass with embedded transparent electrode films and an integrated circuit (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

Projected Capacitive

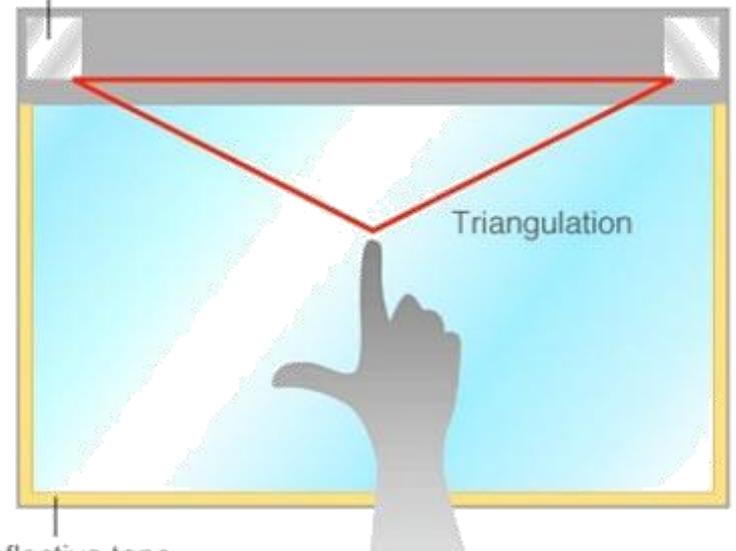


INFRARED TOUCH SCREEN

- Technology
 - Infrared emitters and receivers
 - Light beam interruption
- Advantages
 - ?

Optical (Infrared Optical Imaging)

Infrared LED / Image sensor



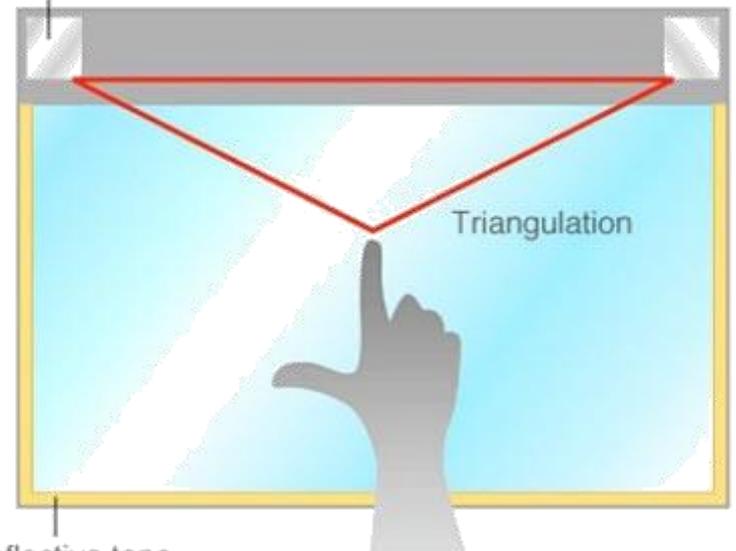
Retroreflective tape

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



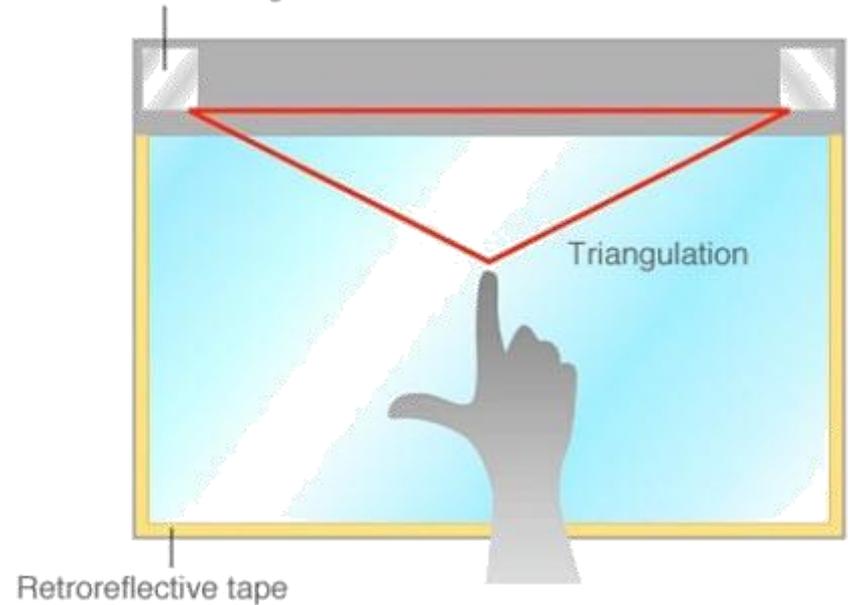
Retroreflective tape

INFRARED TOUCH SCREEN

- Technology
 - Infrared emitters and receivers
 - Light beam interruption
- Limits
 - ?

Optical (Infrared Optical Imaging)

Infrared LED / Image sensor

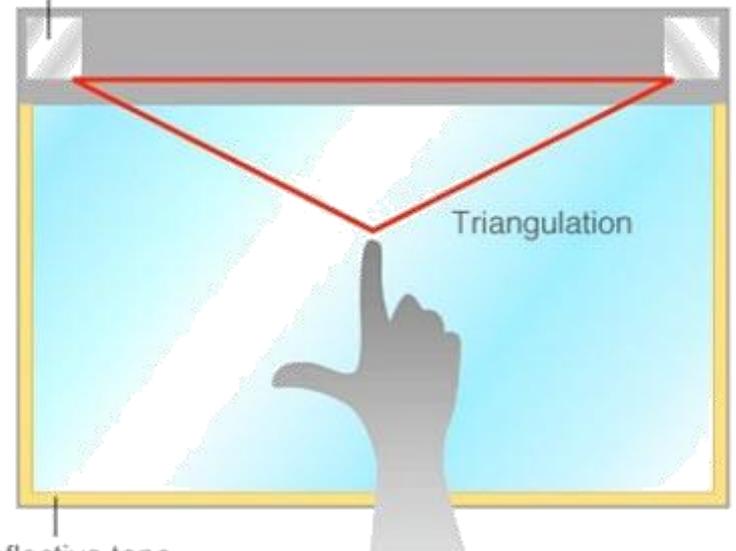


INFRARED TOUCH SCREEN

- 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

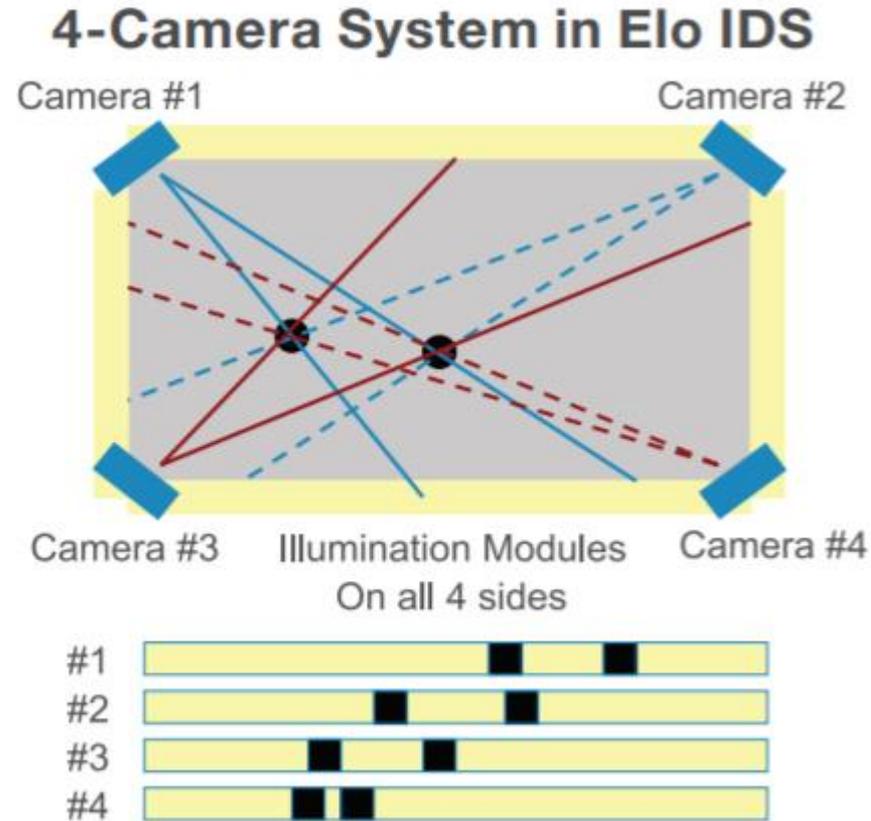
Optical (Infrared Optical Imaging)

Infrared LED / Image sensor



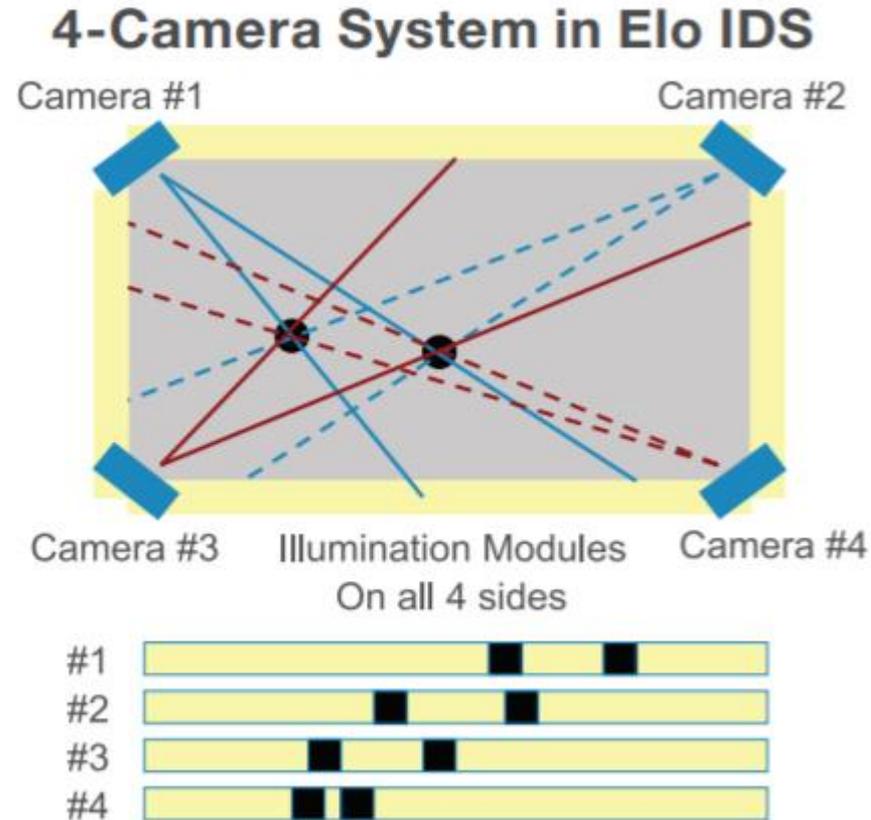
OPTICAL TOUCH SCREEN

- Technology
 - Optical sensors
 - Triangulation
- Advantages
 - ?



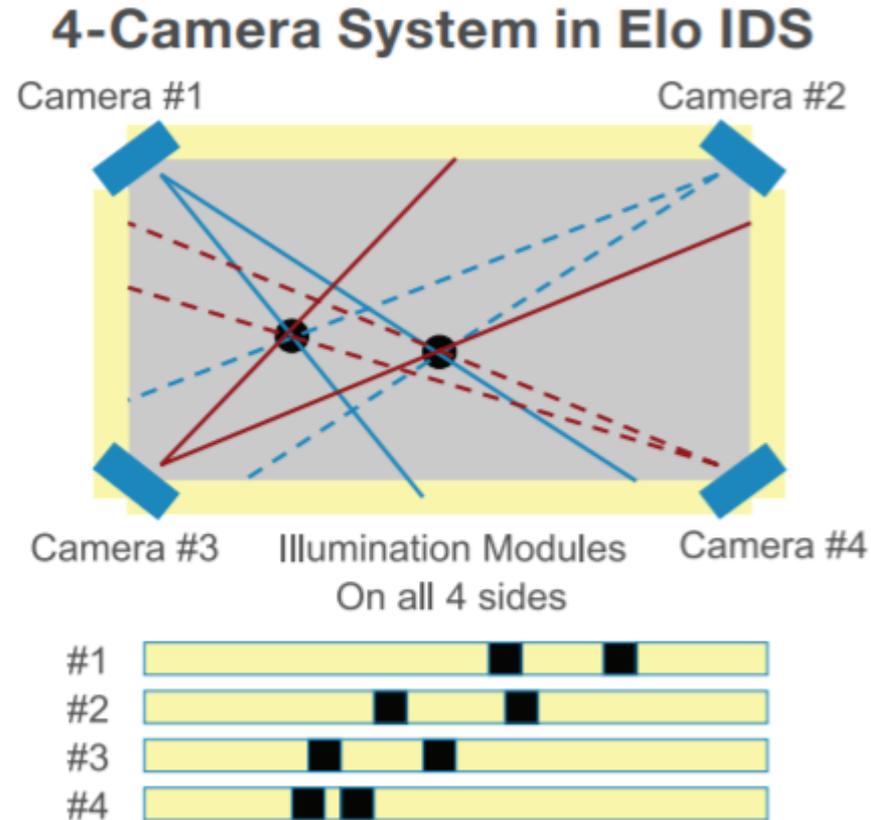
OPTICAL TOUCH SCREEN

- Technology
 - Optical sensors
 - Triangulation
- Advantages
 - Enables multi touch
 - 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 (not only on top)
 - No pression



SURFACE ACOUSTIC WAVE TOUCH

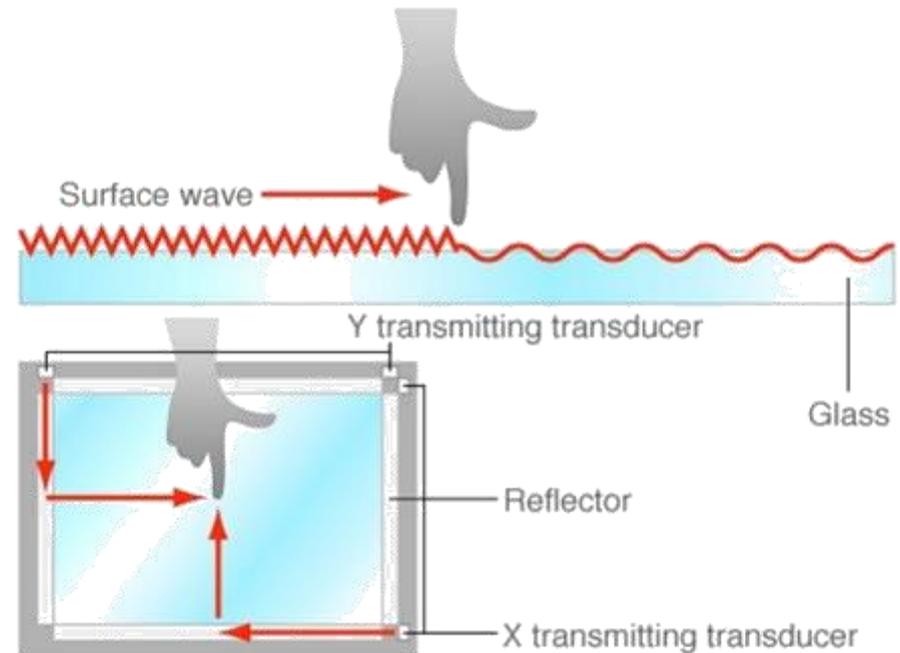
- Technology

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

- Advantages

- ?

Surface Acoustic Wave (SAW)



SURFACE ACOUSTIC WAVE TOUCH

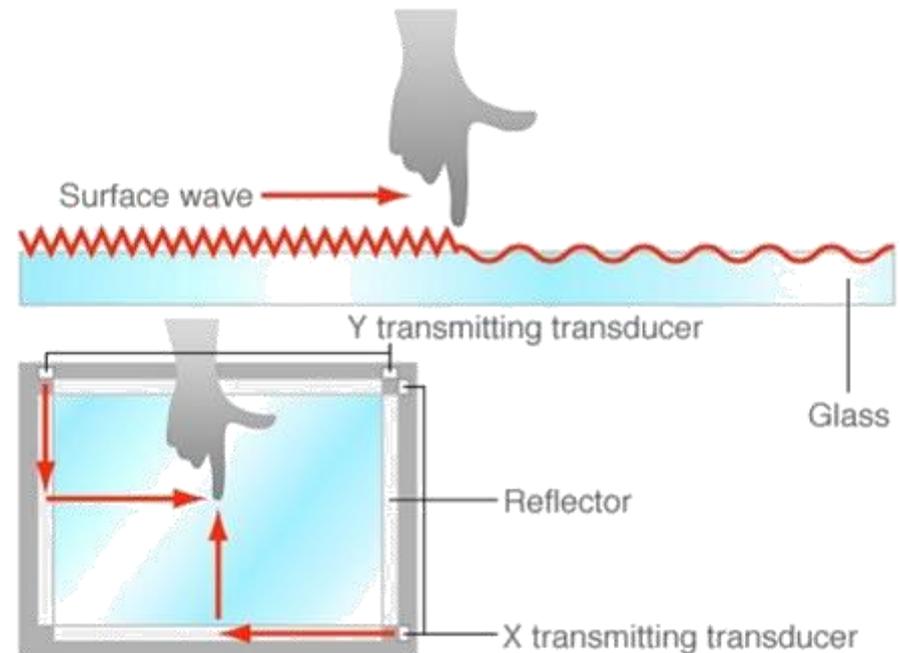
- Technology

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

- Advantages

- Good optical clarity
- Even better scratch resistance than capacitive touch

Surface Acoustic Wave (SAW)



SURFACE ACOUSTIC WAVE TOUCH

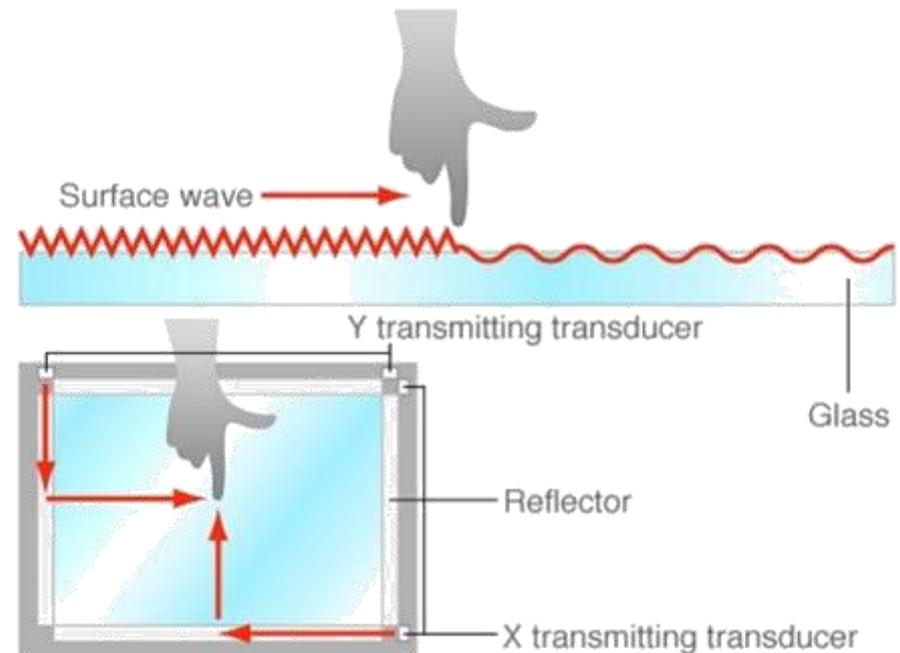
- Technology

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

- Limits

- ?

Surface Acoustic Wave (SAW)



SURFACE ACOUSTIC WAVE TOUCH

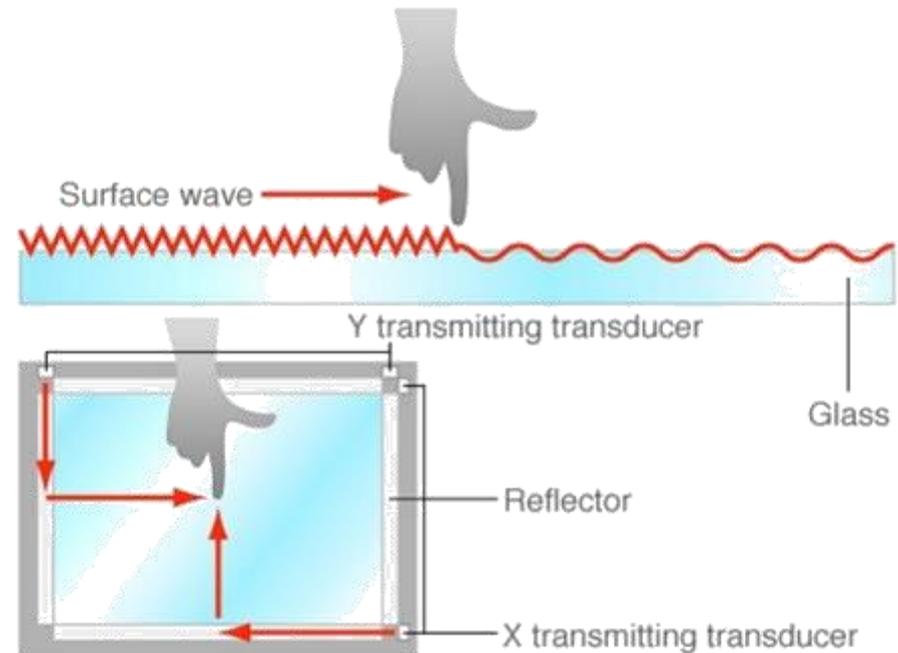
- Technology

- 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

Surface Acoustic Wave (SAW)



EXTRACTED DATA

- These systems give at least a 2D position



EXTRACTED DATA

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

- Called a stroke

- Frame/time
- X position
- Y position



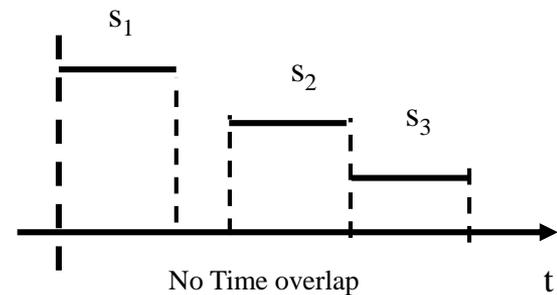
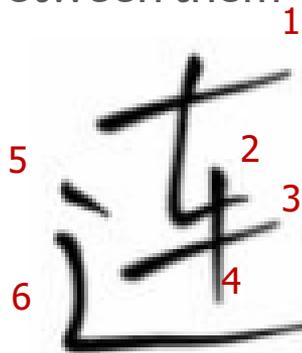
- A sequence of strokes: multi-stroke

- Spatial information

- Shape
- Spatial relationship between them

- Temporal information

- Duration
- Order of strokes

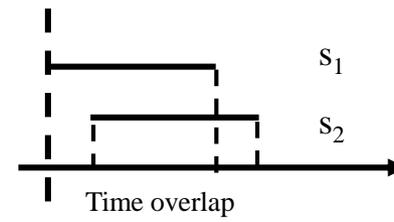
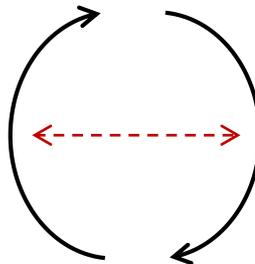
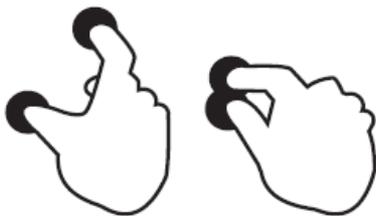


EXTRACTED DATA

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

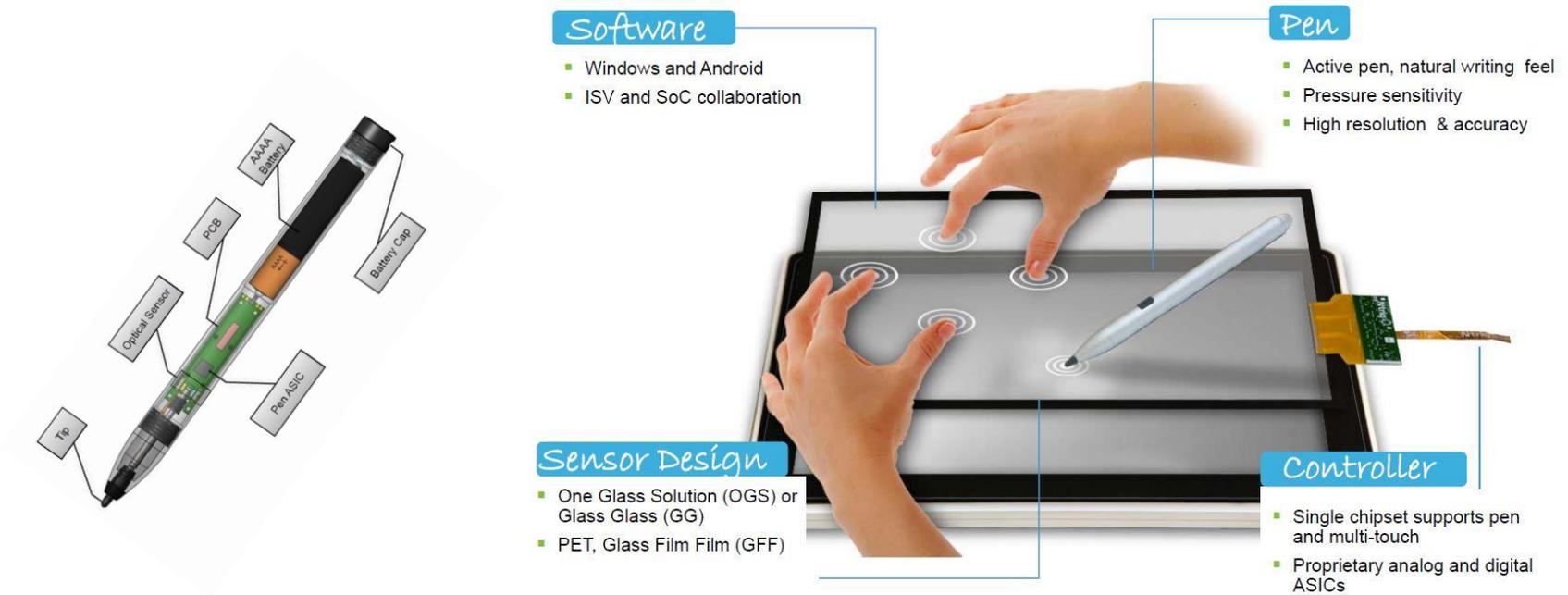
- Several strokes

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



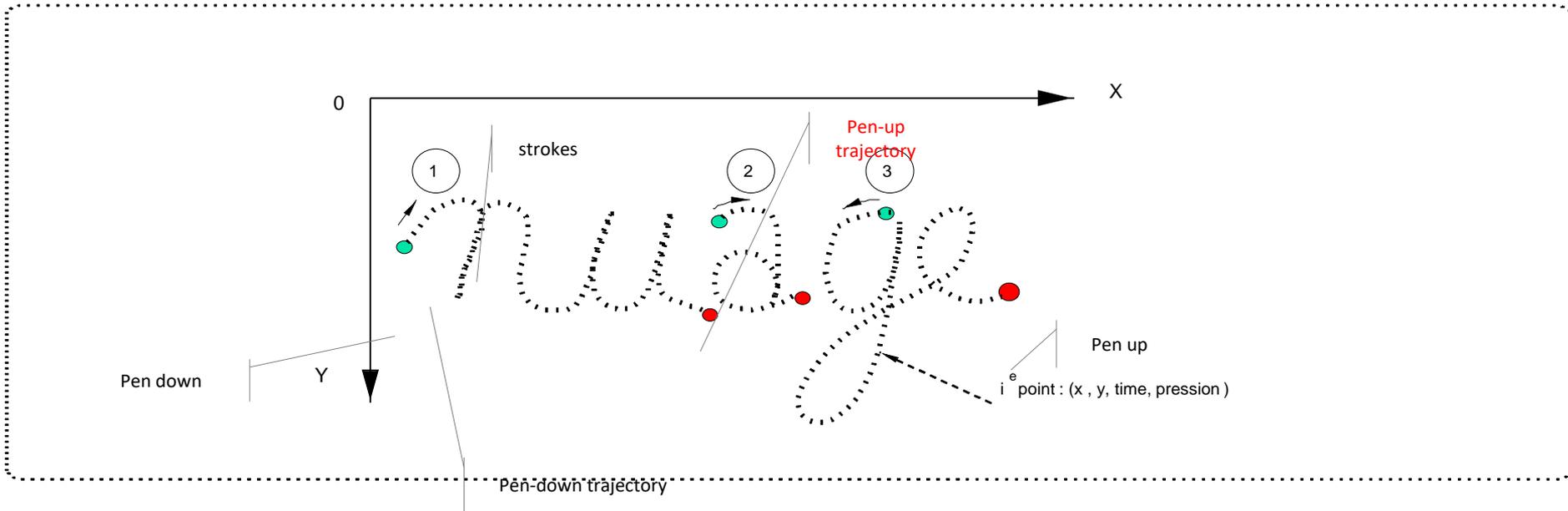
PEN UP

- 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

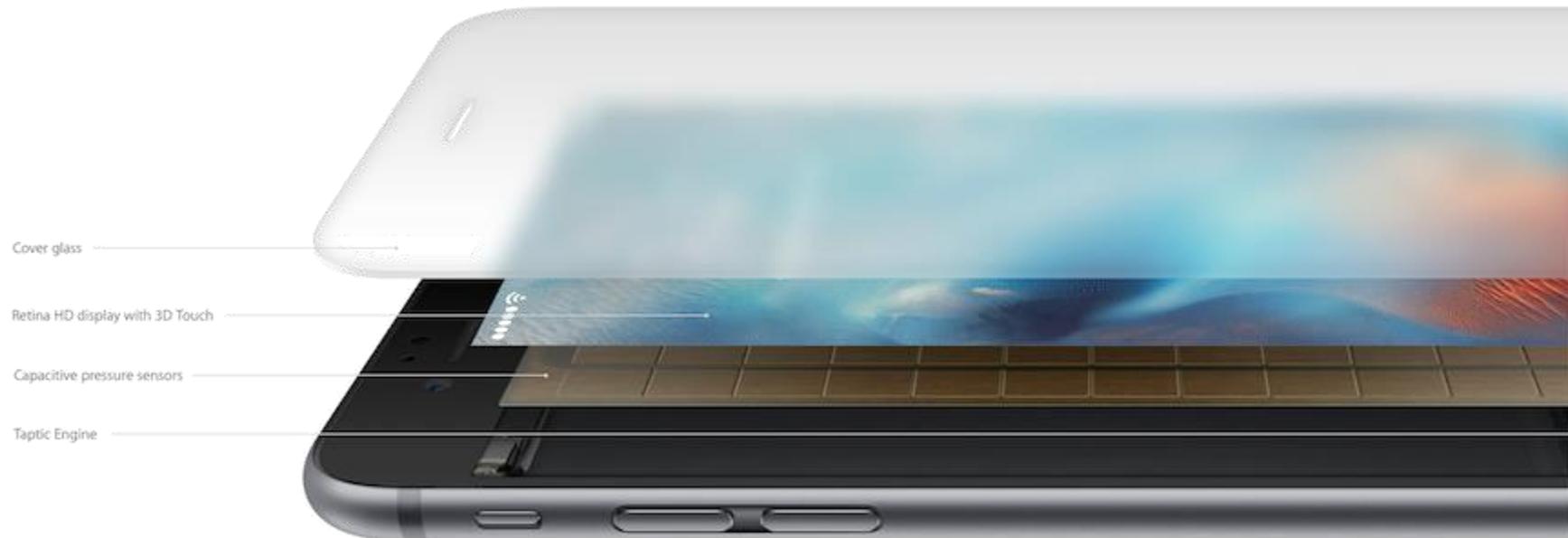
- Gives trajectories between strokes



- 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 $\frac{1}{2}$ (données de profondeur)

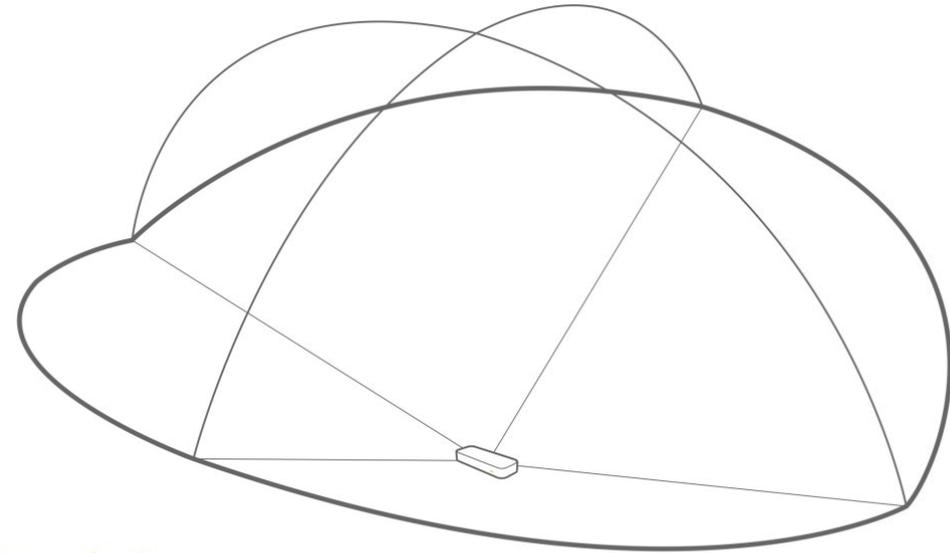
DEPTH VIA INFRARED LEDs

- 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° angle), by 2 feet deep on each side (120° angle)

DEPTH VIA INFRARED LEDs

- Or Virtual Reality Head Mounted Device

LEAP
MOTION

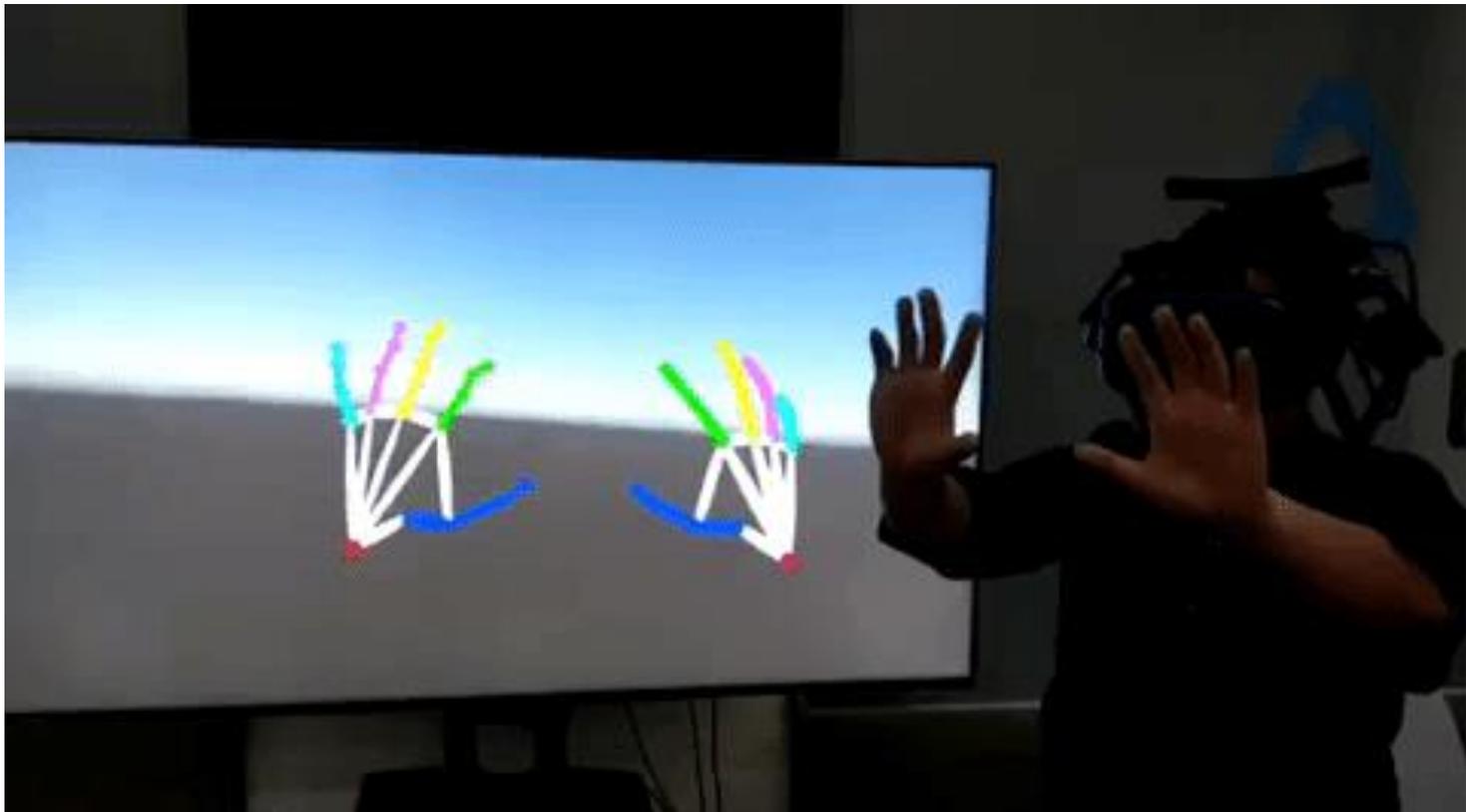
DEPTH VIA INFRARED LEDs

- Even integrated in Virtual Reality Head Mounted Device
 - Example of HCT Vive Pro



DEPTH VIA INFRARED LEDs

- Even integrated in Virtual Reality Head Mounted Device
 - Example of HCT Vive Pro

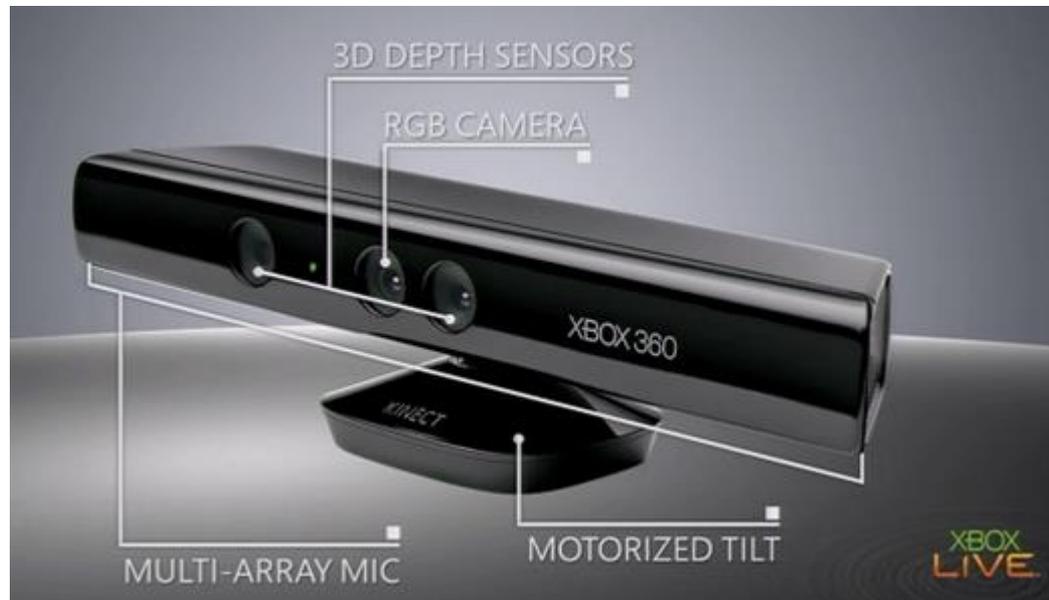


DEPTH VIA INFRARED LEDs

- 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

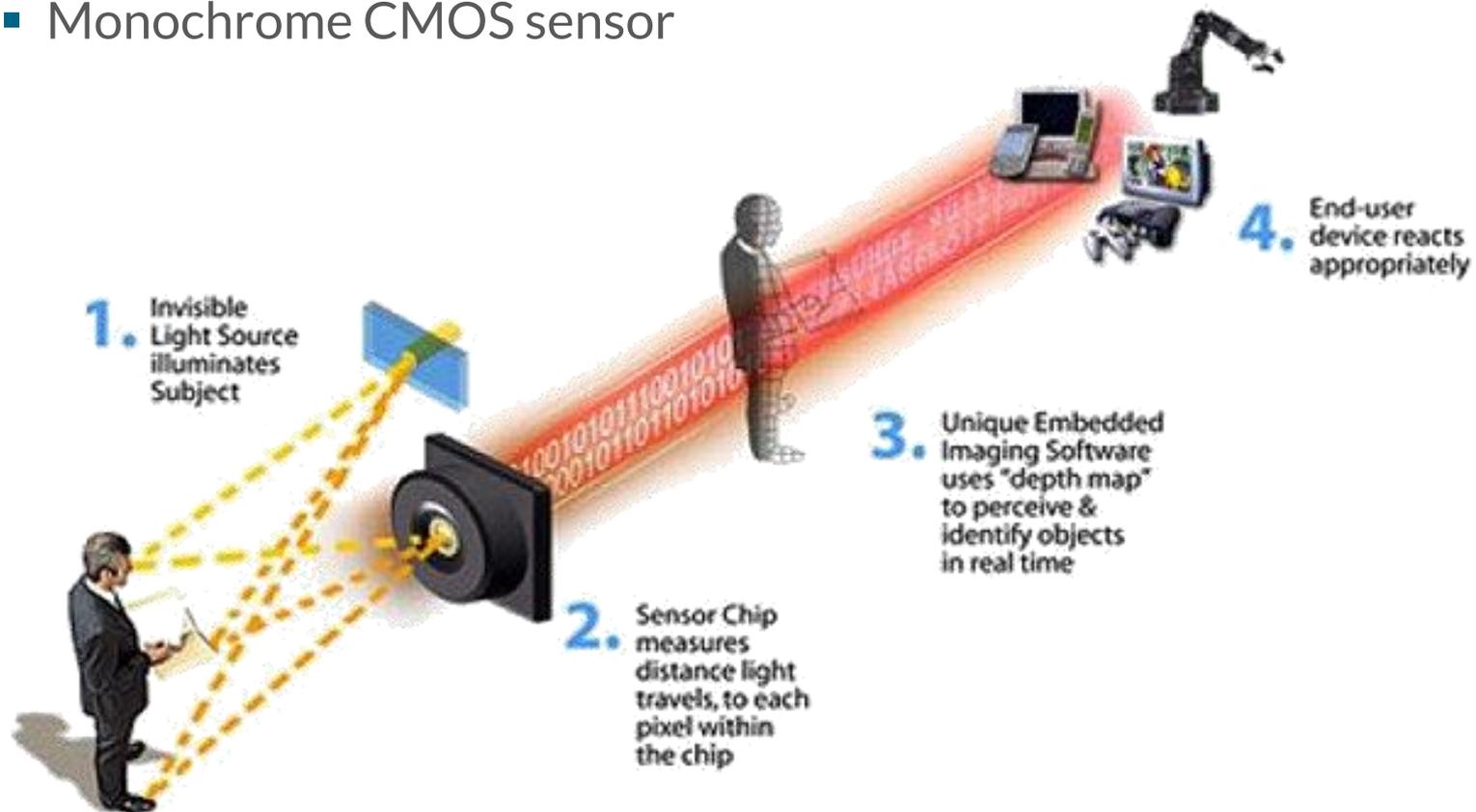
DEPTH VIA INFRARED LEDs

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



DEPTH VIA INFRARED LEDs

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



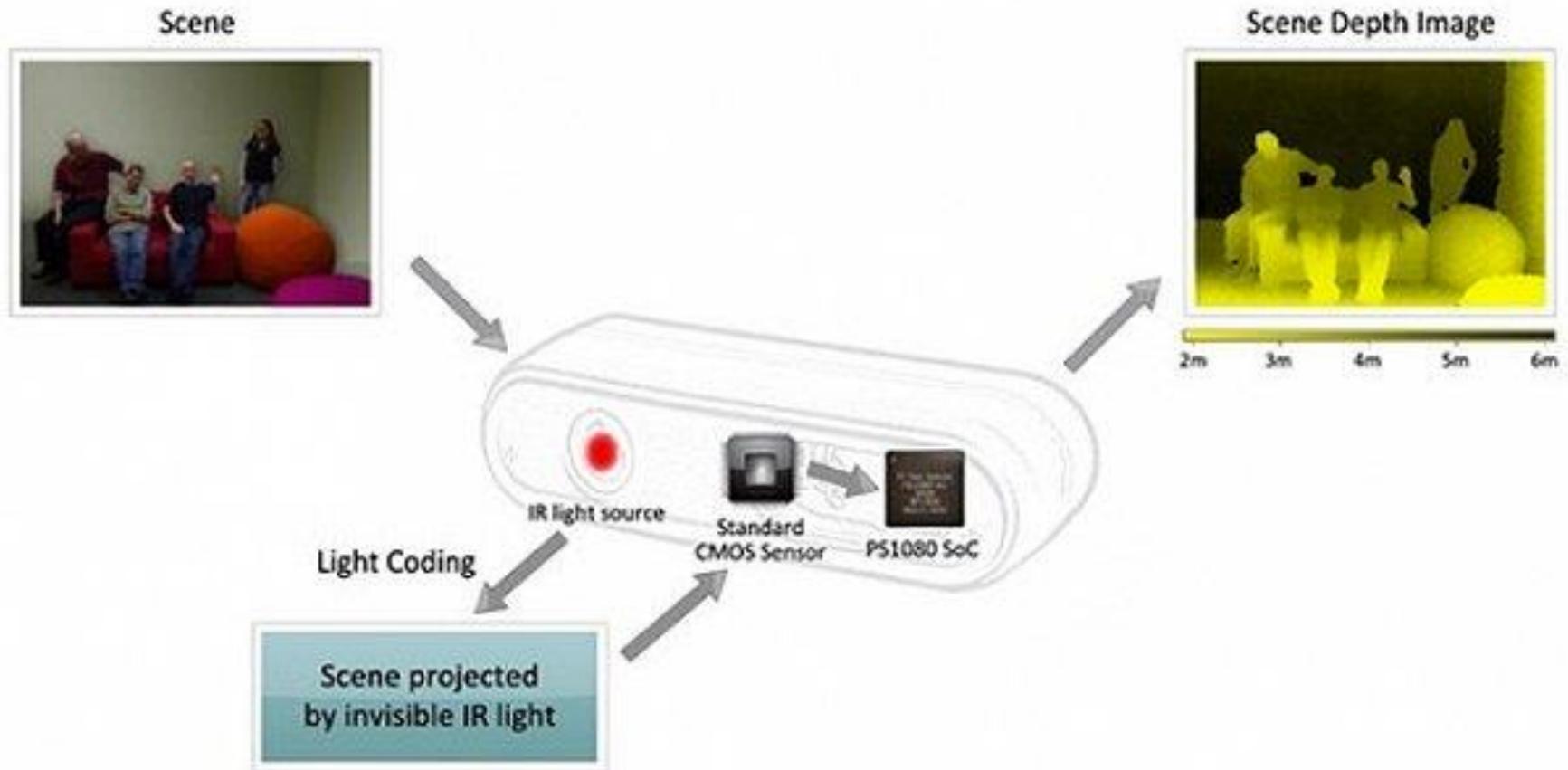
DEPTH VIA INFRARED LEDs

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



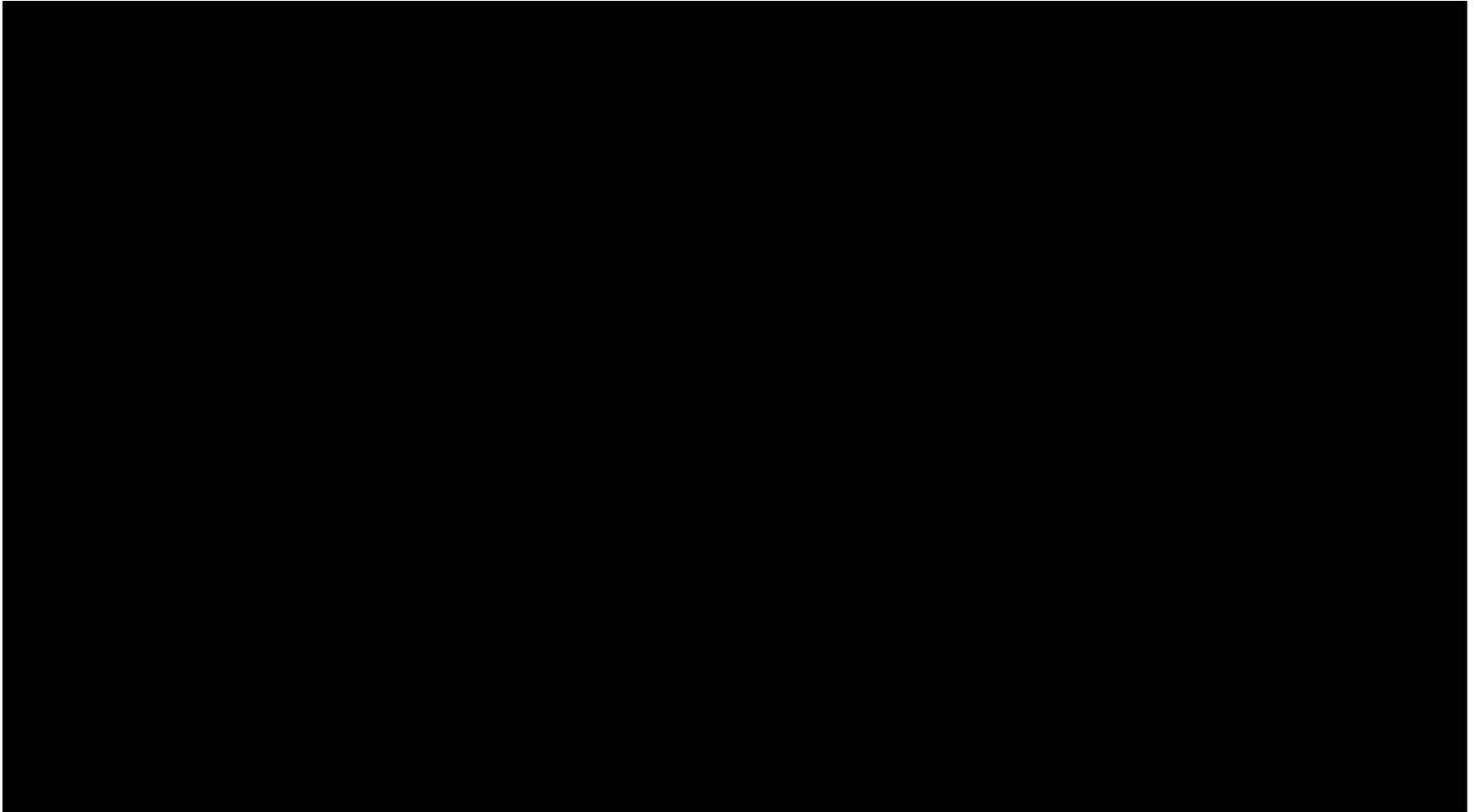
DEPTH VIA INFRARED LEDs

- Depth image



DEPTH VIA INFRARED LEDs

- Depth surface



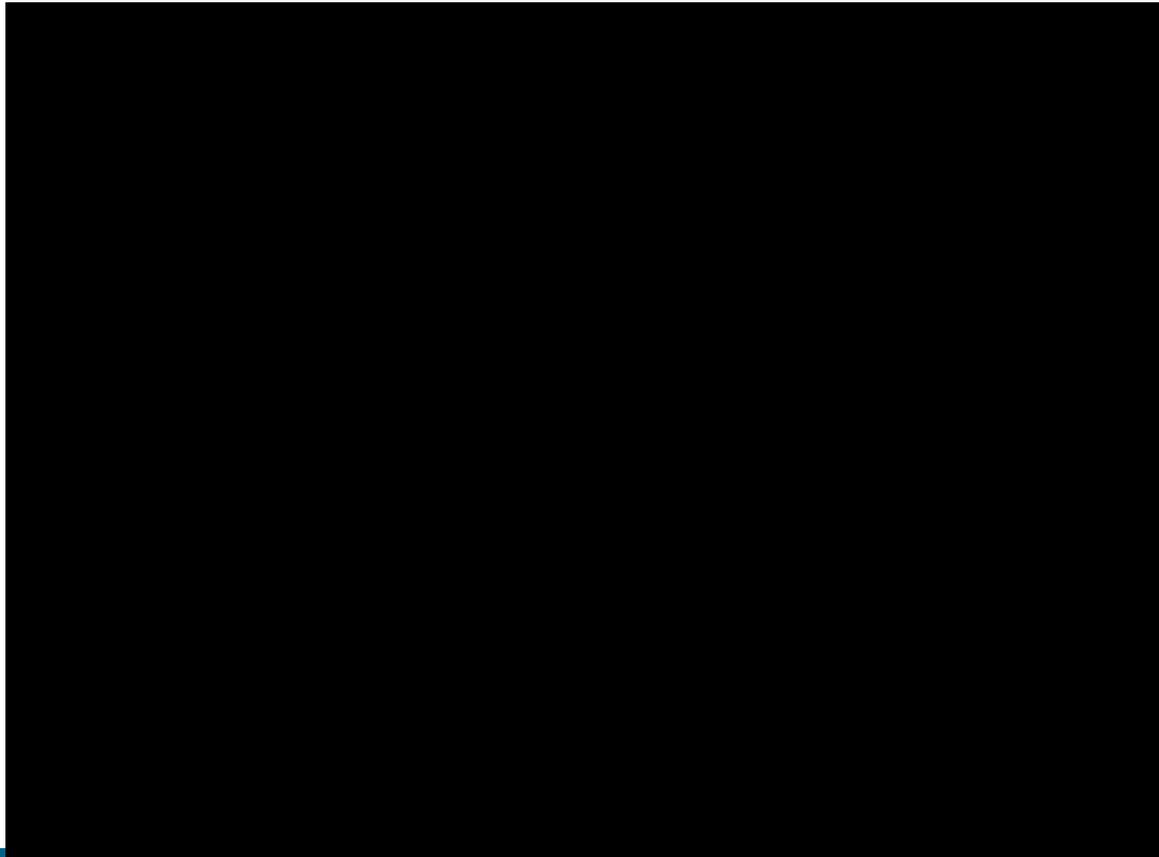
DEPTH VIA INFRARED LEDs

- Skeleton rigging
 - 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

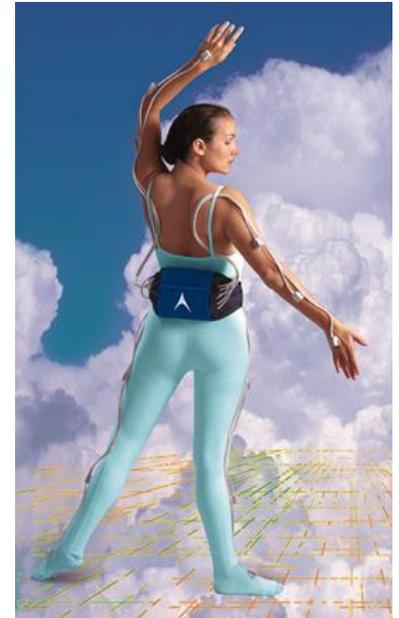
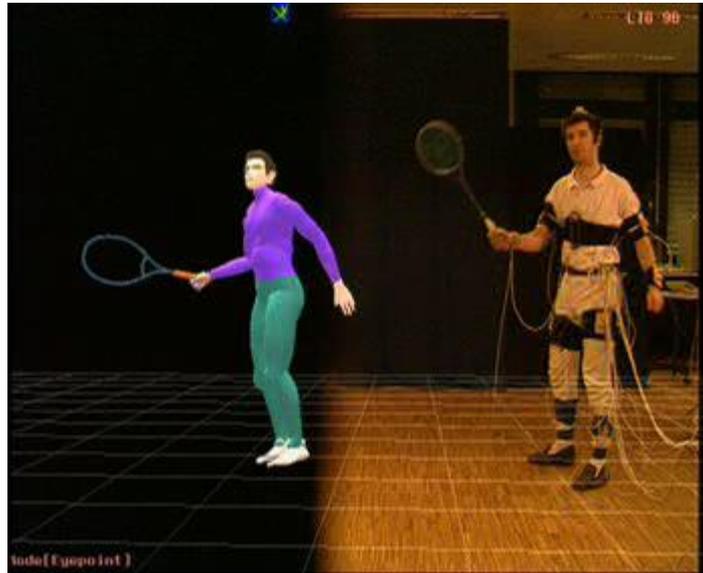
ACQUISITION DE DONNÉES

Données cinématiques

Mouvement 3D

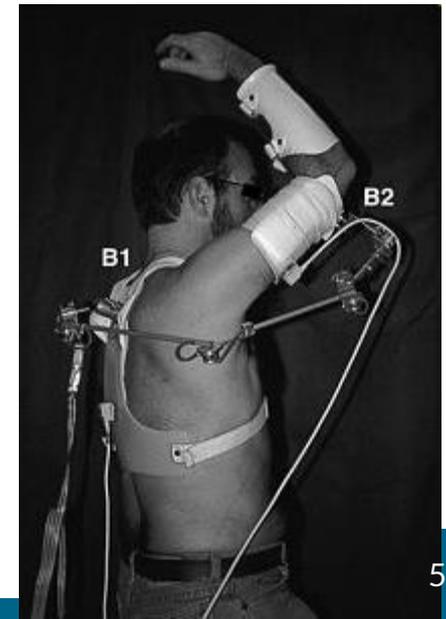
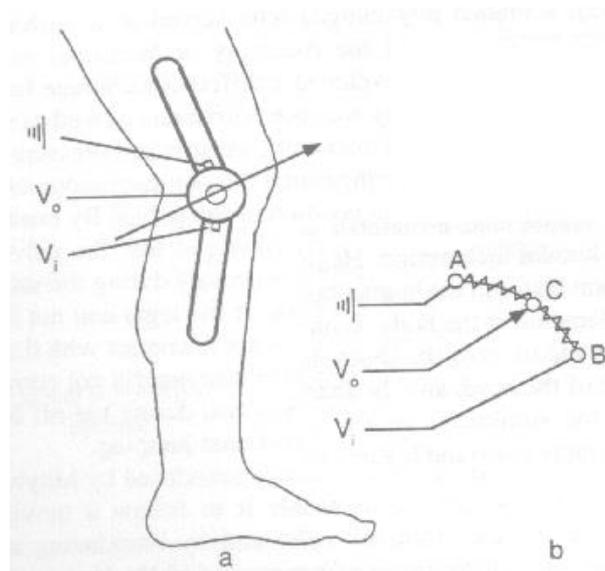
CLASSIFICATION DES SYSTÈMES

- Systèmes actifs : capteurs placés sur le corps



GONIOMÈTRE

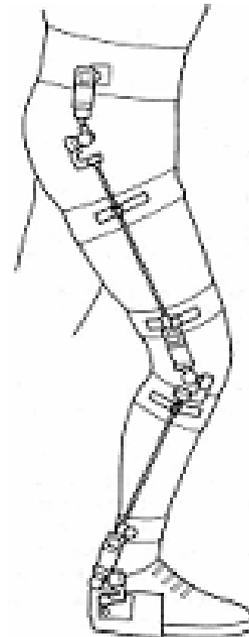
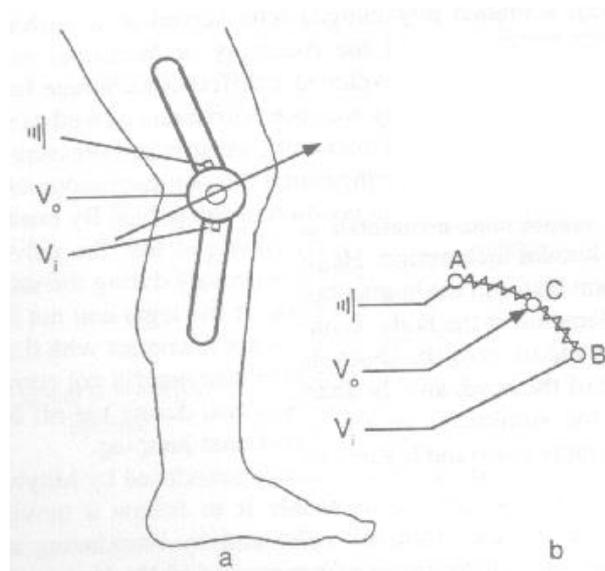
- Mesure des angles/rotations
- Principe
 - Deux branches fixées à un potentiomètre
 - Différence de potentiel électrique
 - ⇒ Mesure d'intensité proportionnelle à l'angle



GONIOMÈTRE

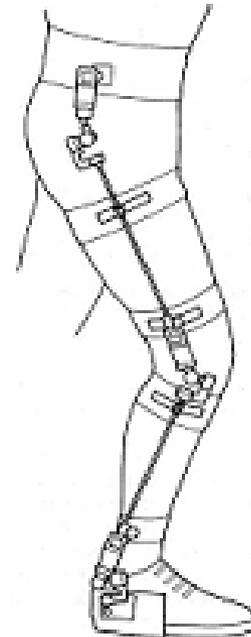
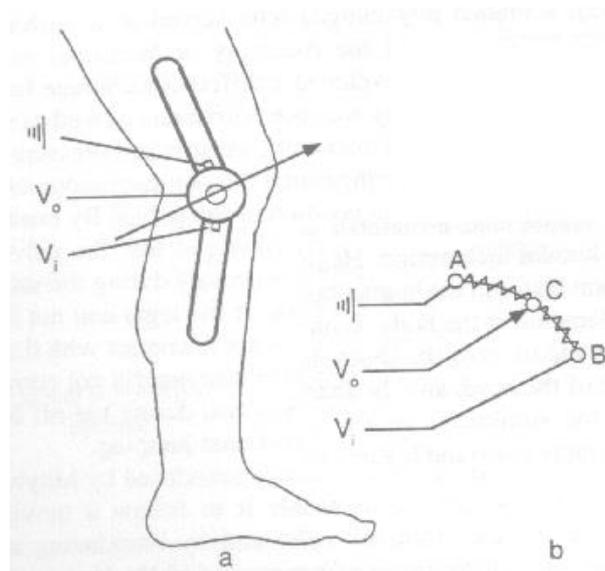
■ Avantages

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



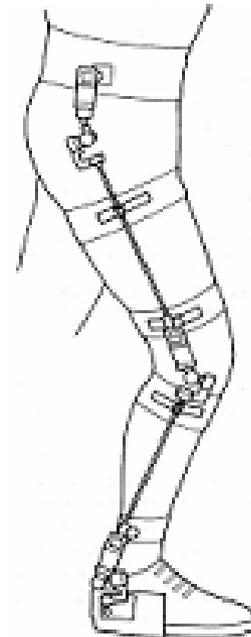
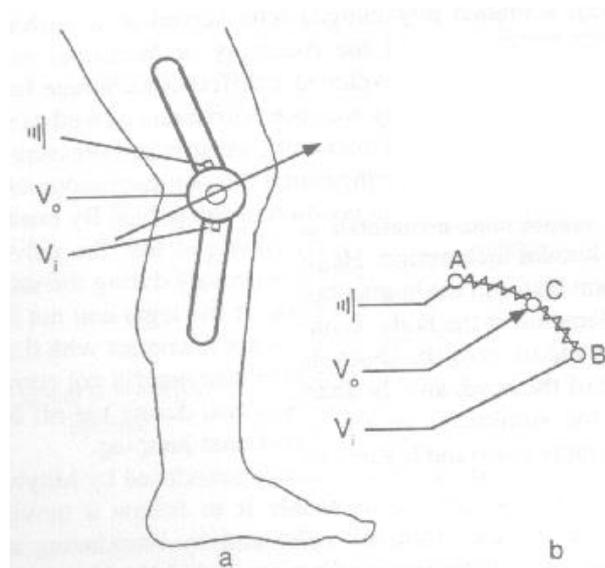
GONIOMÈTRE

- 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
 - ?
 - ?
 - ?



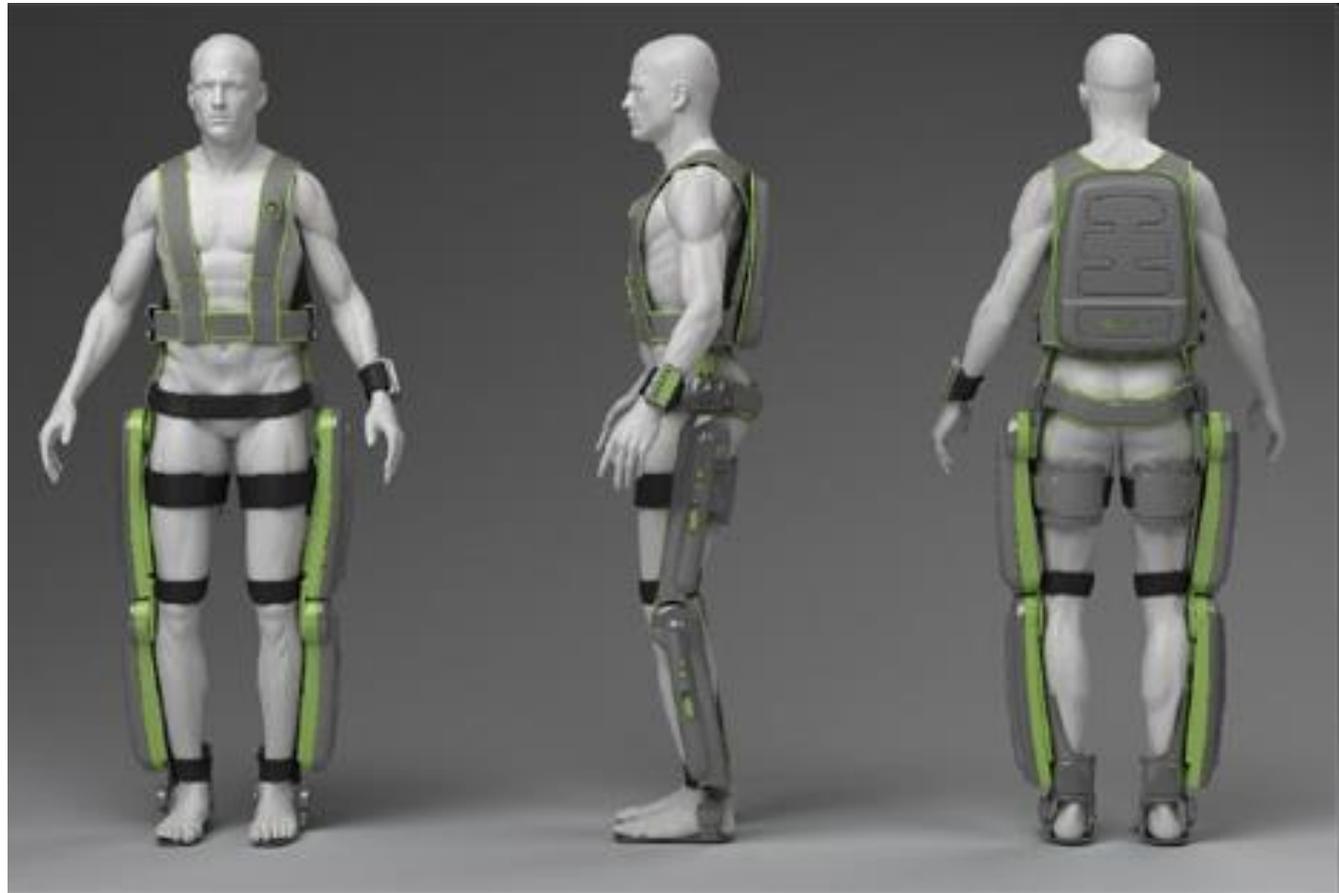
EXOSQUELETTE

- 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

EXOSQUELETTE

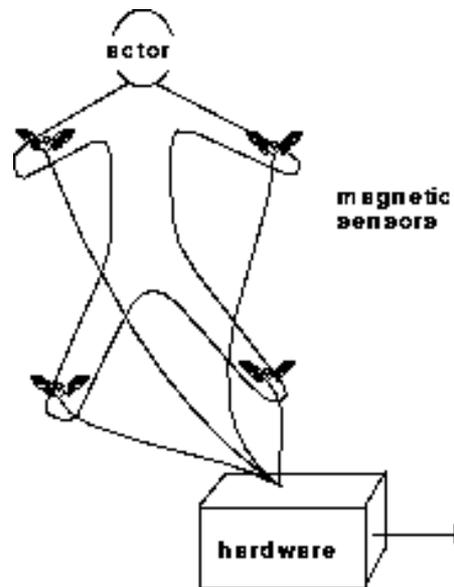
- Parenthèse culturelle
 - Rewalk



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

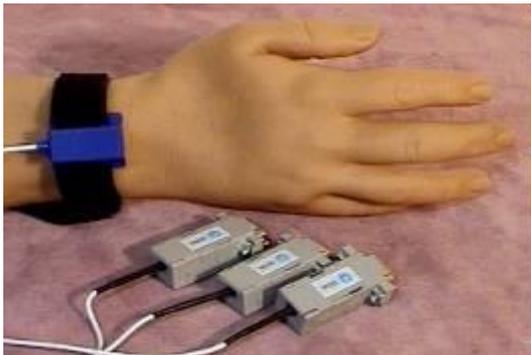
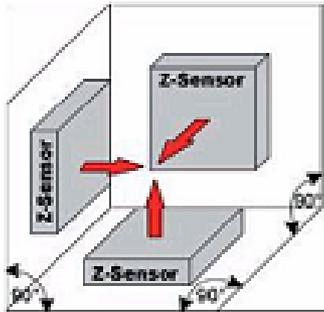
- Inconvénients

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

ACCÉLÉROMÈTRES

■ Principe :

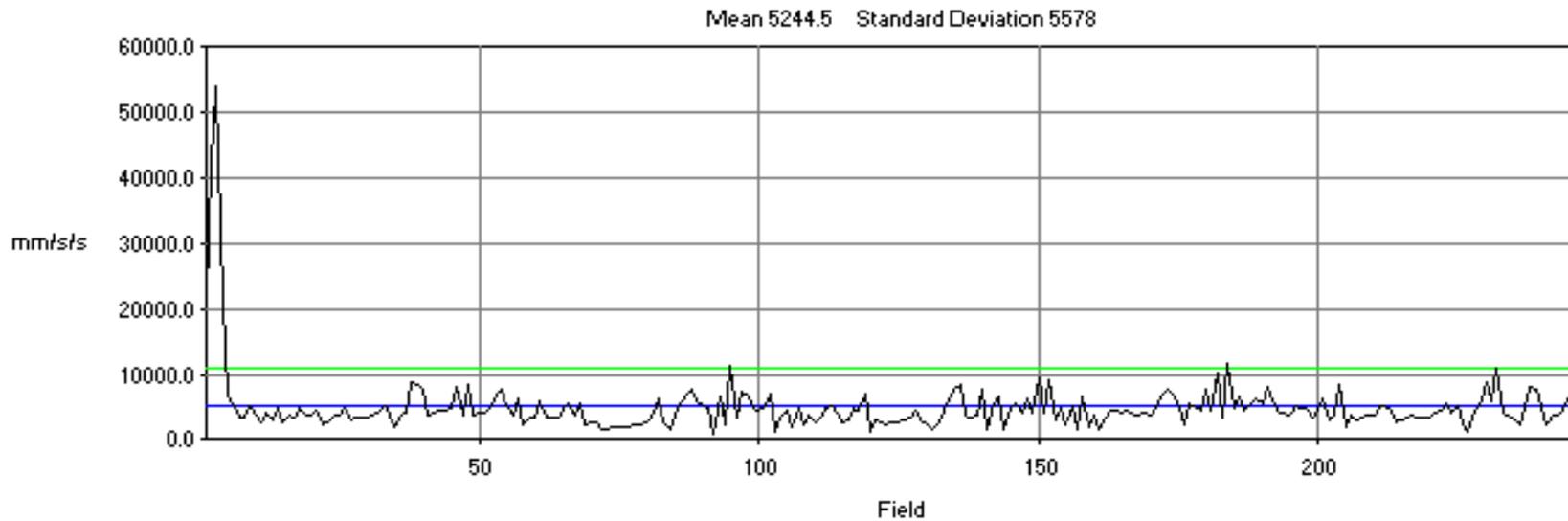
- Capteurs mesurant l'accélération subie par un objet en mouvement
- Accéléromètre triaxial → position d'un point dans l'espace par double intégration
- Connaître la position initiale du point de départ en mouvement



ACCÉLÉROMÈTRES

■ Inconvénient

- ?
- ?
- ?



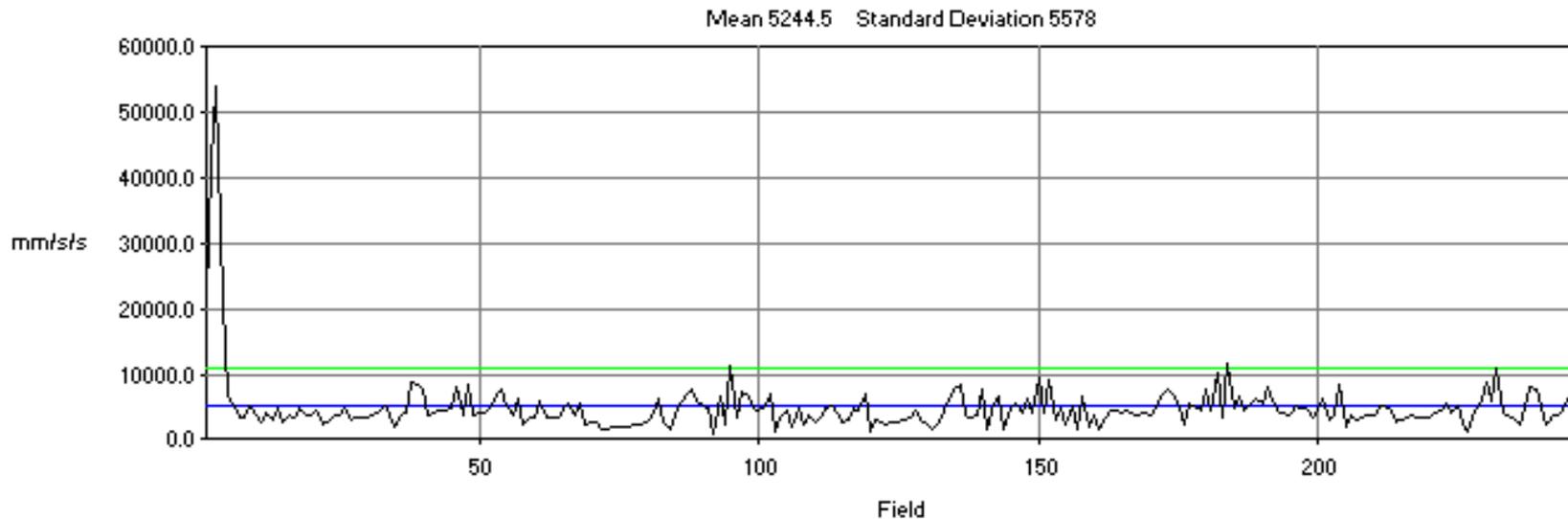
■ Avantage

- ?
- ?
- ?

ACCÉLÉROMÈTRES

- Inconvénient

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

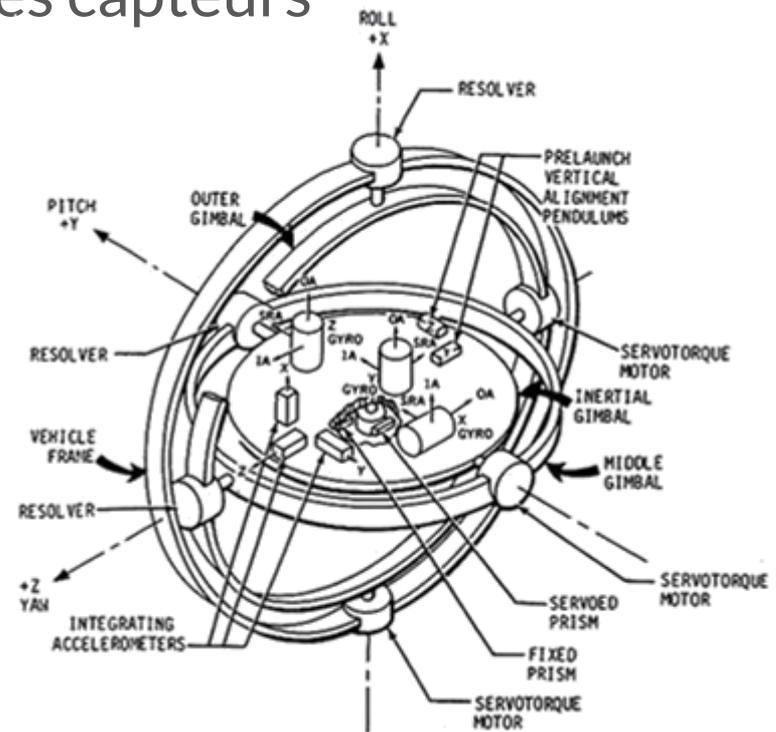
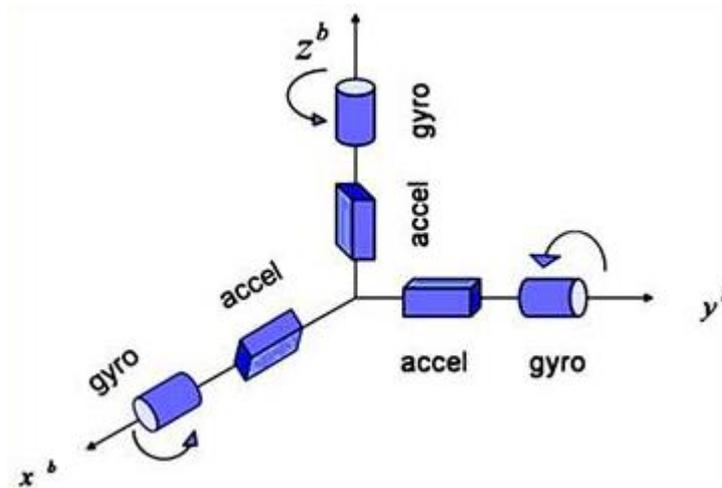


- Avantage

- 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 dérives 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)

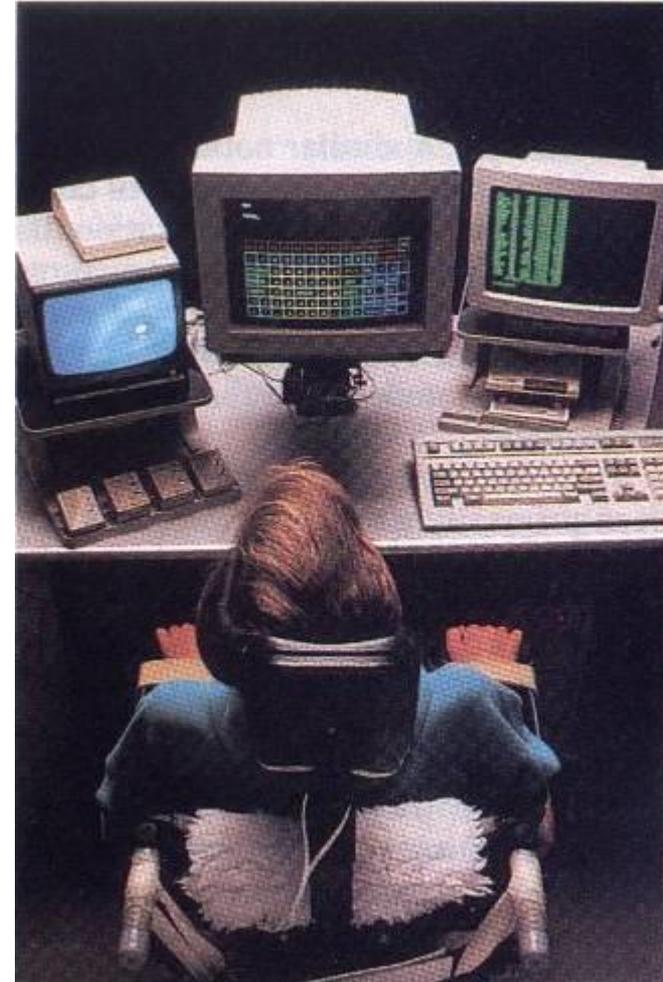
CENTRALES INERTIELLES

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

OCULOMÈTRE

- Principe

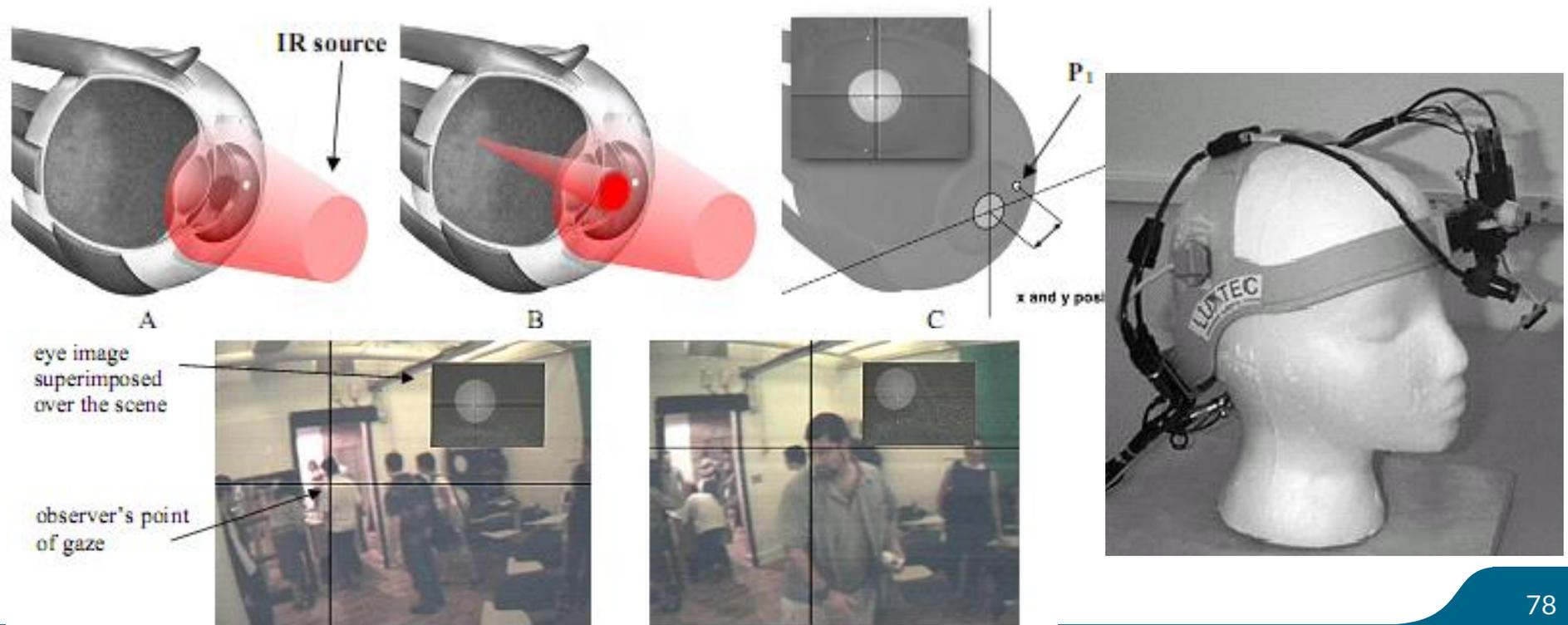
- Dispositif permettant de suivre les mouvements de l'œil et de connaître la localisation du regard
- 3 méthodes différentes :
 - Par **traitement d'image** : caméra filme le visage + logiciel de reconnaissance visuelle identifie l'œil
 - équipement minimum mais précision faible car grande sensibilité



OCULOMÈTRE

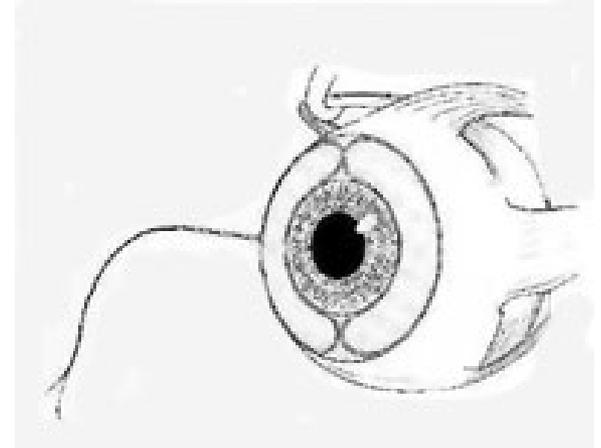
■ Principe :

- 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



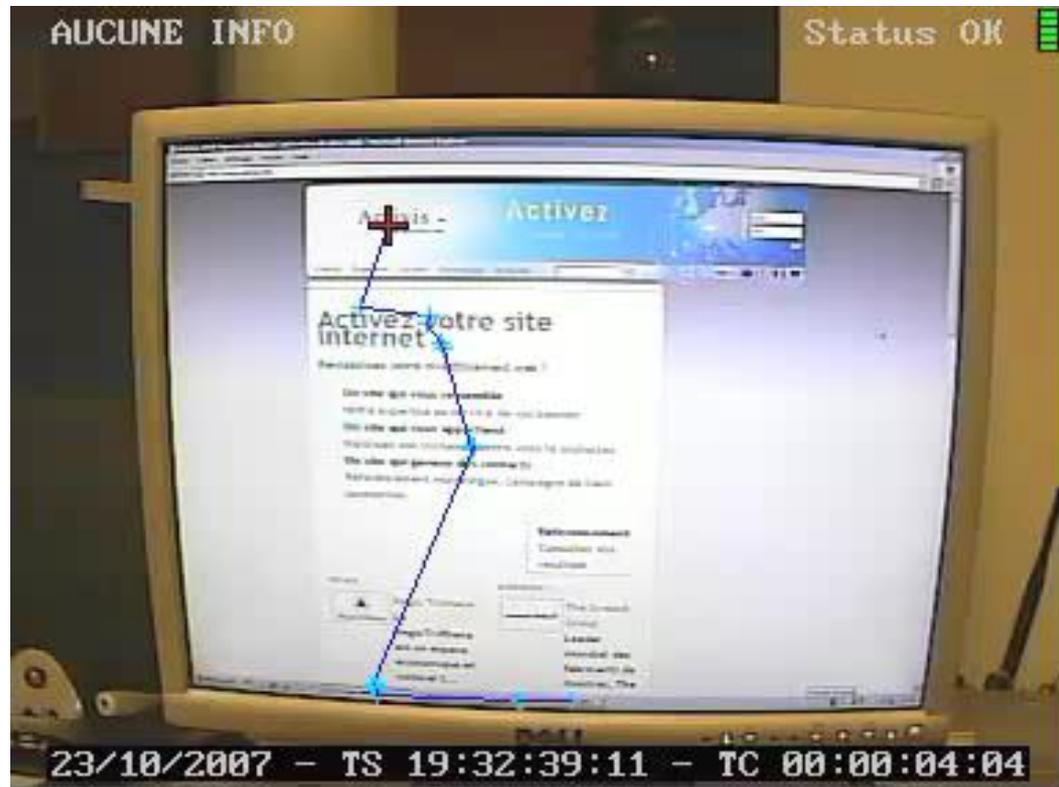
OCULOMÈTRE

- 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...



OCULOMÈTRE

- 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



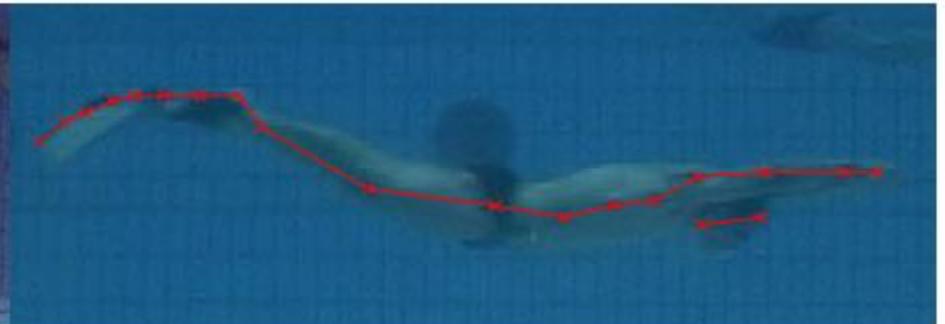
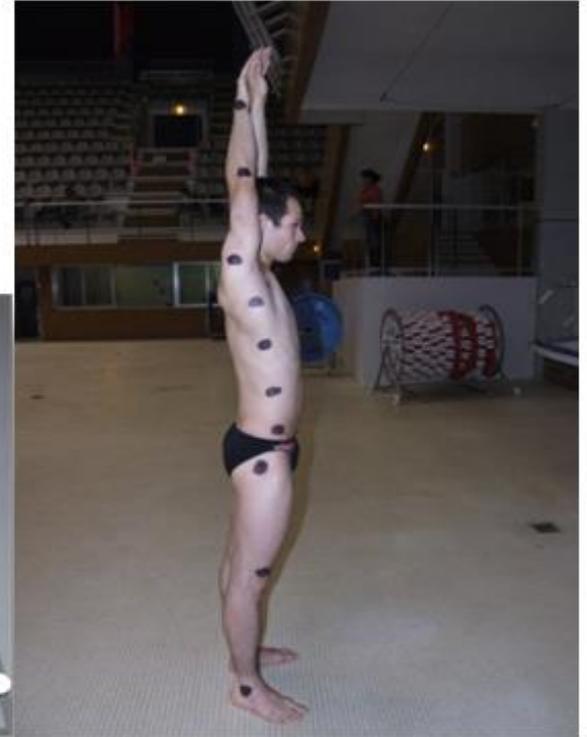
SYSTÈMES VIDÉO

- 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



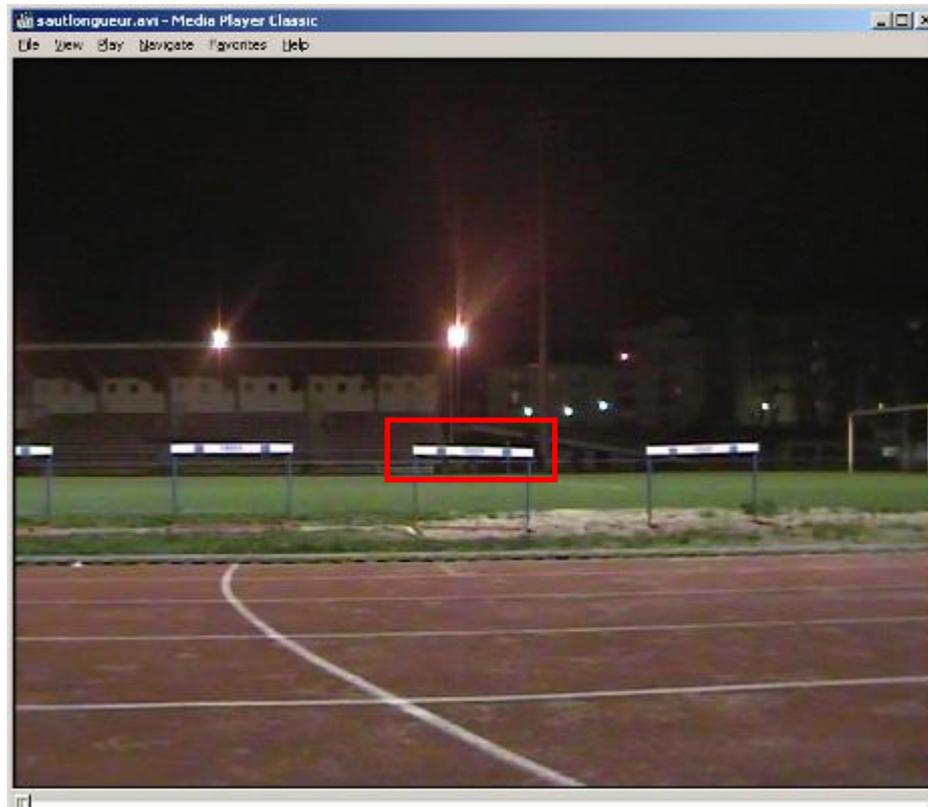
SYSTÈMES VIDÉO

- 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

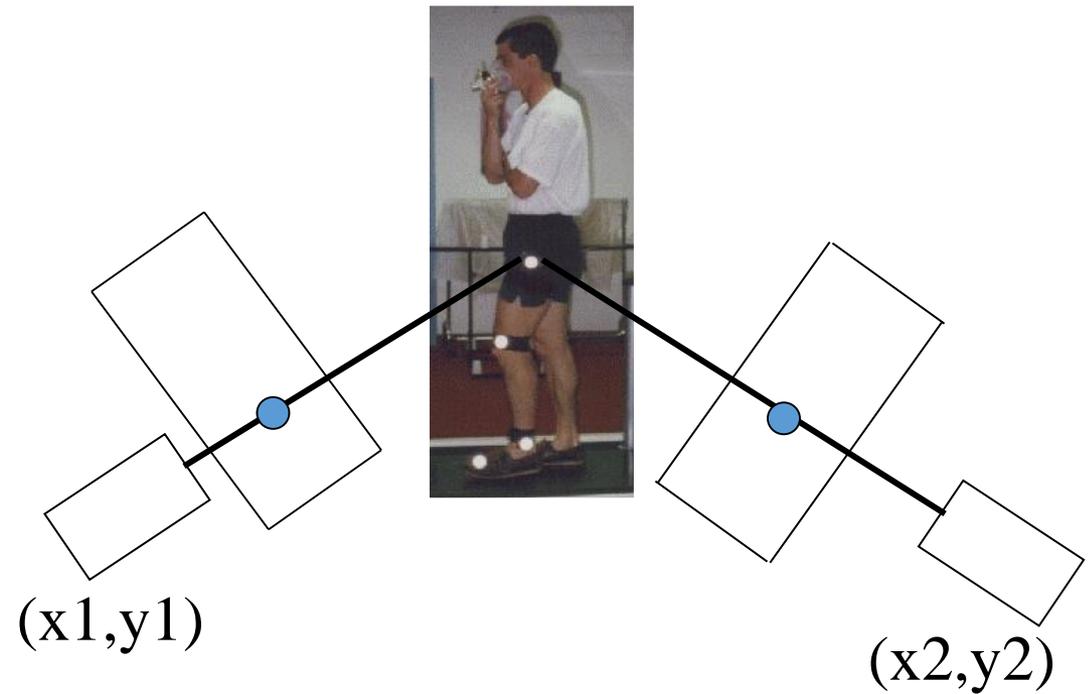
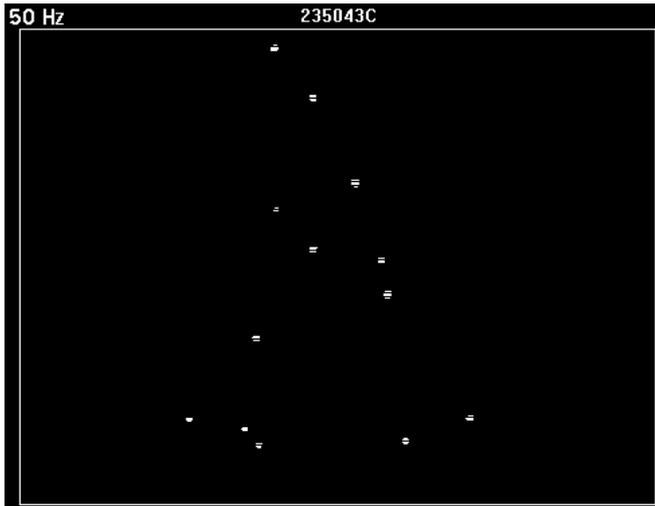


- Capture donc des positions en 3D
 - Calibration des caméras : passage de la 2D à la 3D



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

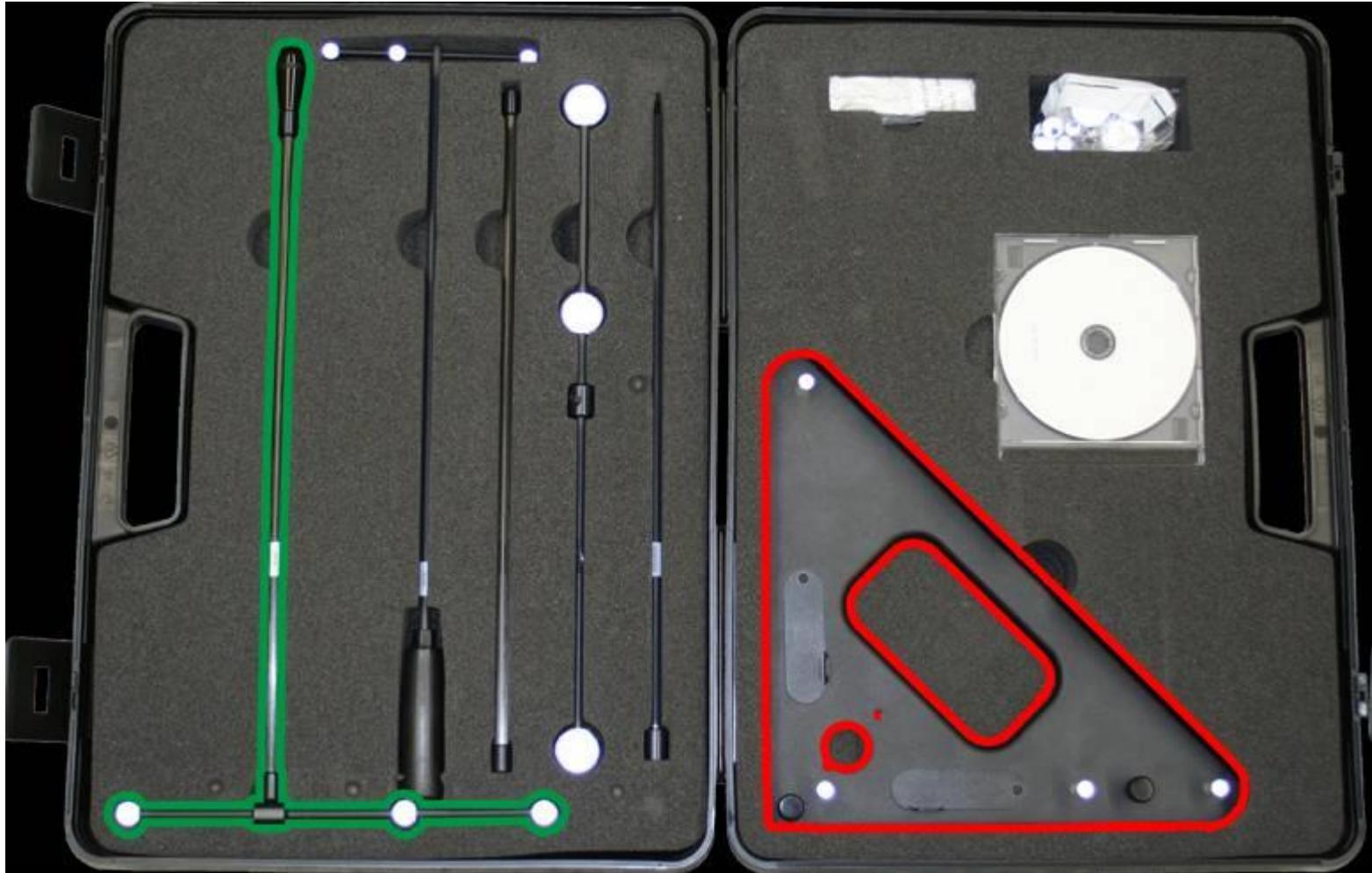


LA PHASE DE CALIBRATION

- 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

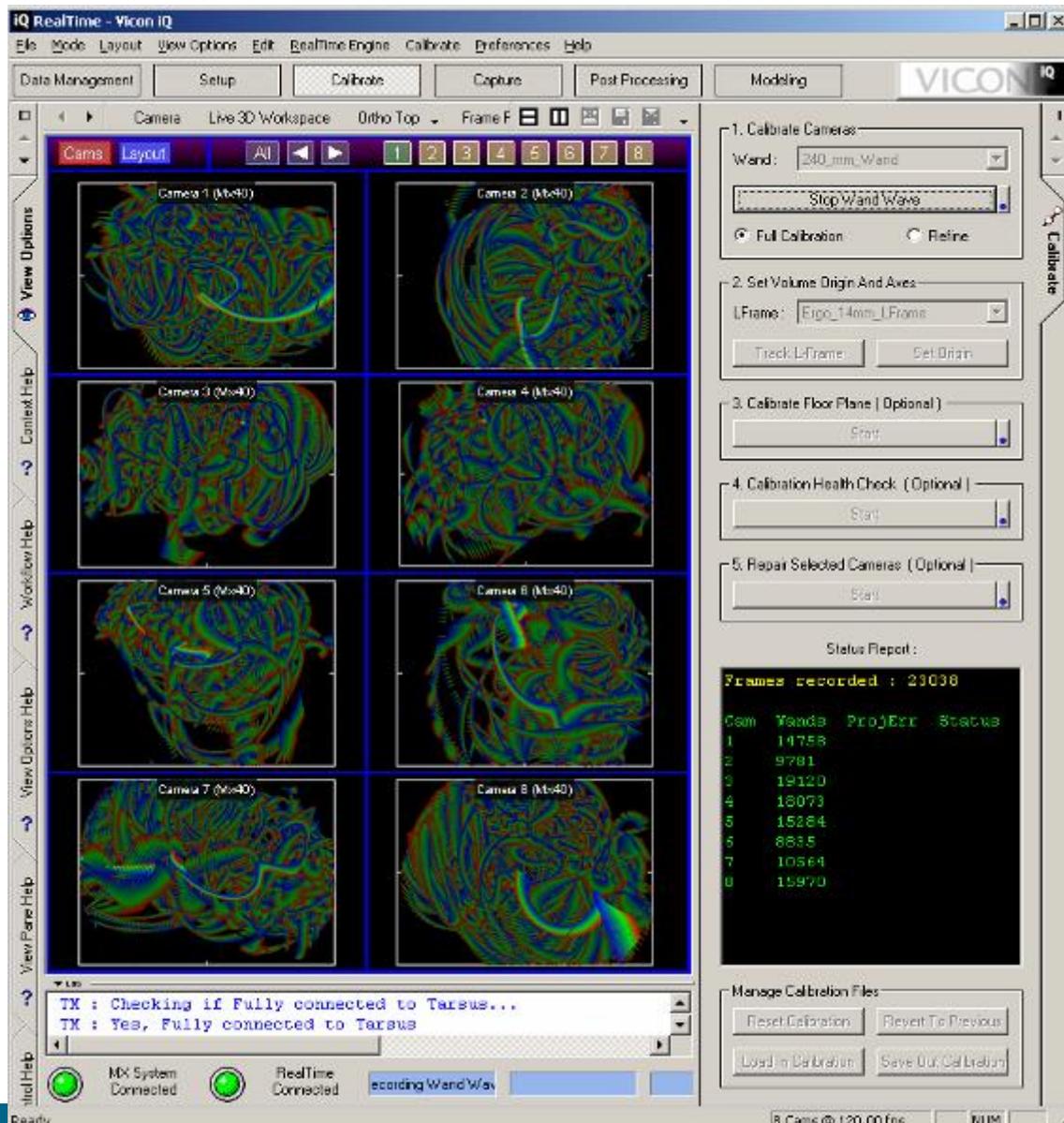


SÉANCE DE CAPTURE

- Phase de calibration dynamique



SÉANCE DE CAPTURE



The screenshot shows the VICON IQ RealTime software interface. The main window displays eight camera views (Camera 1 to Camera 8) showing a hand model. The right-hand panel contains calibration steps and a status report.

Calibration Steps:

1. Calibrate Cameras: Wand: 240_mm_Wand, Stop Wand Wave, Full Calibration selected, Refine unselected.
2. Set Volume Origin And Axes: LFrame: Edge_14mm_LFrame, Track LFrame and Set Origin buttons.
3. Calibrate Floor Plane (Optional): Start button.
4. Calibration Health Check (Optional): Start button.
5. Repair Selected Cameras (Optional): Start button.

Status Report:

Cam	Wands	Project	Status
1	14758		
2	9781		
3	19120		
4	18073		
5	15284		
6	8835		
7	10564		
8	15970		

Messages:

```
TX : Checking if Fully connected to Tarsus...
TX : Yes, Fully connected to Tarsus
```

System Status:

- MX System Connected
- RealTime Connected
- Recording Wand/Wav

Manage Calibration Files:

- Reset Calibration
- Revert To Previous
- Load In Calibration
- Save Out Calibration

Bottom Bar: 8 Cam(s) @ 120.00 fps, NUM

SÉANCE DE CAPTURE

The screenshot displays the VICON iQ RealTime software interface. The main window is titled "iQ RealTime - Vicon iQ" and features a menu bar with options: File, Mode, Layout, View Options, Edit, RealTime Engine, Calibrate, Preferences, and Help. Below the menu bar are several tabs: Data Management, Setup, Calibrate, Capture, Post Processing, and Modeling. The "Calibrate" tab is currently active.

The central workspace, labeled "Live 3D Workspace", shows a 3D grid with several camera models positioned around it. The interface includes various toolbars and panels:

- View Options:** Camera, Live 3D Workspace, Ortho Top, Frame Rate.
- Calibrate Panel (Right):**
 - 1. Calibrate Cameras: Wand: 240_mm_Wand, Start Wand Wave, Full Calibration (selected), Refine.
 - 2. Set Volume Origin And Axes: LFrame: Ergo_14mm_LFrame, Track L-Frame, Set Origin.
 - 3. Calibrate Floor Plane (Optional): Start.
 - 4. Calibration Health Check (Optional): Start.
 - 5. Repair Selected Cameras (Optional): Start.
- Status Report:**

```
Calibration Complete
Cam ProjErr Status
1 0.450661 Good
2 0.556433 Good
3 0.369199 Excellent
4 0.442393 Good
```
- Manage Calibration Files:** Reset Calibration, Revert To Previous, Load In Calibration, Save Out Calibration.
- Log (Bottom Left):**

```
TM : Yes, Fully connected to Tarsus
TM : Checking if Fully connected to Tarsus...
TM : Yes, Fully connected to Tarsus
```
- System Status (Bottom):** MX System Connected, RealTime Connected, Displaying, 122.4 fps.

SÉANCE DE CAPTURE

- Calibration statique
 - Définit l'origine du repère



SÉANCE DE CAPTURE

The screenshot displays the VICON IQ RealTime software interface. The main window is titled "Live 3D Workspace" and shows a 3D grid with several camera icons positioned around it. The interface includes a menu bar (File, Mode, Layout, View Options, Edit, RealTime Engine, Calibrate, Preferences, Help) and a toolbar with buttons for Data Management, Setup, Calibrate, Capture, Post Processing, and Modeling. On the right side, there is a "Calibrate" panel with the following sections:

- 1. Calibrate Cameras: Wand: 240_mm_Wand, Start Wand Wave, Full Calibration (selected), Refine.
- 2. Set Volume Origin And Axes: LFrame: Ergo_14mm_LFrame, Track L-Frame, Set Origin.
- 3. Calibrate Floor Plane (Optional): Start.
- 4. Calibration Health Check (Optional): Start.
- 5. Repair Selected Cameras (Optional): Start.

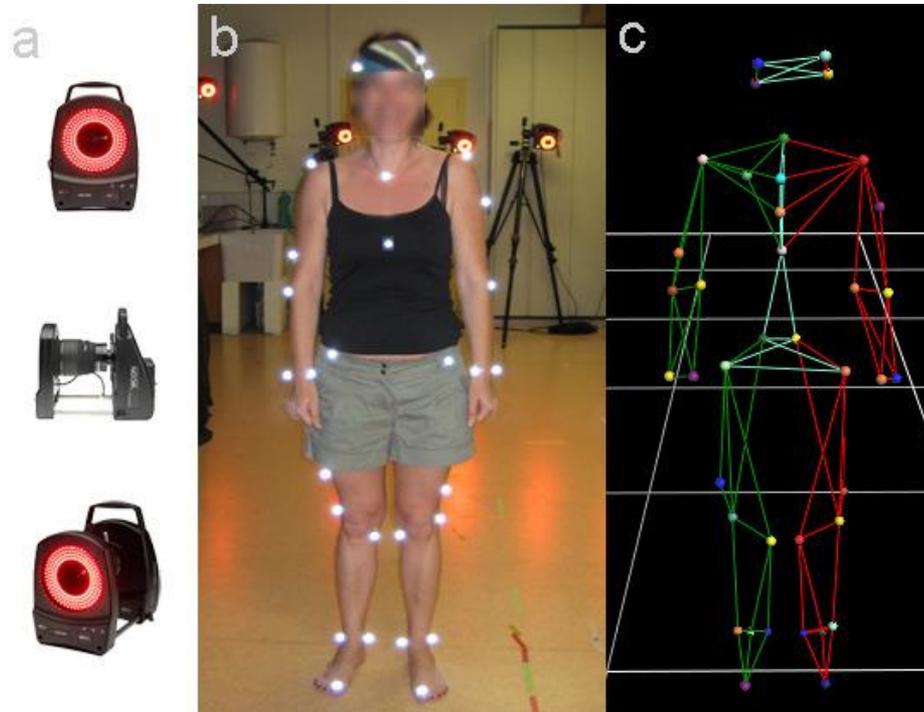
Below these sections is a "Status Report" area, which is currently empty. At the bottom of the interface, there is a "Log" window showing the following text:

```
TM : Yes, Fully connected to Tarsus
TM : Checking if fully connected to Tarsus...
TM : Yes, Fully connected to Tarsus
```

The bottom status bar shows "MX System Connected", "RealTime Connected", "Displaying", and "126.4 fps". The system tray at the bottom right indicates "8 Cams @ 120.00 fps" and "NUM".

SÉANCE DE CAPTURE

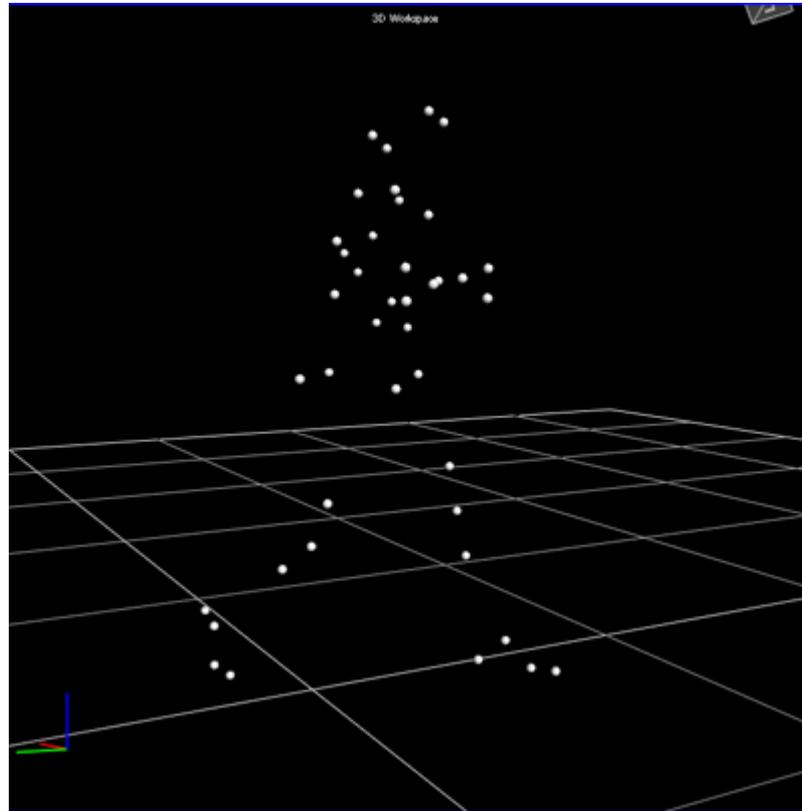
- Placement des marqueurs



SÉANCE DE CAPTURE

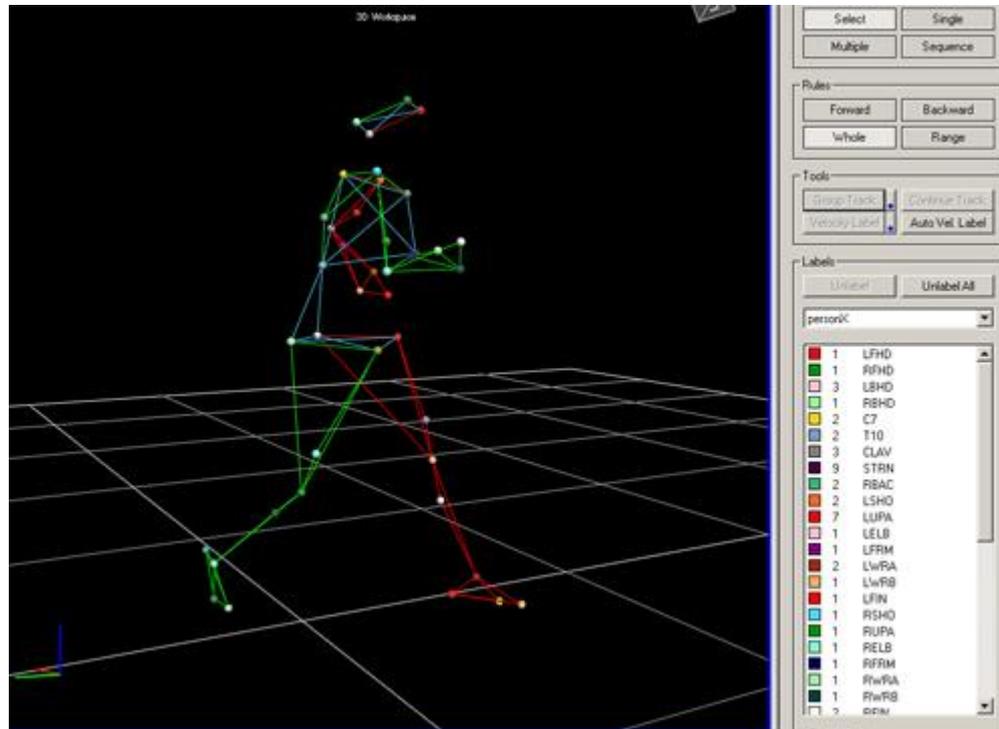
■ Reconstruction 3D

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



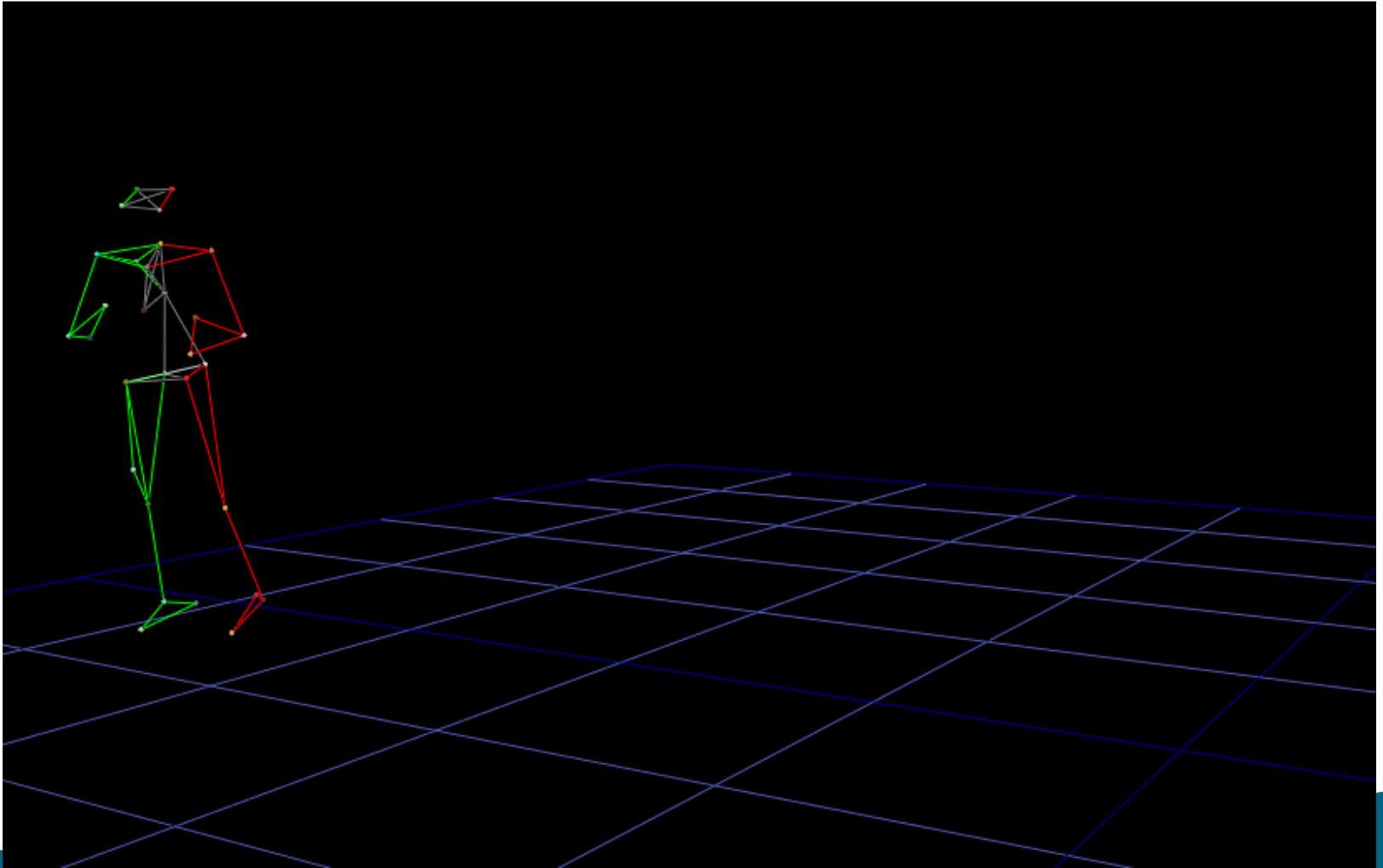
SÉANCE DE CAPTURE

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



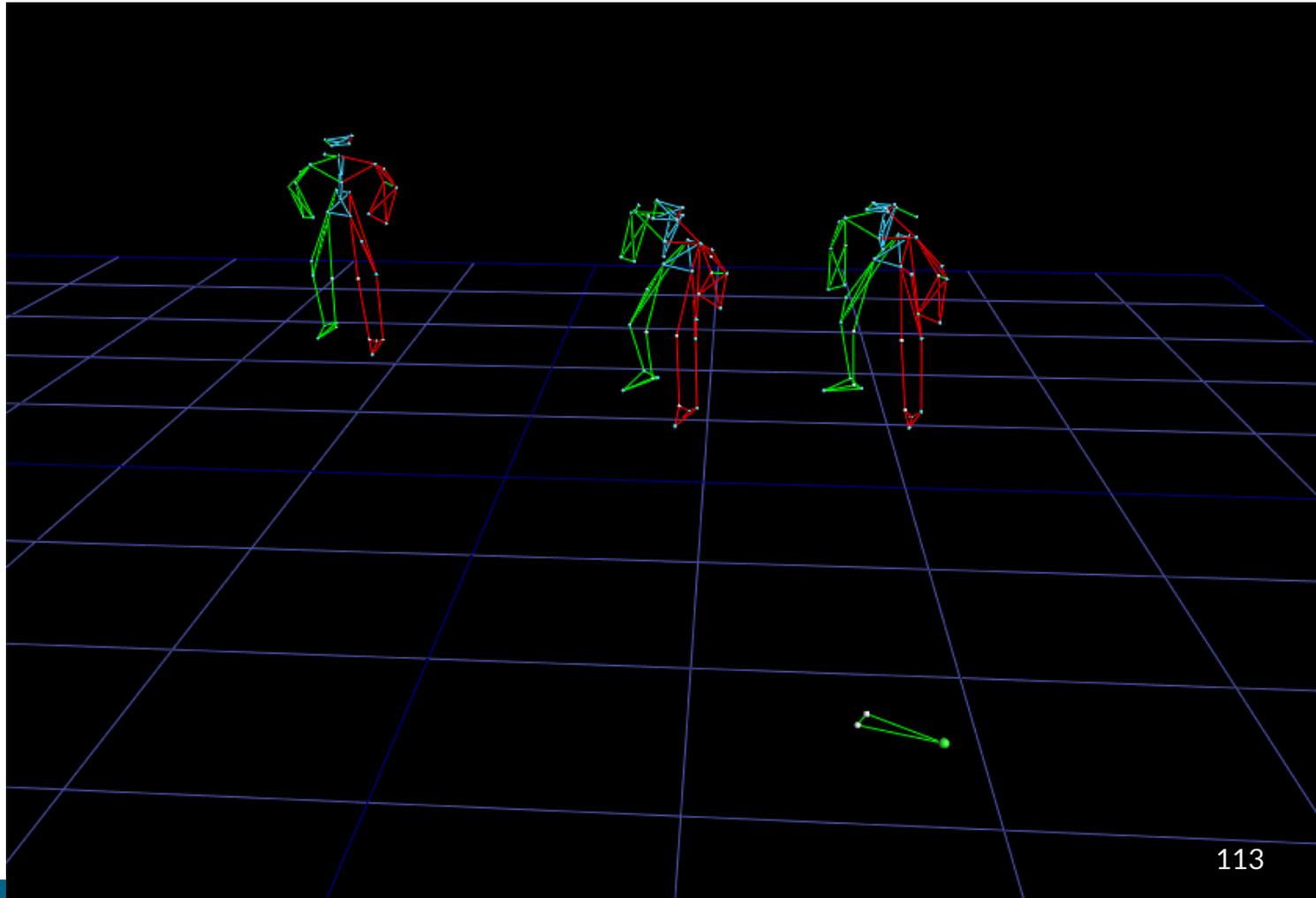
CAPTURE DE MOUVEMENTS

- 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 (~ 250 Hz)
 - Grande liberté de mouvement (attention aux types de marqueur)

- Montrer vidéo plongeon Stade Rennais F.C.

SYSTÈMES OPTOÉLECTRONIQUES

- Avantages
 - Précision de la mesure
 - Bande passante étendue (~ 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

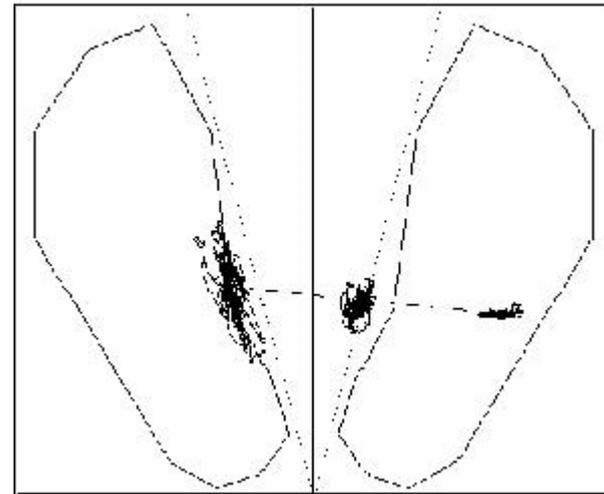
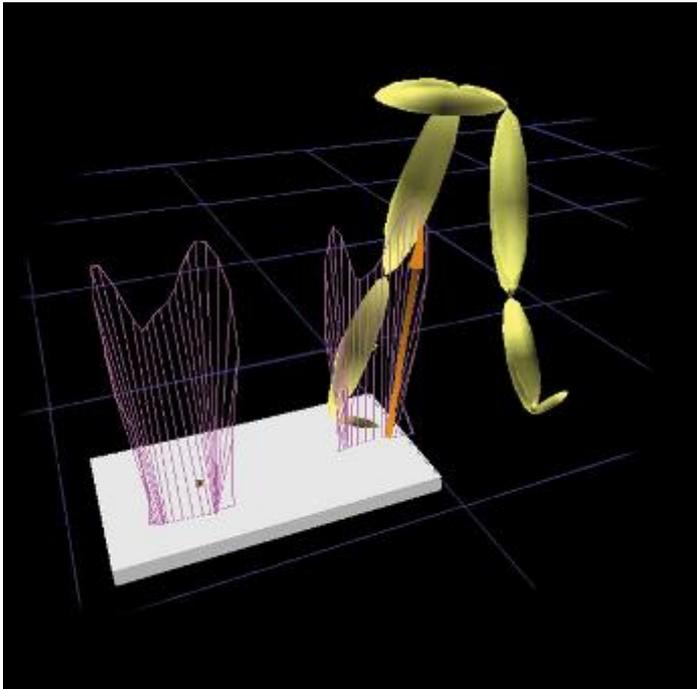
- Attention pour la reconnaissance
 - Position 3D uniquement
 - Apprendre avec ce système puis faire la reconnaissance avec Kinect

ACQUISITION DE DONNÉES

Données dynamiques

PLATEFORME DE FORCES

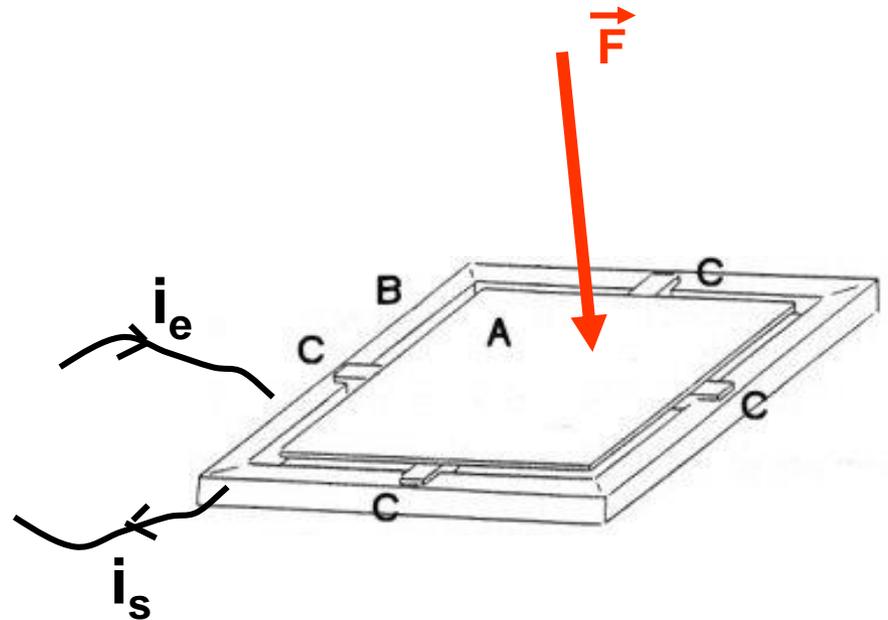
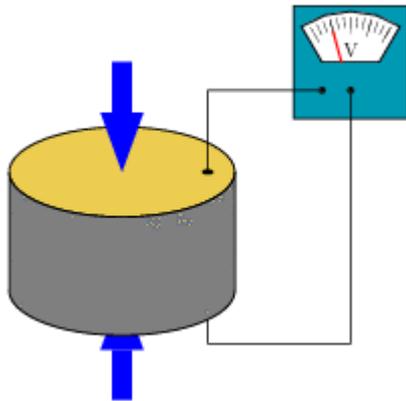
- Statique car fixée dans le sol
- Mesure en temps-réel des forces et des moments de force
- Utiliser aussi pour estimer le trajet du centre de pression



PLATEFORME DE FORCES

Socle { *A = plaque métallique rigide*
B = cadre métallique
C = capteurs de forces

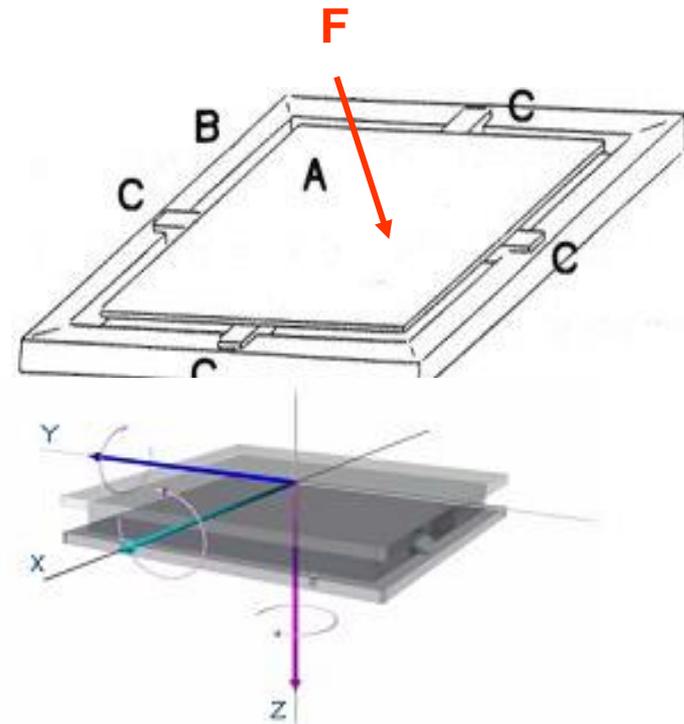
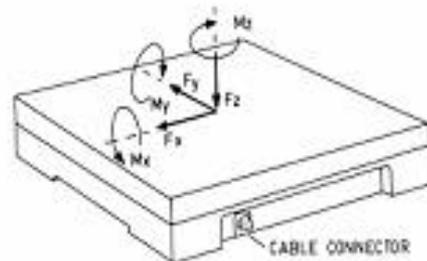
*(jauges de déformation ou
capteurs piézo-électriques)*



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

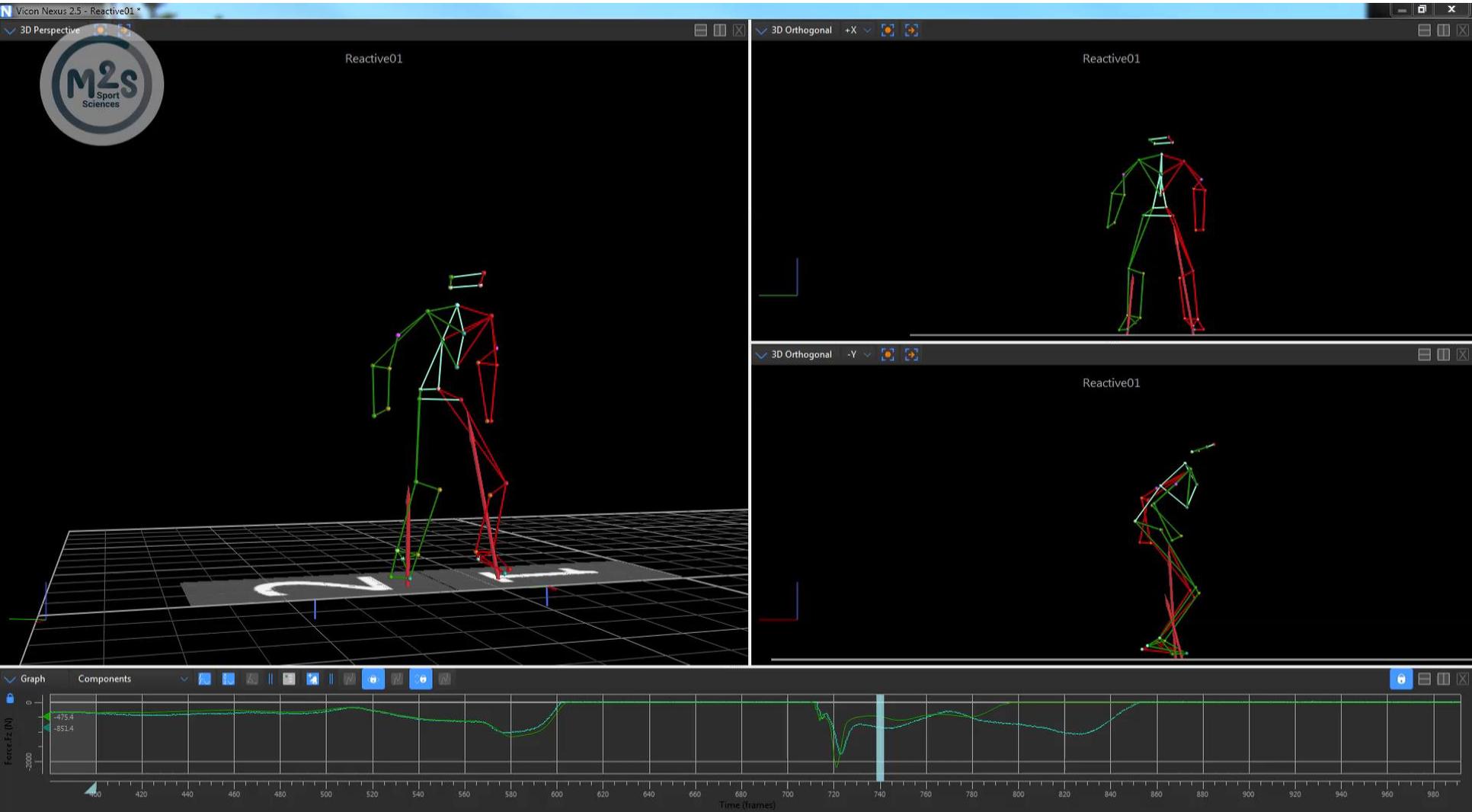


PLATEFORME DE FORCES

- Exemple sur la réactivité de joueurs de football



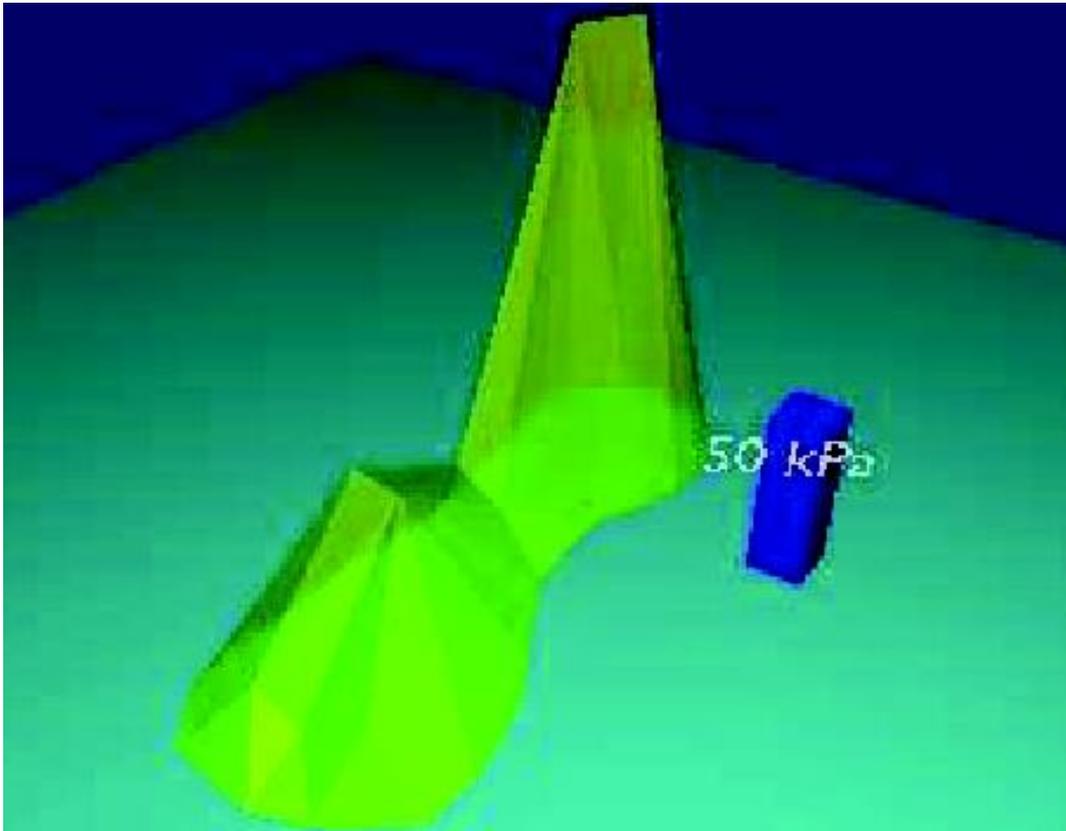
PLATEFORME DE FORCES



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

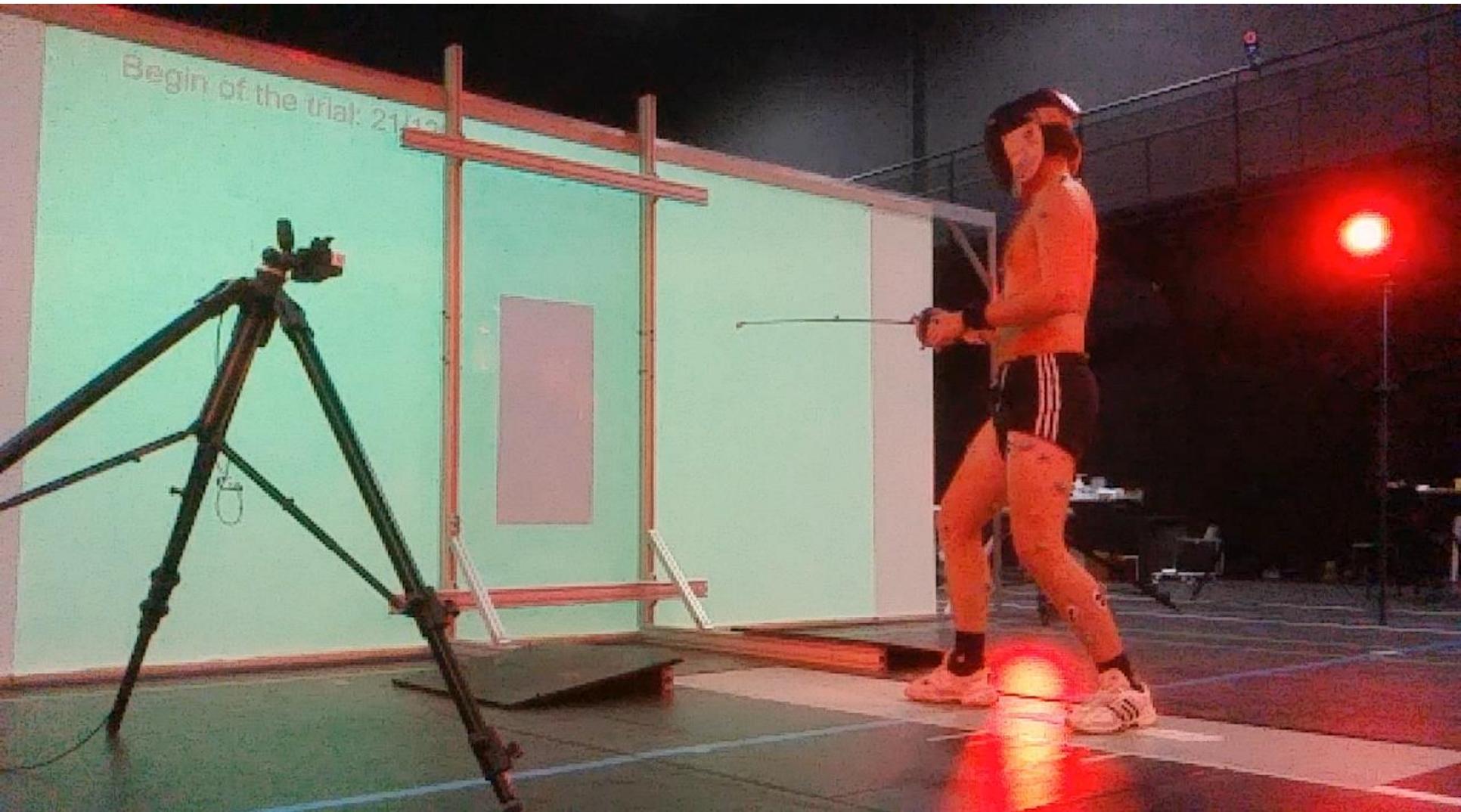
- Semelles avec capteurs de pression (256/semelle)
- Système de mesure embarqué
- Permet d'obtenir la composante verticale de la force
- Permet aussi d'obtenir la répartition des pressions sous le pied
- Fréquence 50Hz



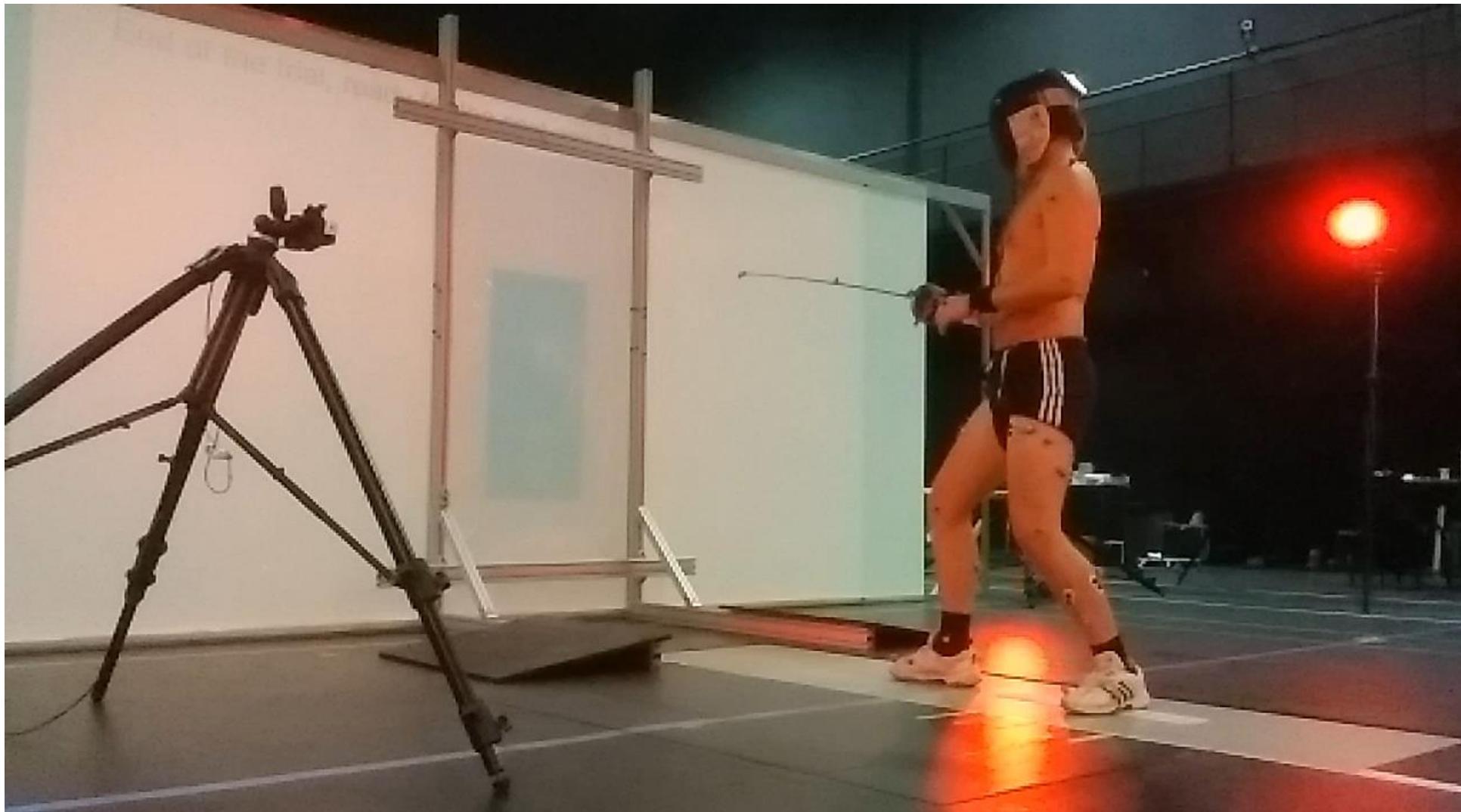
- Pas de direction de la force
- Mais des données au cours du temps
 - Utilisable en reconnaissance d'appuis



EXEMPLE D'UTILISATION EN INTERACTION



EXEMPLE D'UTILISATION EN INTERACTION

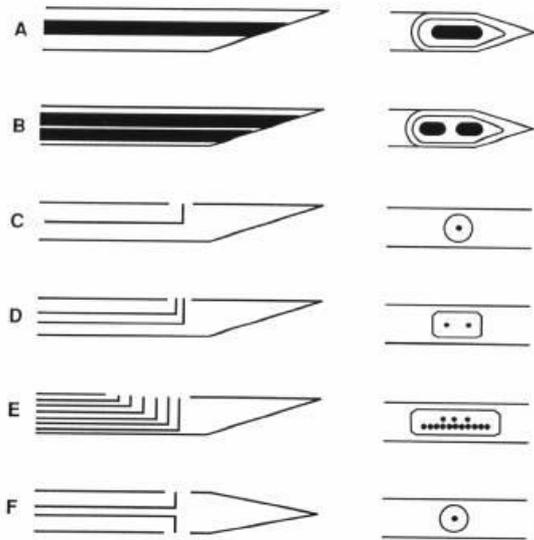


ACQUISITION DE DONNÉES

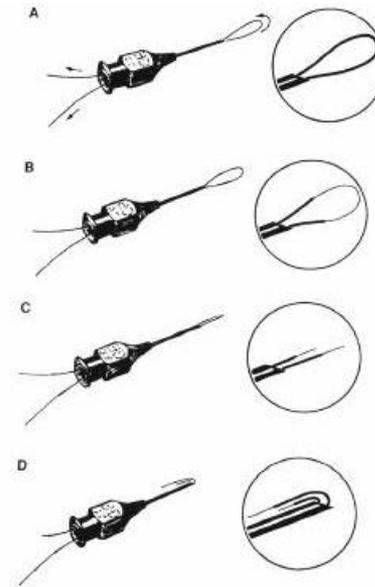
Données musculaires

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



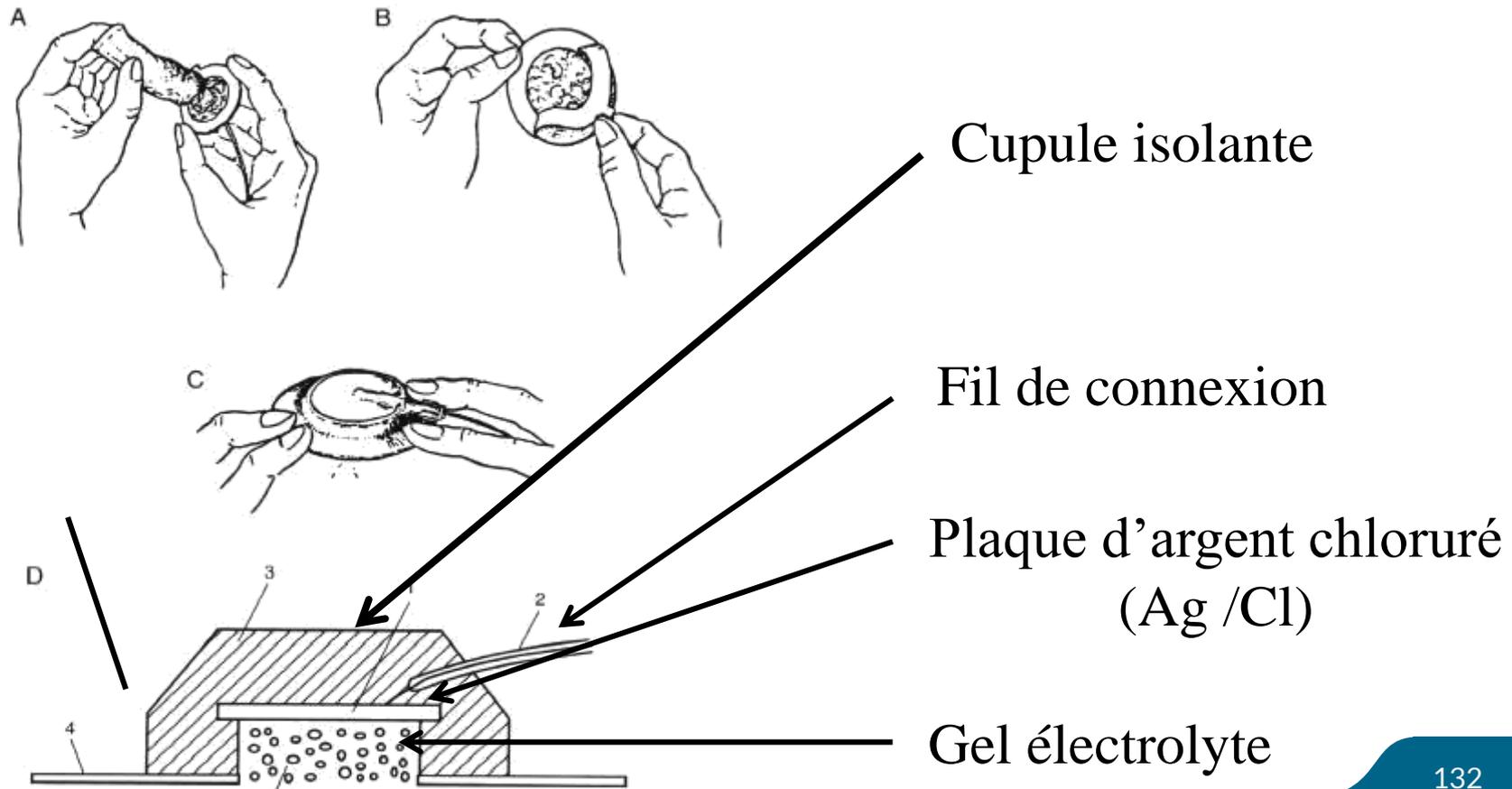
Électrodes à aiguille



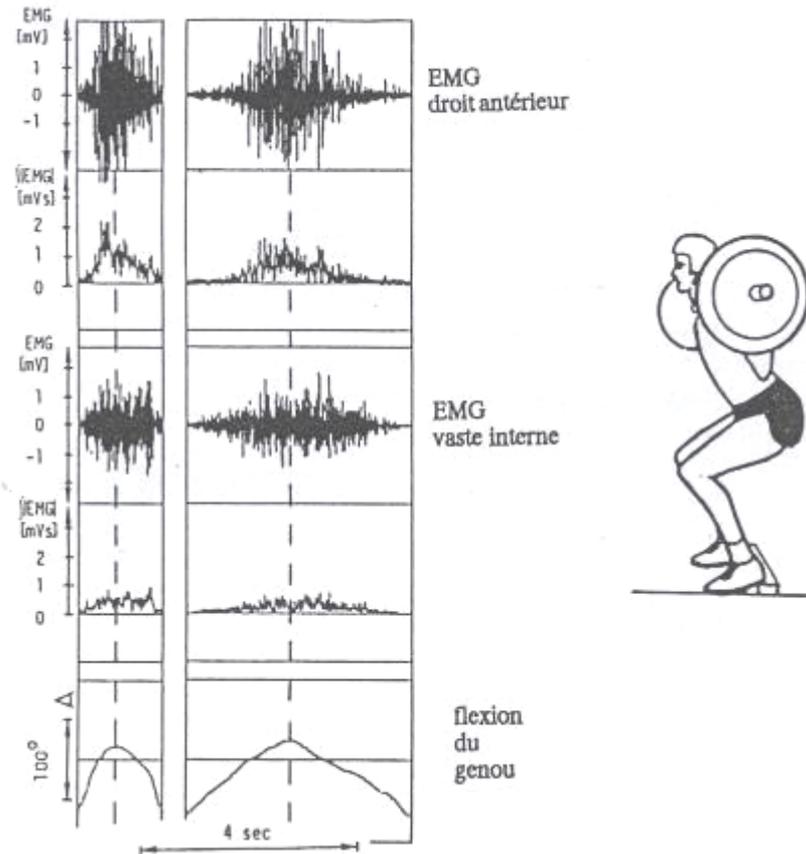
Électrode à fil

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

INTERACTION LOW-COST

- Myo Armband



ACQUISITION DE DONNÉES

Données couplées

ACQUISITION DE DONNÉES

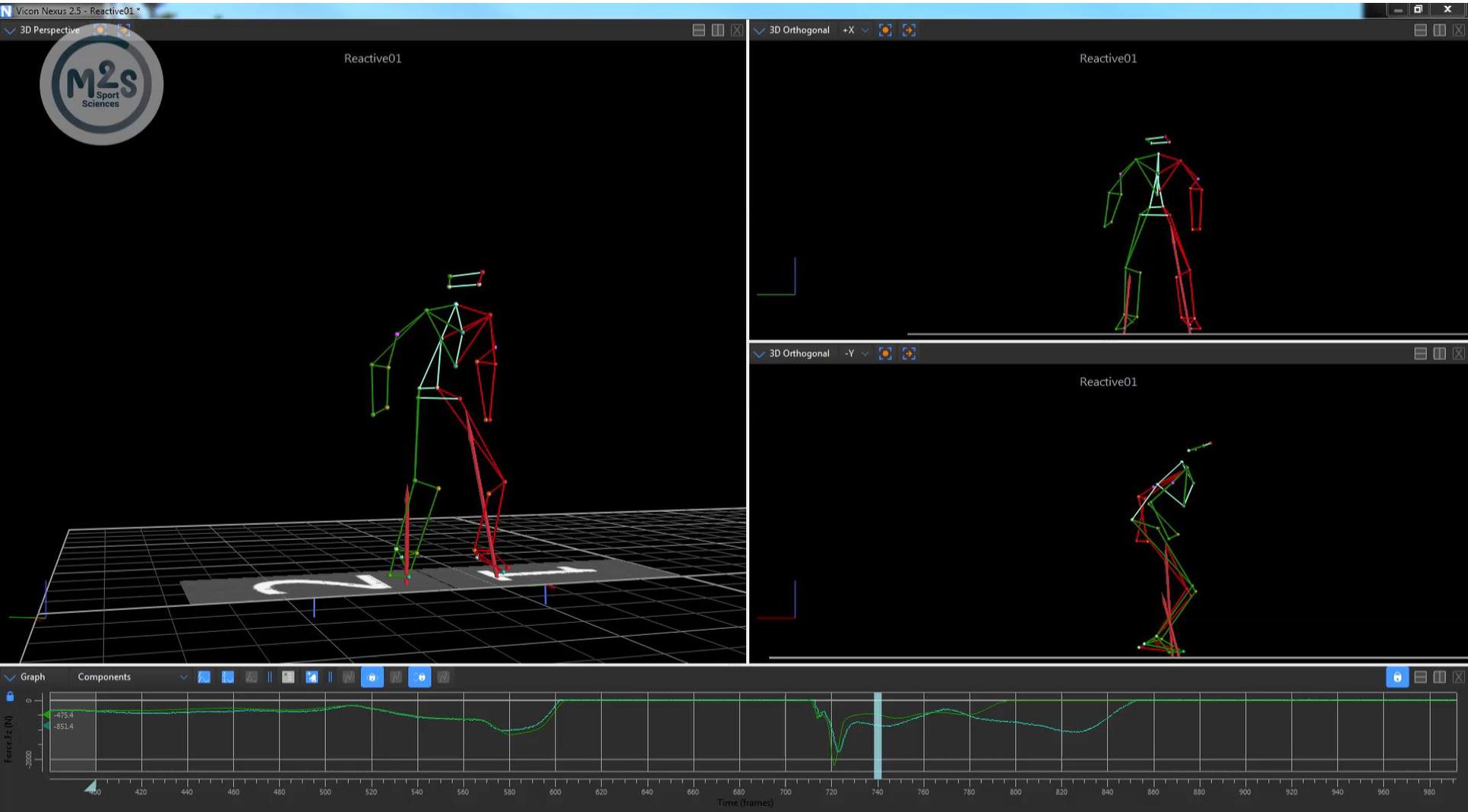
- Données de différentes natures
 - Cinématique
 - Position (3 degrés de liberté)
 - Angle (3 degrés de liberté)
 - Dynamique
 - Force
 - Moment de force
 - Point d'application des forces
 - Musculaire
 - Temps d'activation musculaire
 - Ratio par rapport à la CMV

- Apport du couplage ?

COUPLAGE CINÉMATIQUE+FORCES



COUPLAGE CINÉMATIQUE+FORCES

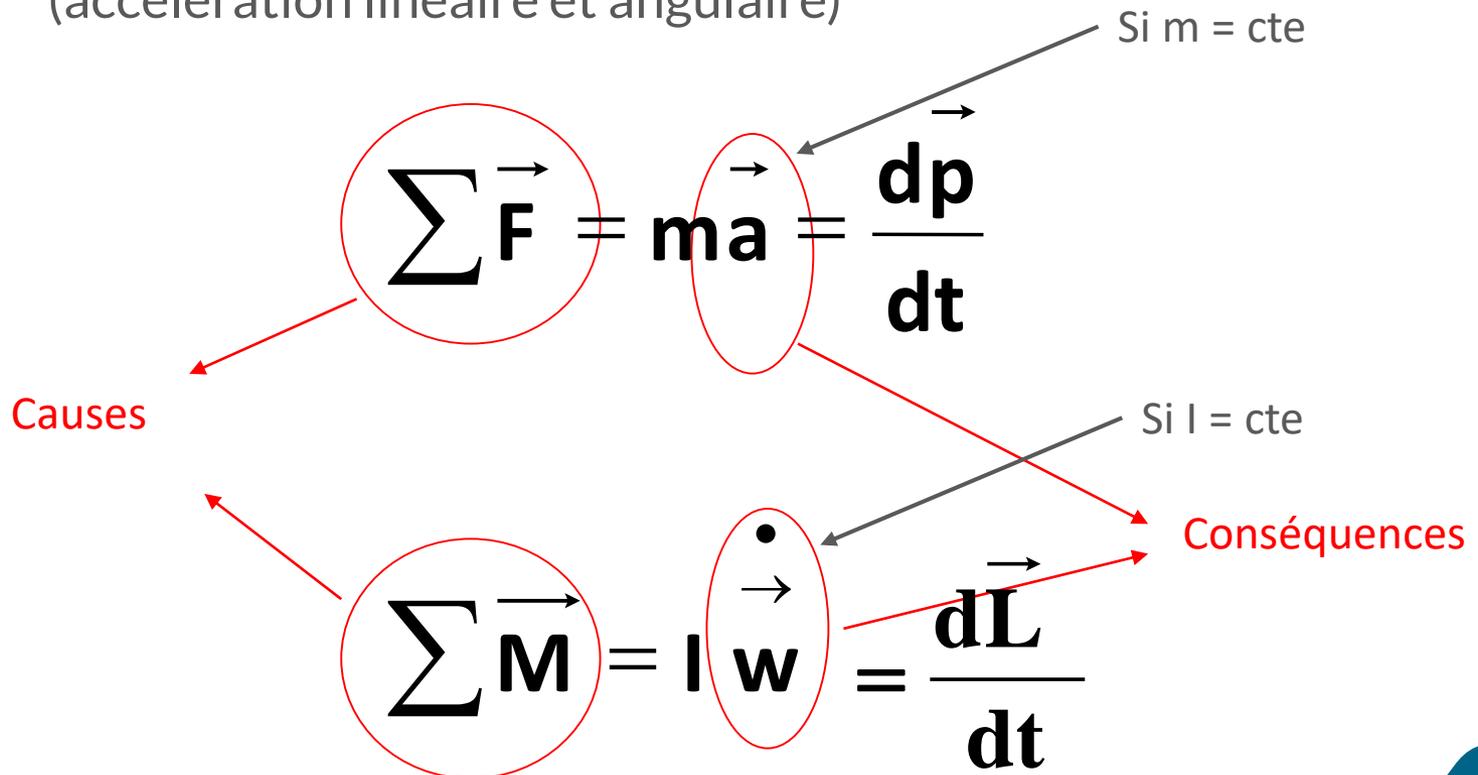


COUPLAGE CINÉMATIQUE+FORCES

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

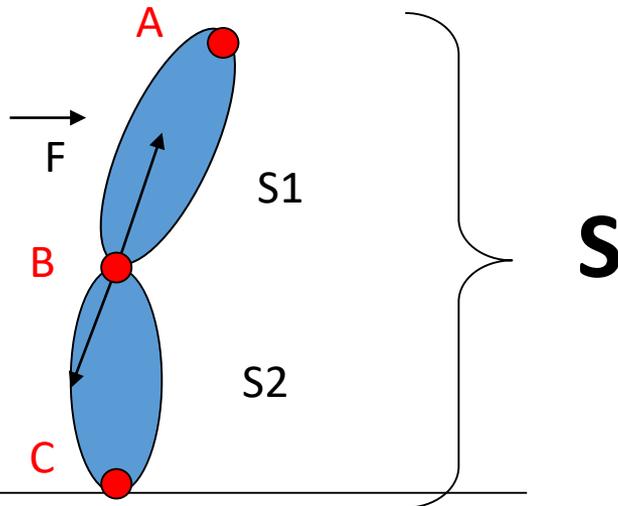
MODÈLE DYNAMIQUE

- 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



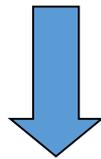
$$\vec{F} = \vec{F}_{S2 \rightarrow S1} \text{ est :}$$

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

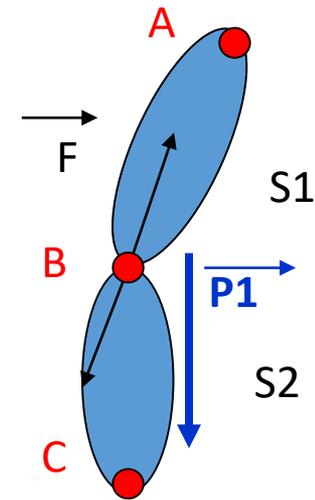
MODÈLE DYNAMIQUE INVERSE

- 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)

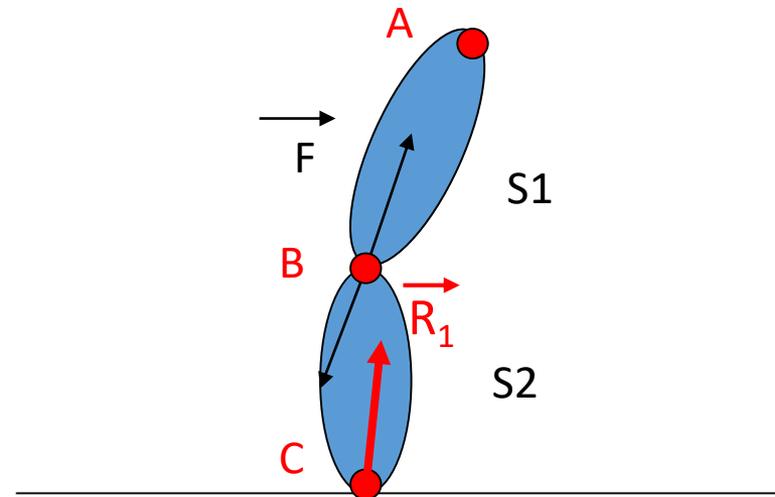
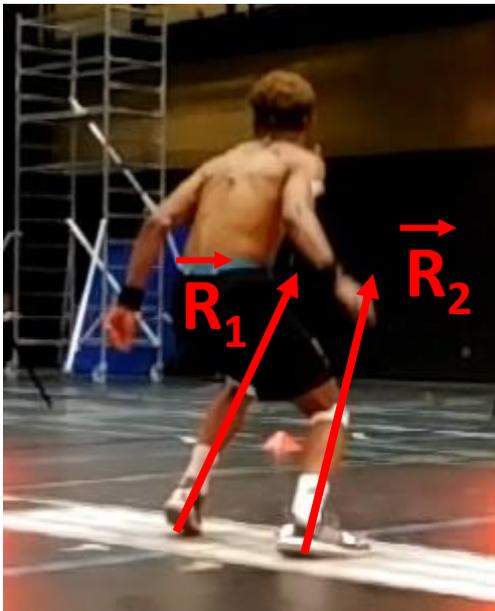


RFD appliquée à S1 : $\vec{P}_{S1} + \vec{F} = m_1 \vec{a}_{G1}$

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 cinématique
 - 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 ?



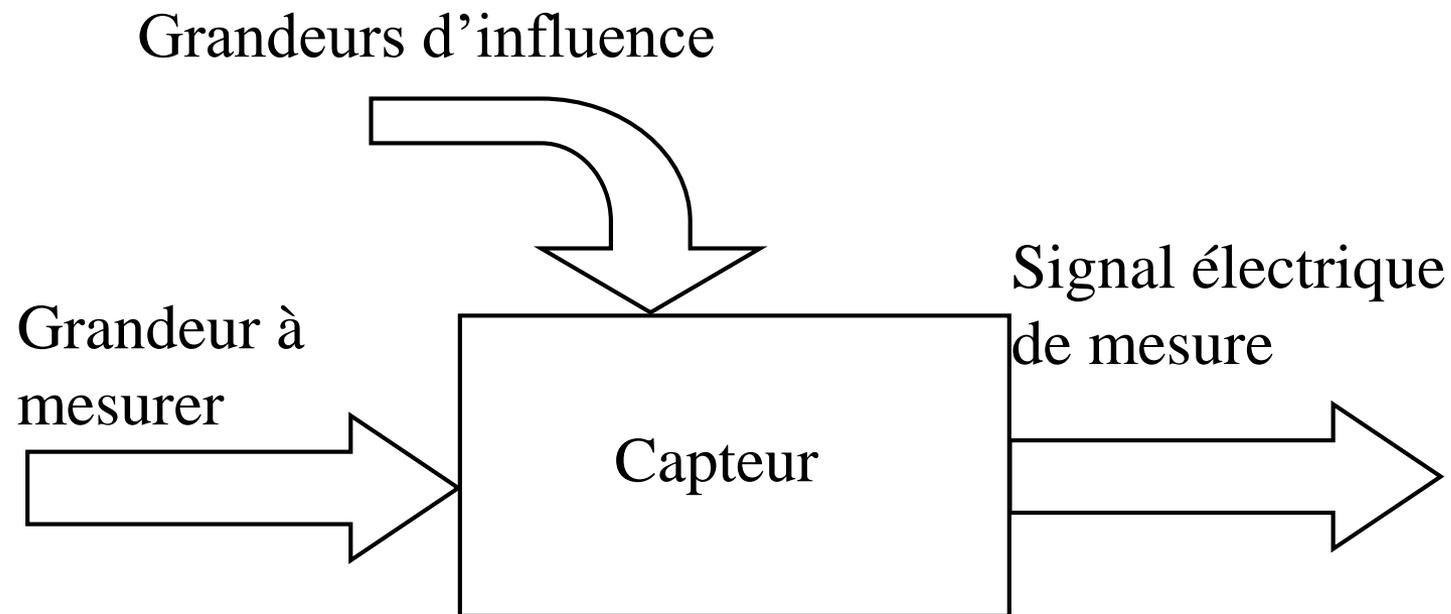
TRAITEMENT DES DONNÉES

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



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

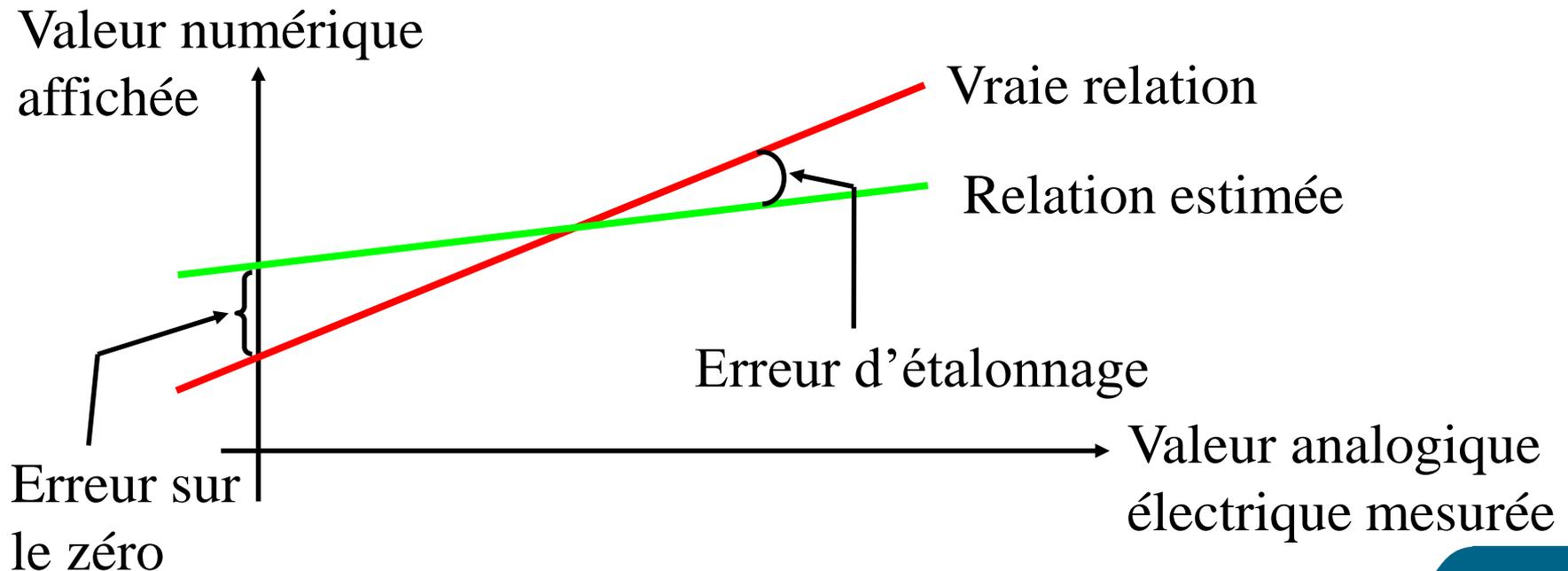
- Il faut toujours chercher à les minimiser
- Il faut en tenir compte dans le choix technologique
- Si reconnaissance d'un geste très précis, ne pas utiliser de système basé vidéo par exemple

ÉCART 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
- Elles peuvent être calculées et éventuellement corrigées



ERREURS DE MESURE

- Exemple sur la plateforme de force

- Erreur sur le zéro

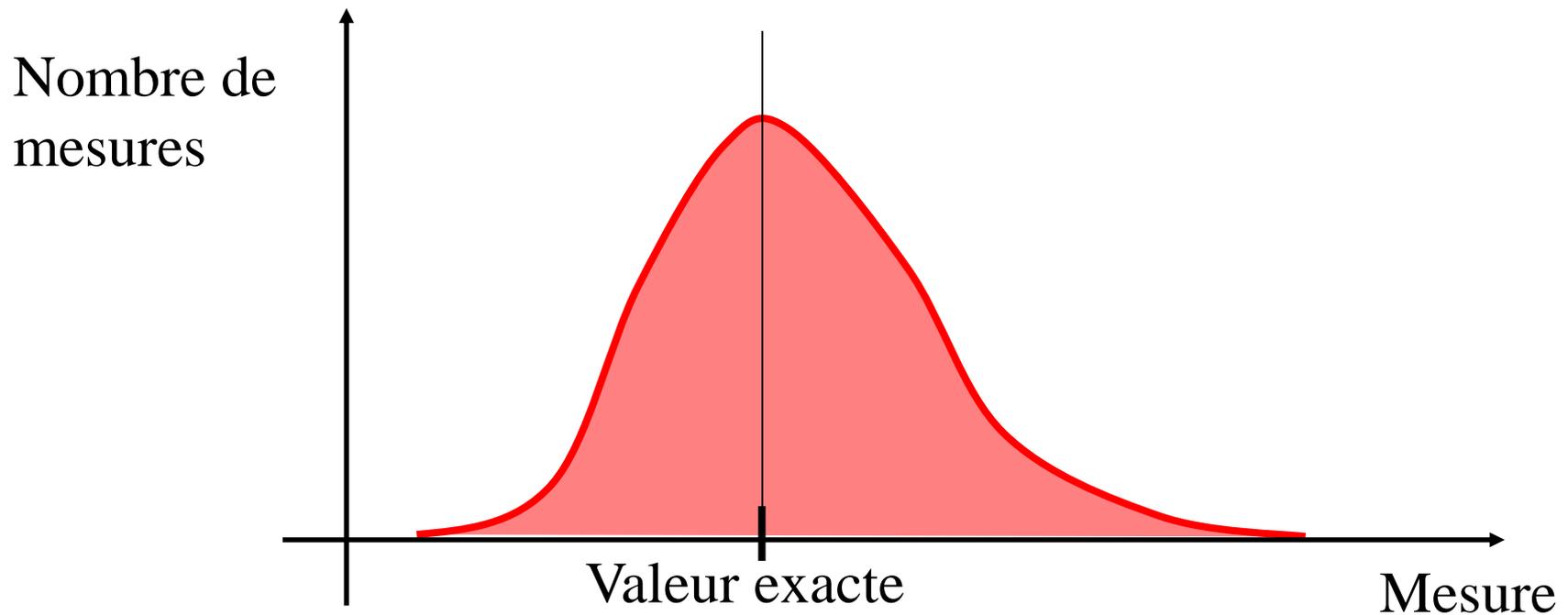
- ⇒ Mesure une force alors que plateforme vide

- Erreur d'étalonnage

- ⇒ Rapport erroné $\frac{\text{raccourcissement des capteurs}}{\text{force d'appui}}$

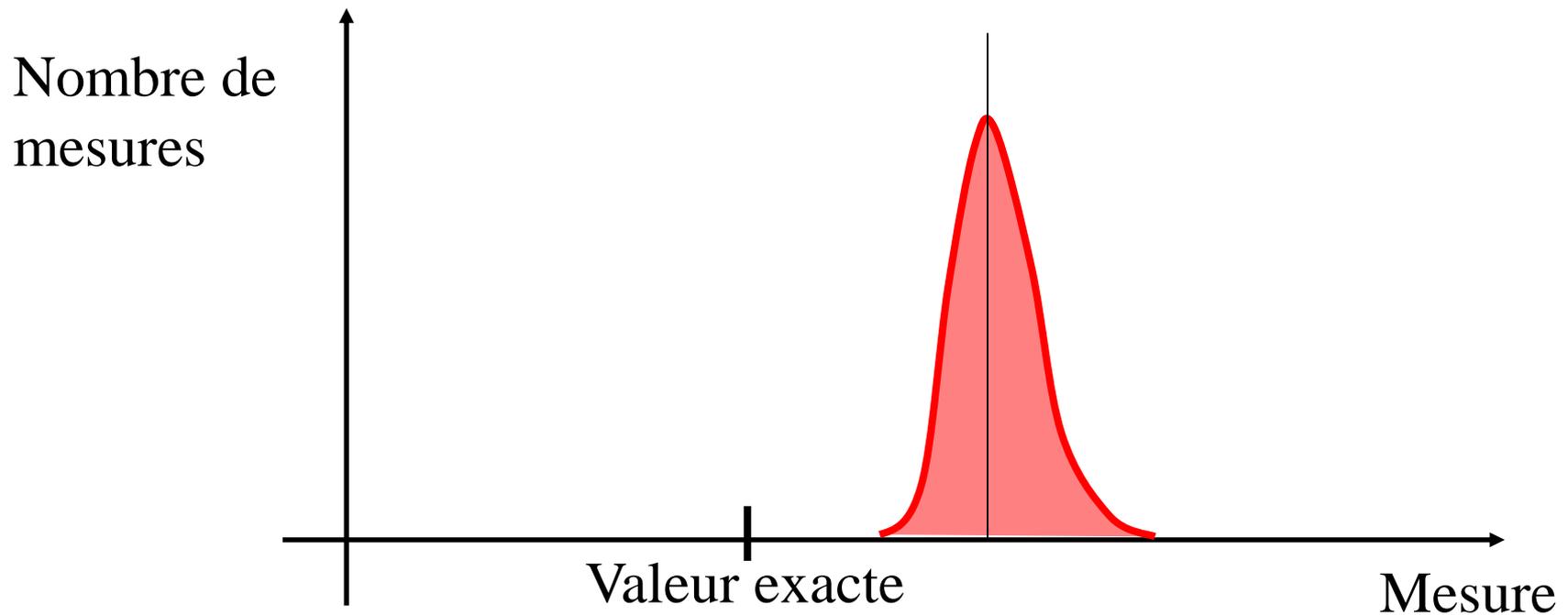
PRÉCISION : JUSTESSE ET FIDÉLITÉ

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



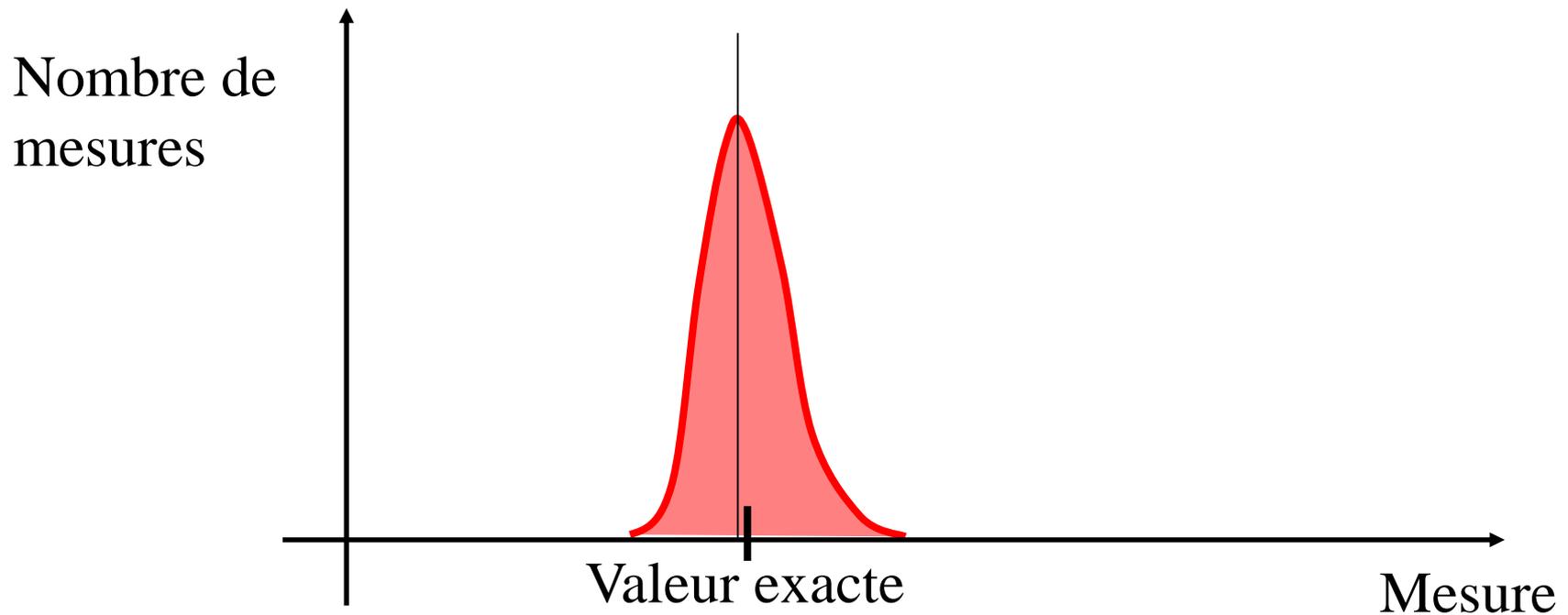
PRÉCISION : JUSTESSE ET FIDÉLITÉ

- 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



INCERTITUDES DE MESURE

- Elles ont des causes accidentelles, 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...

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

INCERTITUDE DE MESURE

- 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 ?

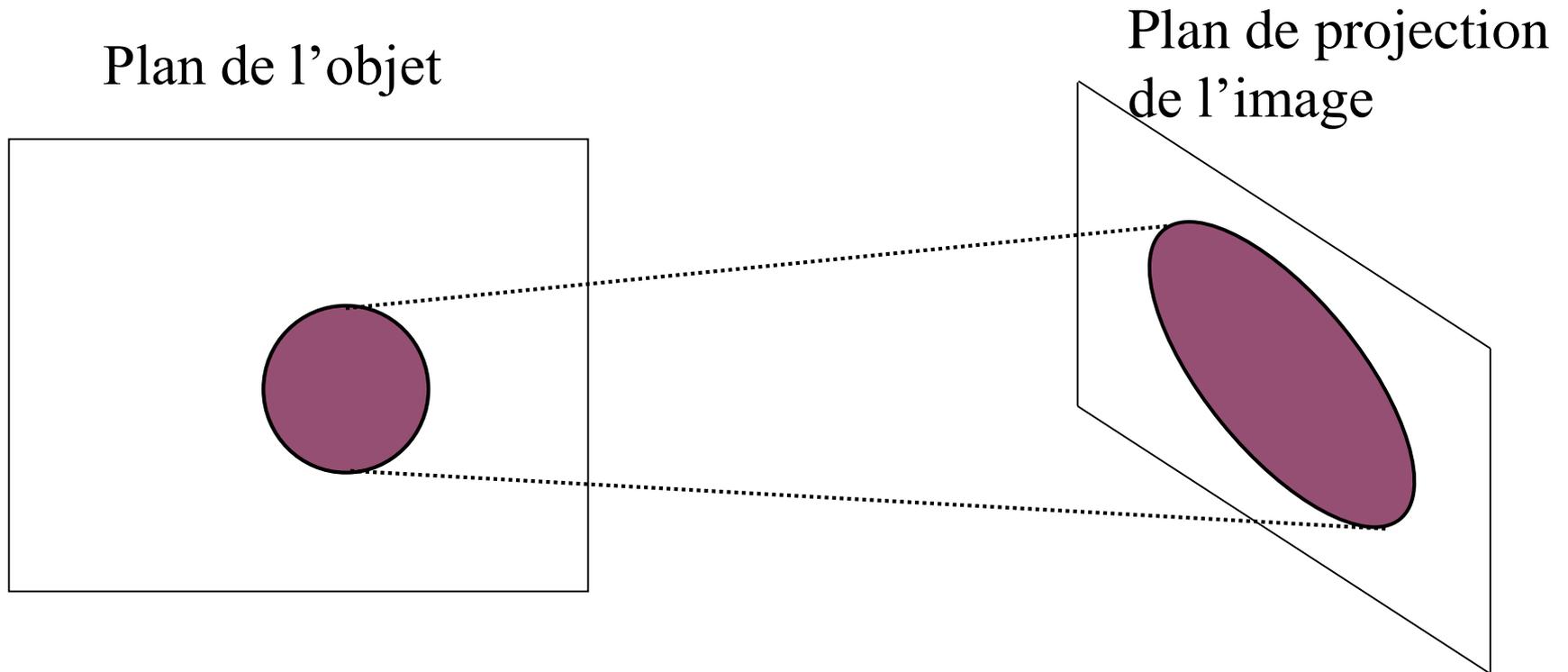
CONTRÔLE DE LA PRÉCISION

- 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

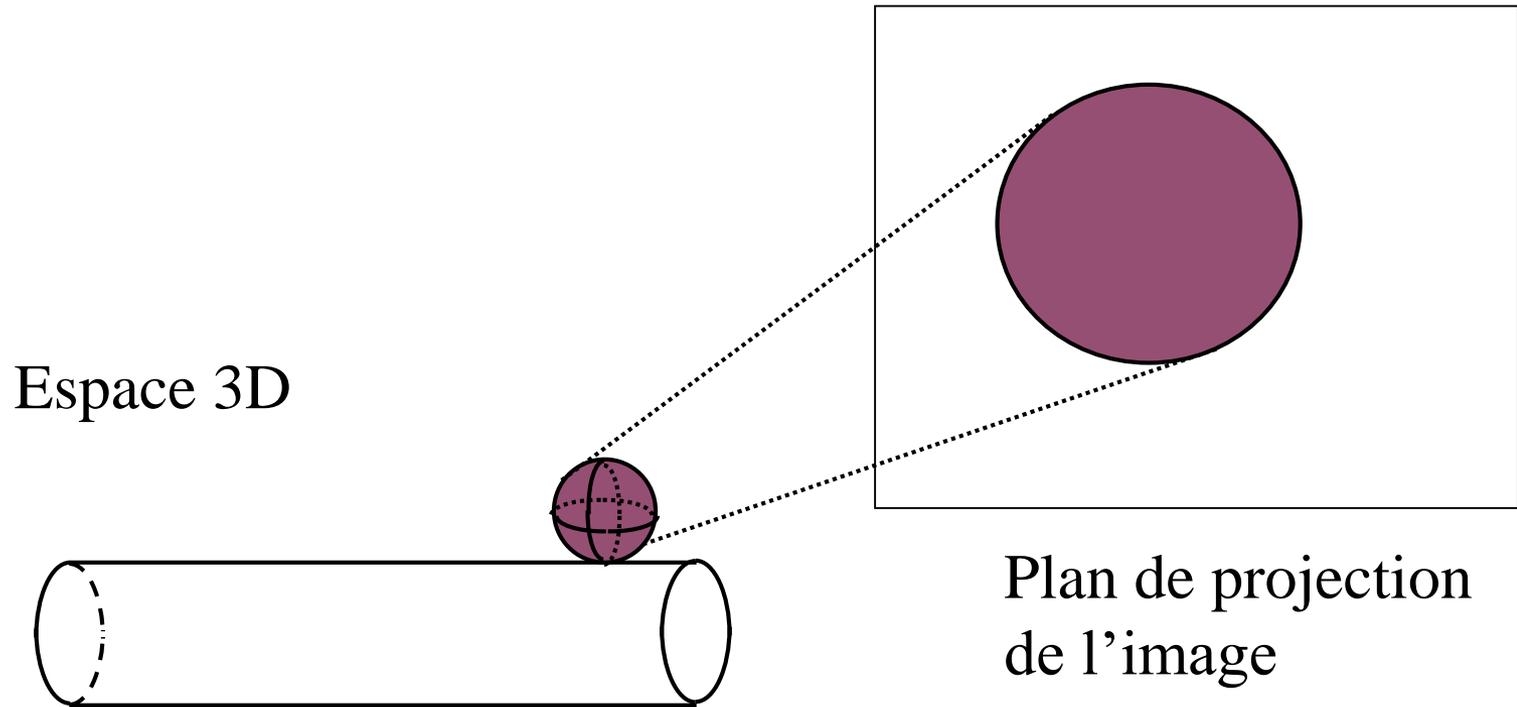
- Cette précision dépend :
 - de la forme des marqueurs
 - de la sensibilité et de la résolution des caméras
 - des éventuelles occultations des marqueurs

MARQUEURS PLANAIRES



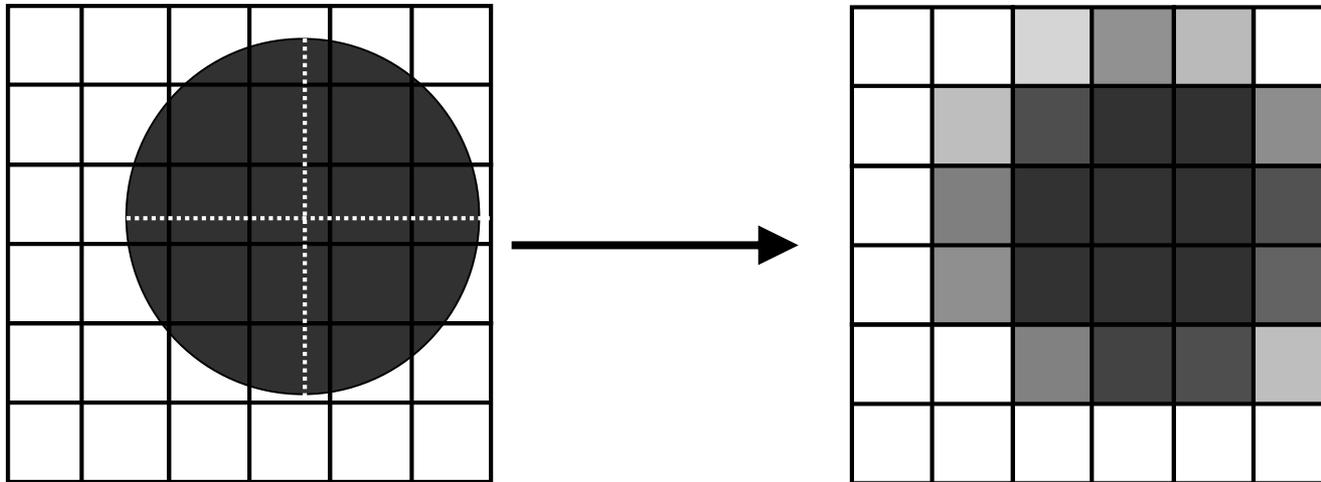
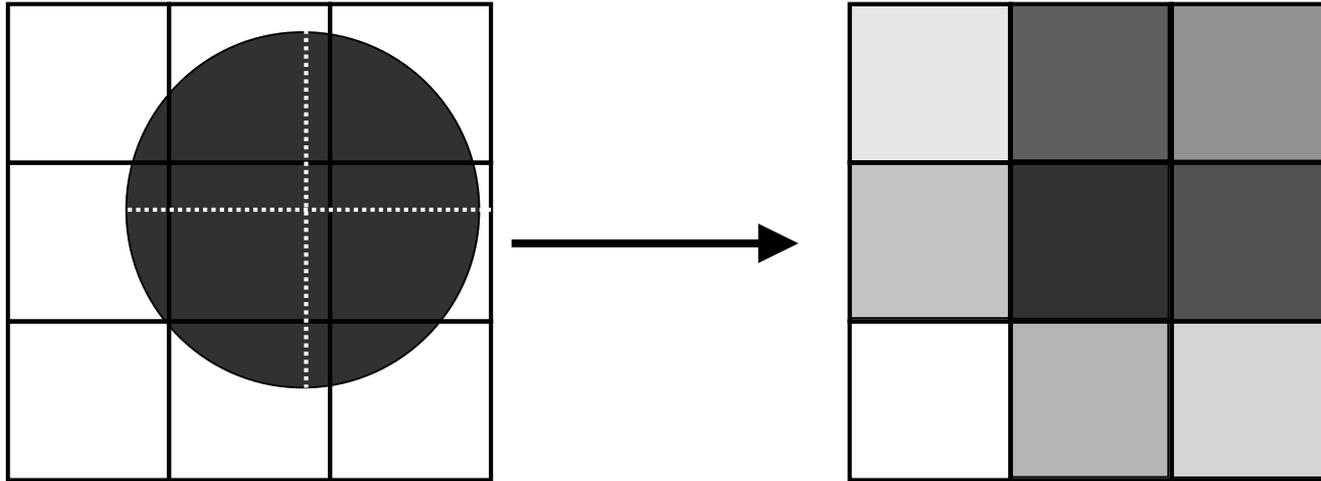
Un disque plan se projette suivant une ellipse

MARQUEURS SPHÉRIQUES

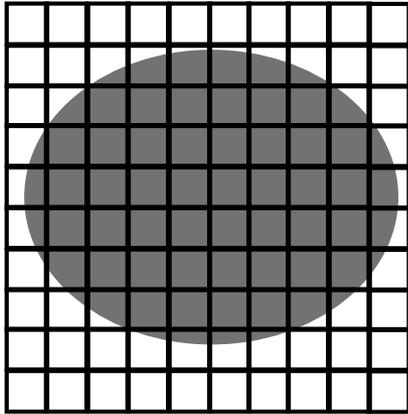


Une sphère se projette suivant un disque

NUMÉRISATION DE L'IMAGE



PRÉCISION SUB-PIXELIQUE



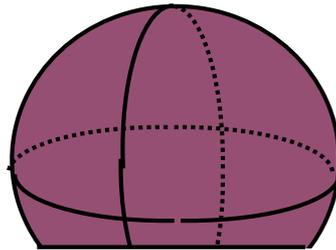
Centre de l'ellipse (tache)
=
Position moyenne des pixels

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

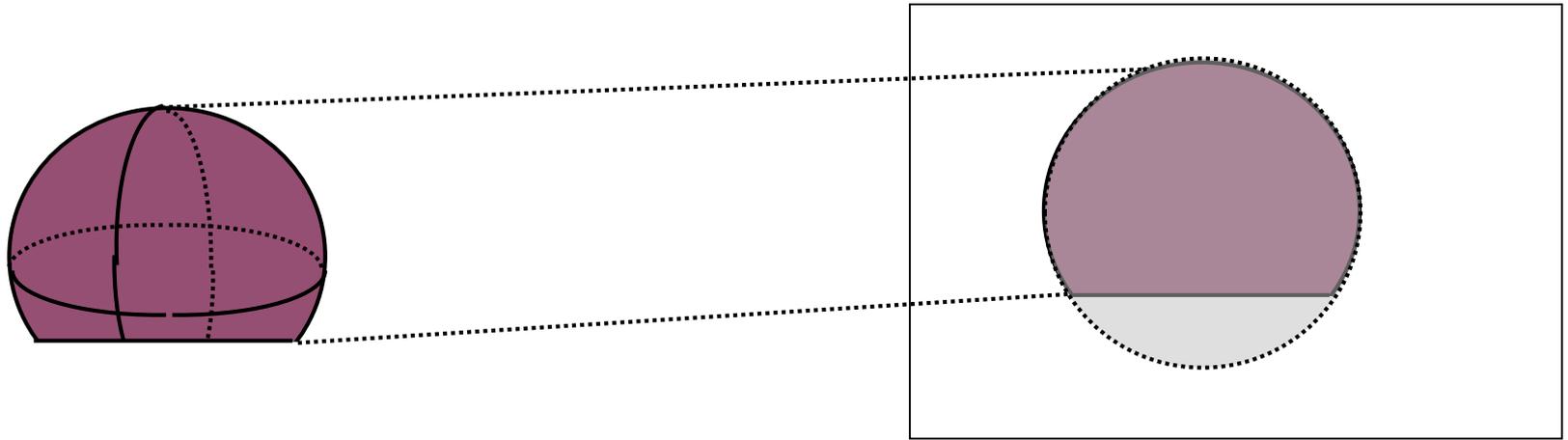
LES MARQUEURS EN PRATIQUE

- Pour disposer d'une surface de collage, les sphères ne sont pas complètes (ou alors avec tige de fixation)

- Selon les vues la projection est ou non un disque

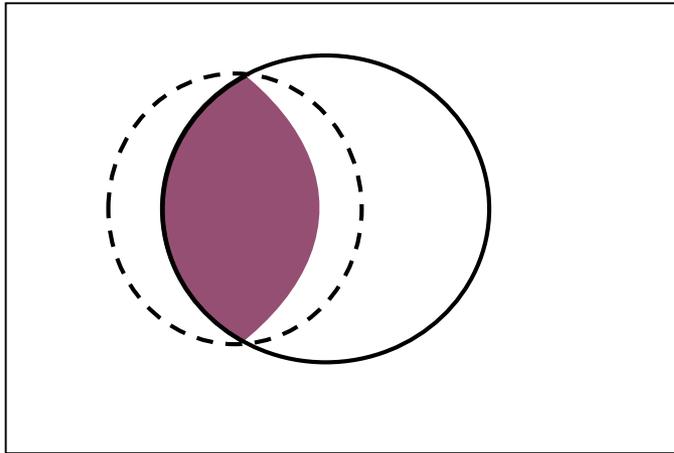


LES MARQUEURS EN PRATIQUE

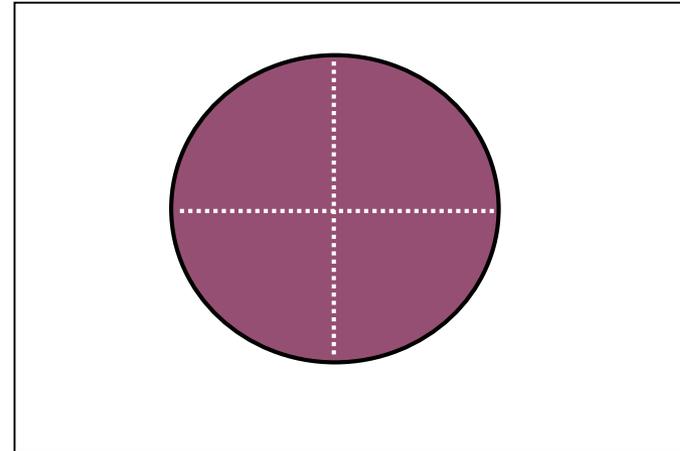


Lorsque la projection ne fournit pas un disque complet,
le logiciel essaie de plaquer un disque complet sur le disque partiel

LES MARQUEURS EN PRATIQUE



Projection du marqueur et estimation de sa position par un disque



Position réelle du marqueur

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

PRÉCISION DE LA RECONSTRUCTION 3D

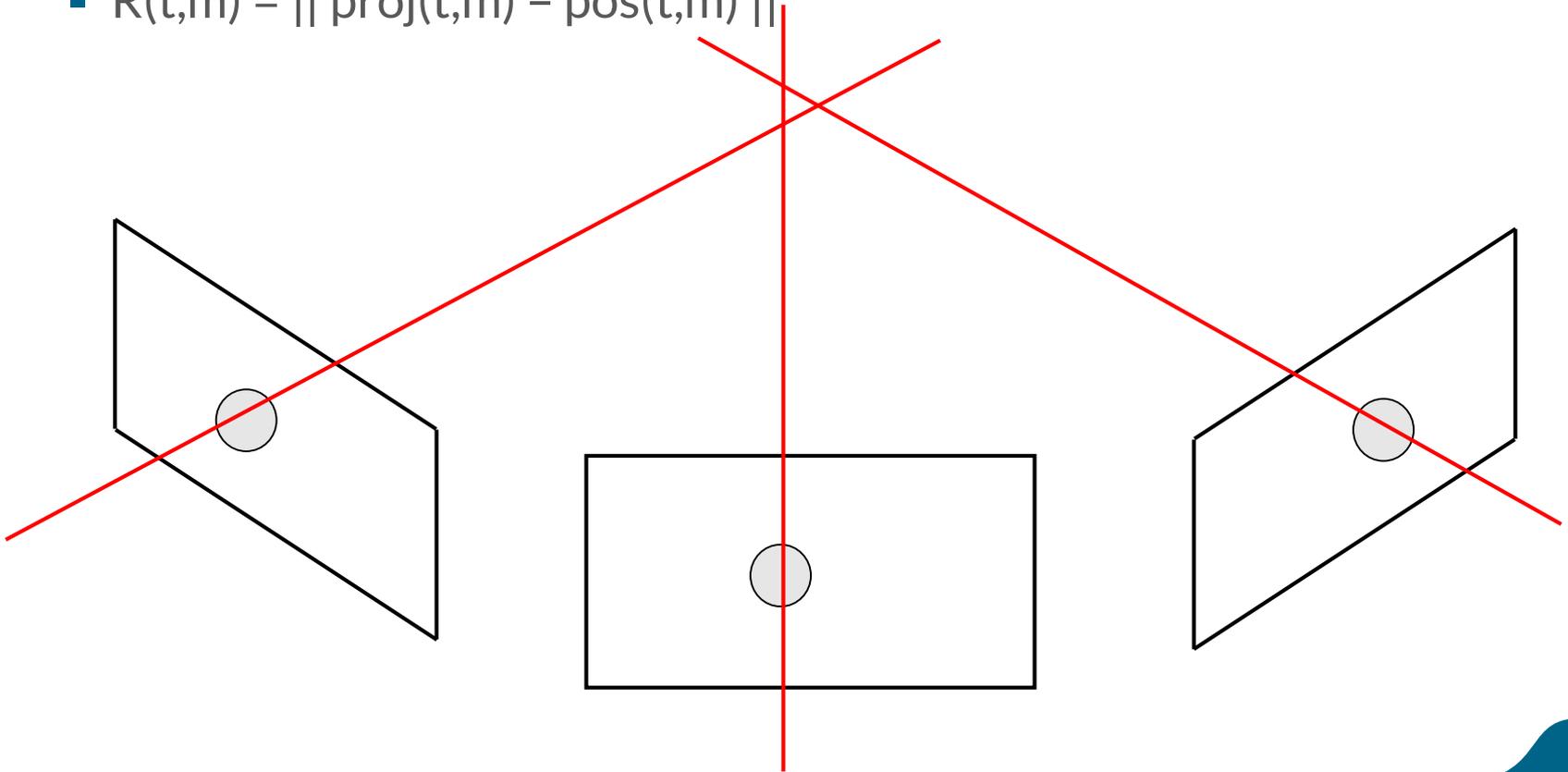
- Cette précision dépend :
 - de la finesse de la calibration
 - du nombre de caméras par lesquelles est observé le marqueur

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, $2 N$ 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

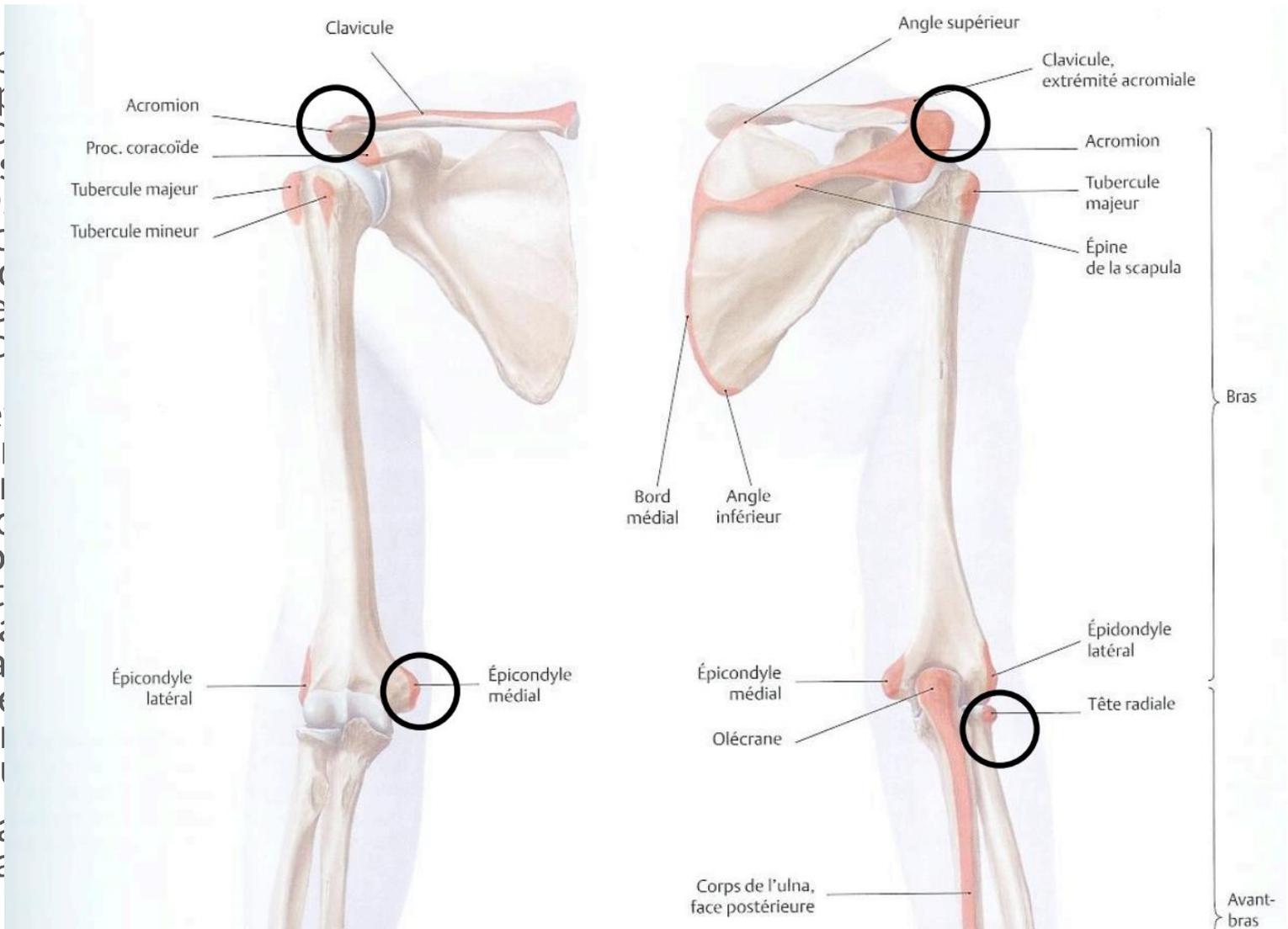
PLACEMENT DES MARQUEURS EXTERNES

- 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 : ép
- RBWT : ép
- RSHO : ac
- RFHD : O
- RBHD : O
- CLAV : Inc
- STRN : pro
- C7 : proce
- T10 : proc
- RHUM : é
- RRAD : têt
- RWRA : pi
- RWRB : pi
- RCAR : tro
- RKNE : co
- RKNI : têt
- RANE : ma
- RANI : ma
- RHEE : pte
- RTOE : aci
- RTAR : pli

- RBAC : ma
- RUPA : ma
- RTHI : ma



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	34.77	36.74	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

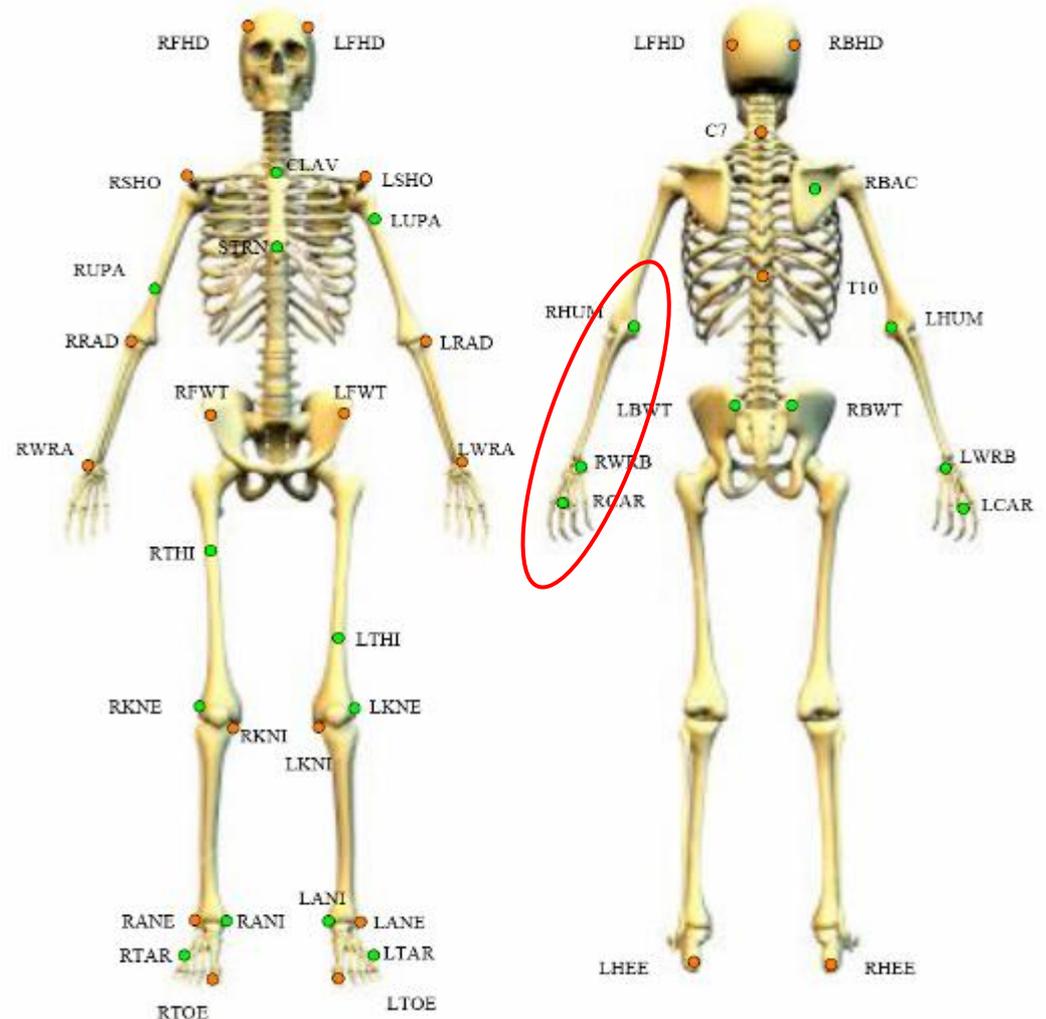
DeLeva et al. 1996

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

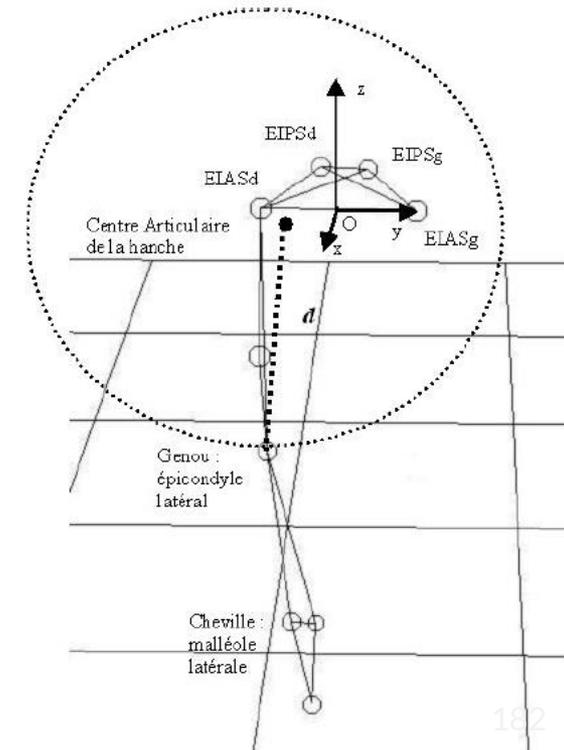
- Exemple de calcul de l'épaule d'après Reed et al., 1999
 - Homme
 - $\text{rightShoulderX} = \text{RSHOx}$
 - $\text{rightShoulderY} = \text{RSHOy} + \cos(11 \times \pi/180) \times 0,43 \times \text{norm}(\text{CLAV-C7})$
 - $\text{rightShoulderZ} = \text{RSHOz} + \sin(11 \times \pi/180) \times 0,43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

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

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

→ Obtenu avec le « Range of Motion »



TRAITEMENT DES DONNÉES

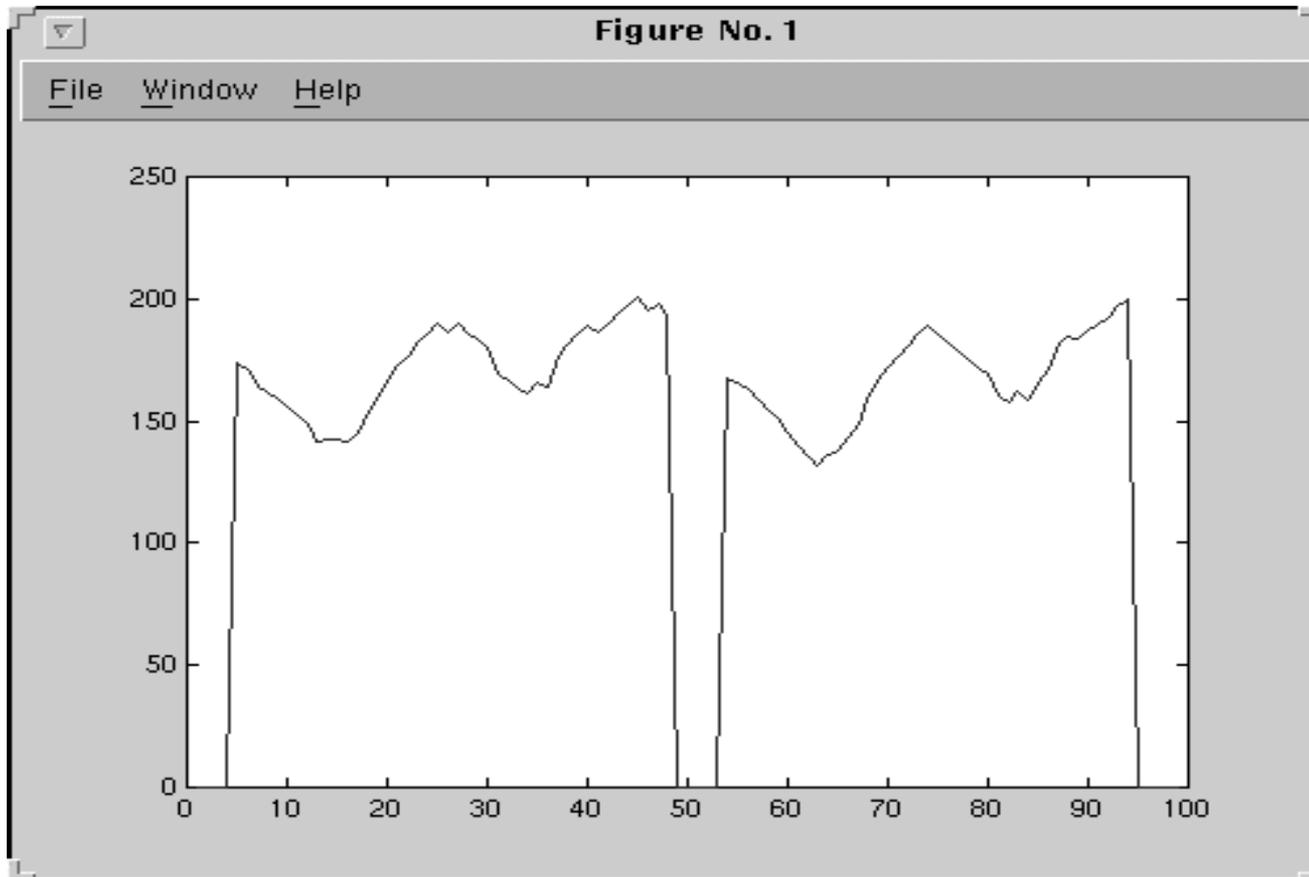
Correction des données

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

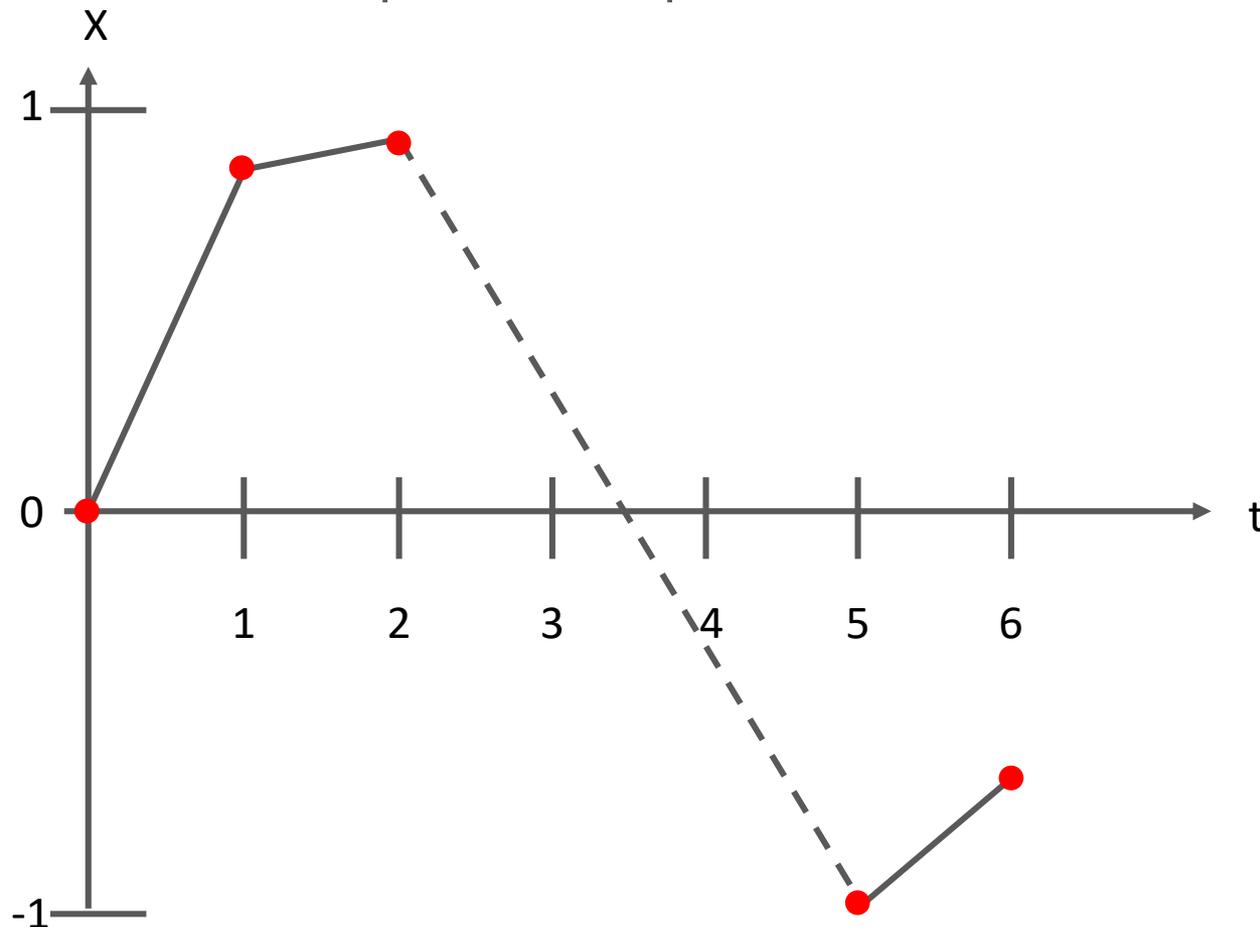


PRINCIPE DE LA CORRECTION

- 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

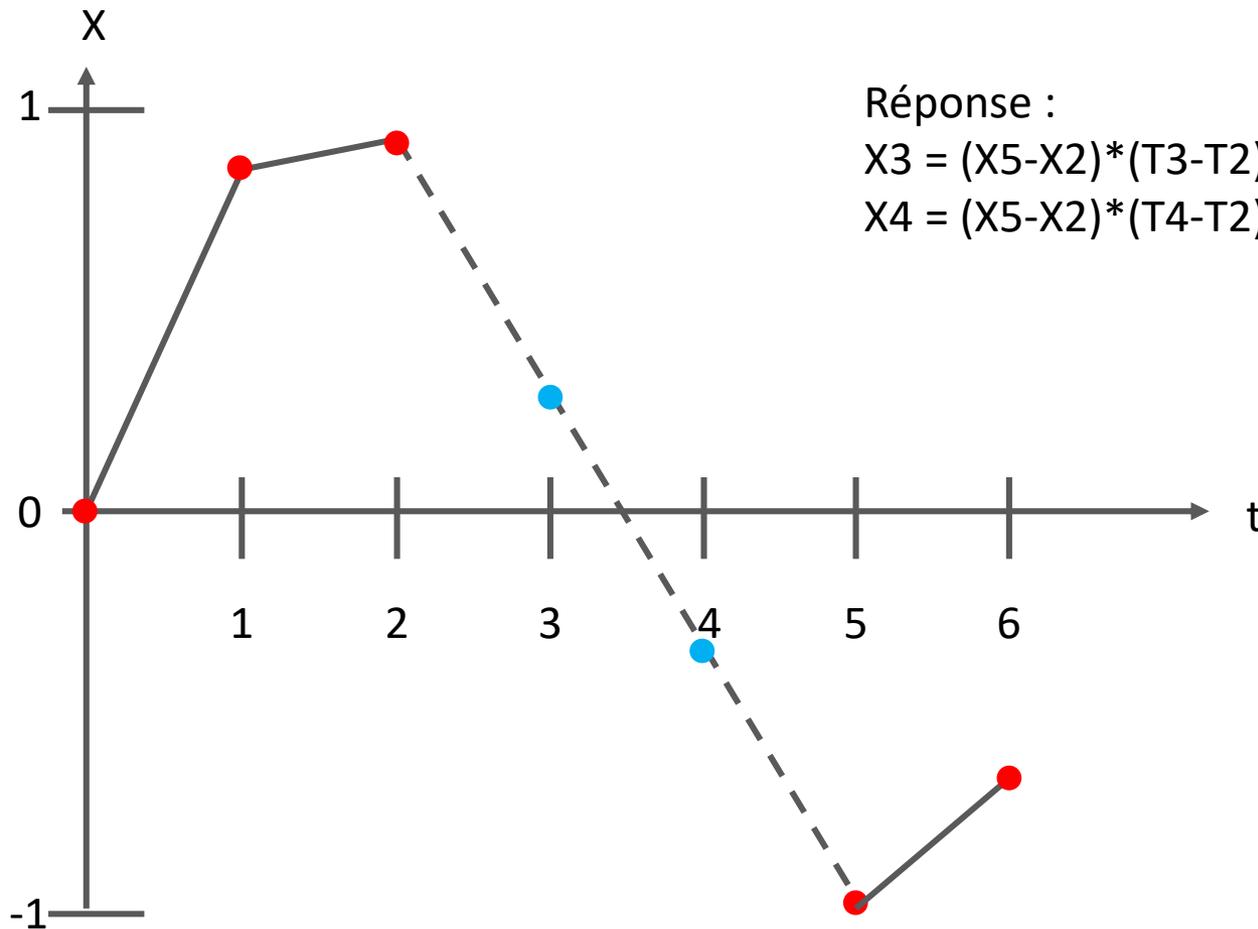
INTERPOLATION LINÉAIRE

- 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

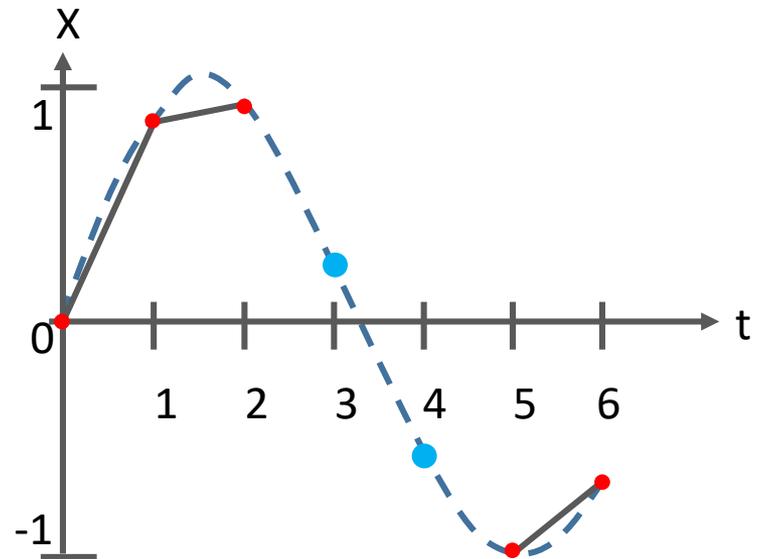
- On cherche le polynôme qui représente toute la courbe
 - N points (t_i, X_i)

- Polynôme sous forme : exemple degré 3

- $y = ax^3+bx^2+cx+d$

- On obtient un système

$$\begin{cases} X_1 = at_1^3+bt_1^2+ct_1+d \\ X_2 = at_2^3+bt_2^2+ct_2+d \\ \dots \end{cases}$$



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

$$\begin{array}{l} \left| \begin{array}{c} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ \dots \\ Y_m \end{array} \right| = \left| \begin{array}{cccccc} 1 & X_1 & X_1^2 & \dots & X_1^n \\ 1 & X_2 & X_2^2 & \dots & X_2^n \\ 1 & X_3 & X_3^2 & \dots & X_3^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & X_m & X_m^2 & \dots & X_m^n \end{array} \right| * \left| \begin{array}{c} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_n \end{array} \right| \end{array}$$

- $Y=C*a$

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

$$C^+ * Y = a$$

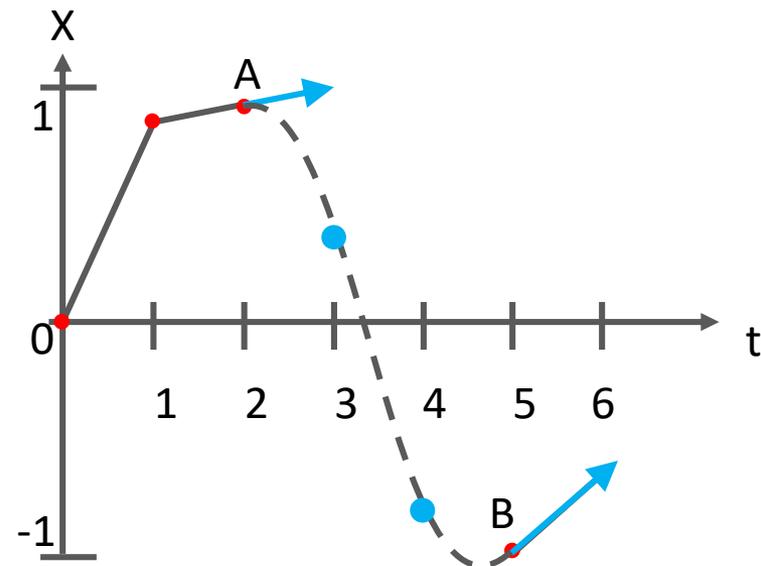
$$\text{avec } C^+ = (C^T C)^{-1} C^T$$

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

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

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

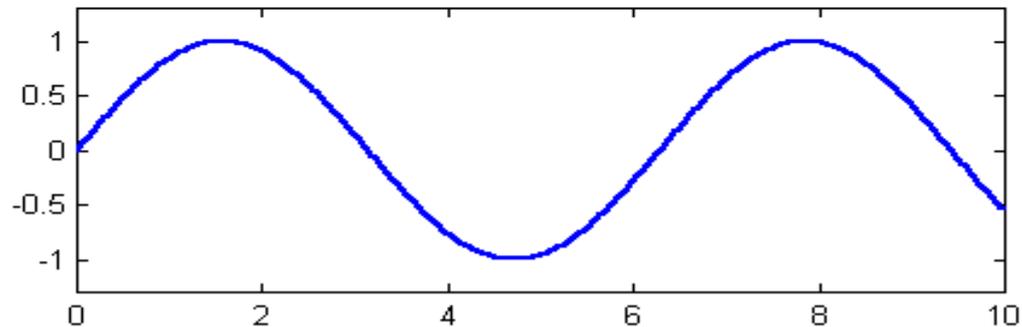
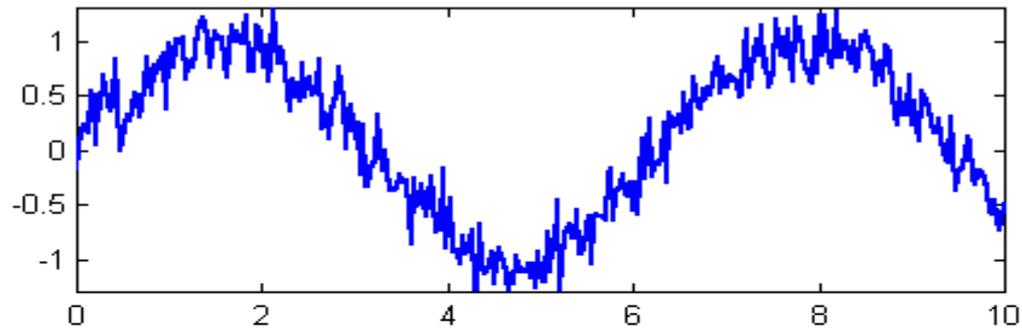


INTERPOLATION POLYNOMIALE

- 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

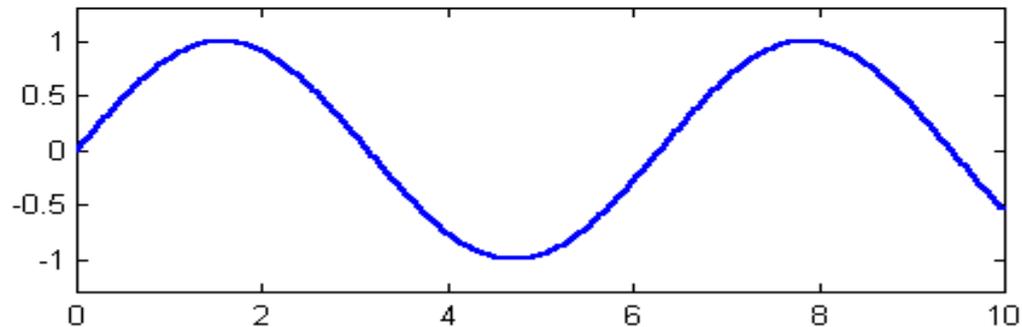
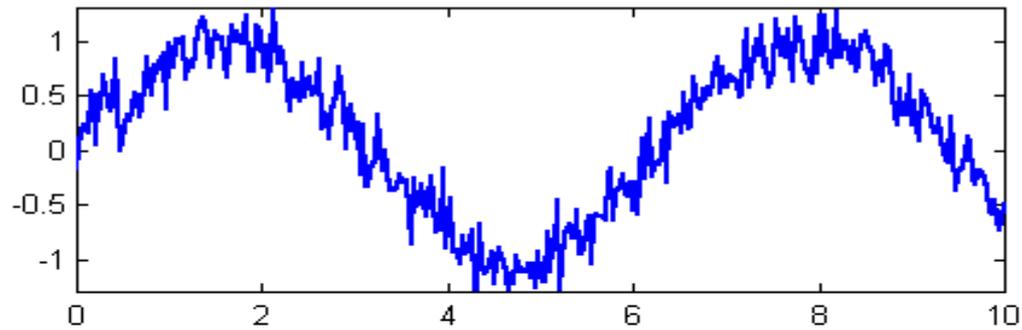
FILTRAGE DES DONNÉES

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



FILTRAGE DES DONNÉES

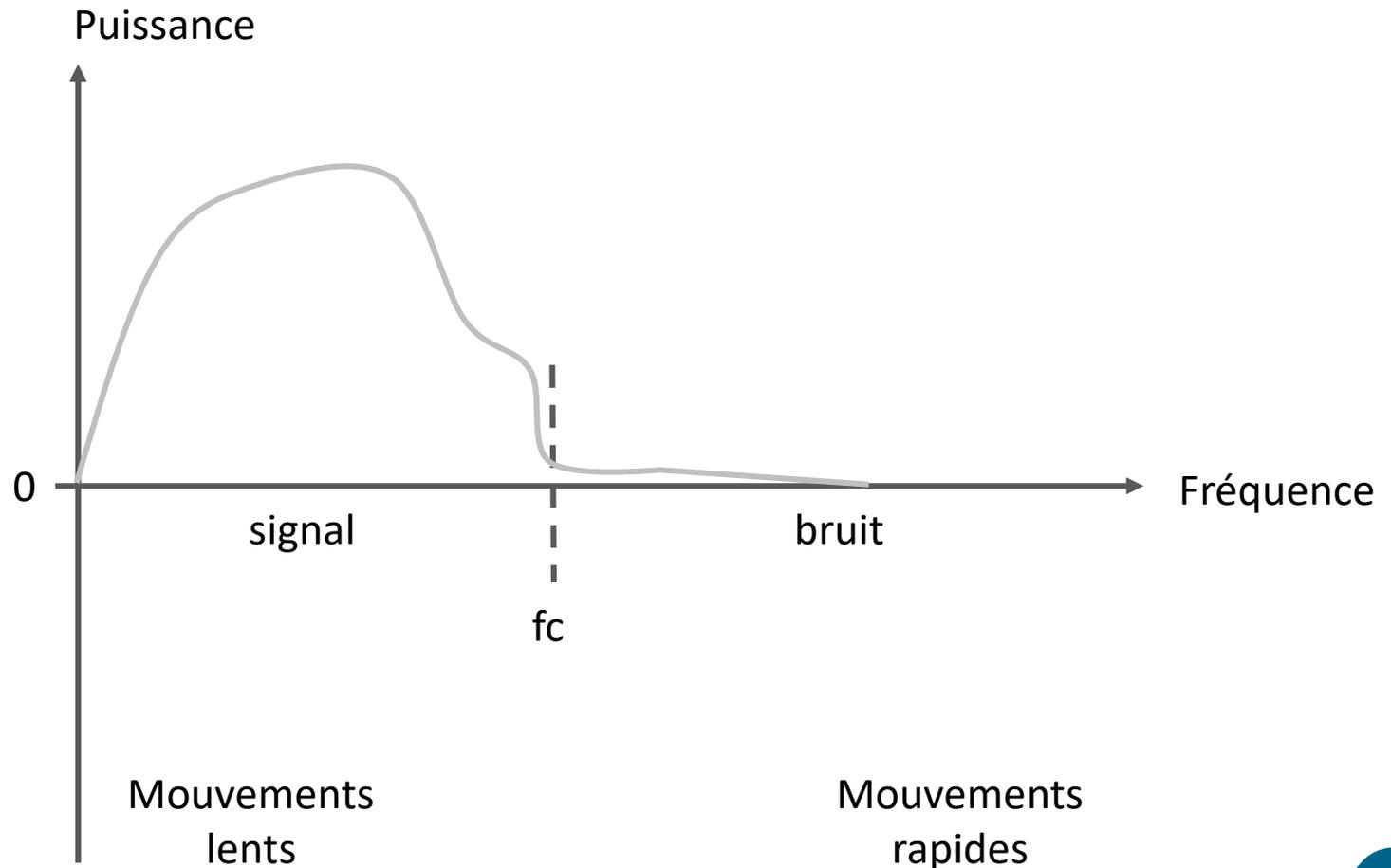
- On peut utiliser une modélisation polynomiale
 - Pas générique, besoin de trouver le degré du polynôme



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 (f_s) et la fréquence de coupure (f_c).

$$\omega c = \tan(\pi f_c / f_s)$$

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

$$K2 = \omega c^2$$

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

$$a_1 = 2a_0$$

$$a_2 = a_0$$

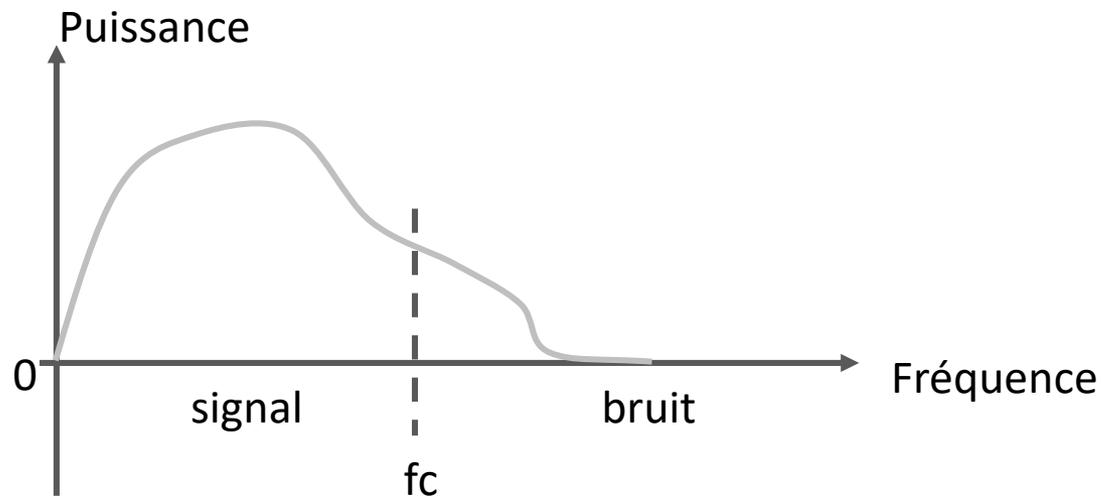
$$K3 = 2a_0 / K2$$

$$b_1 = -2a_0 + K3$$

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

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

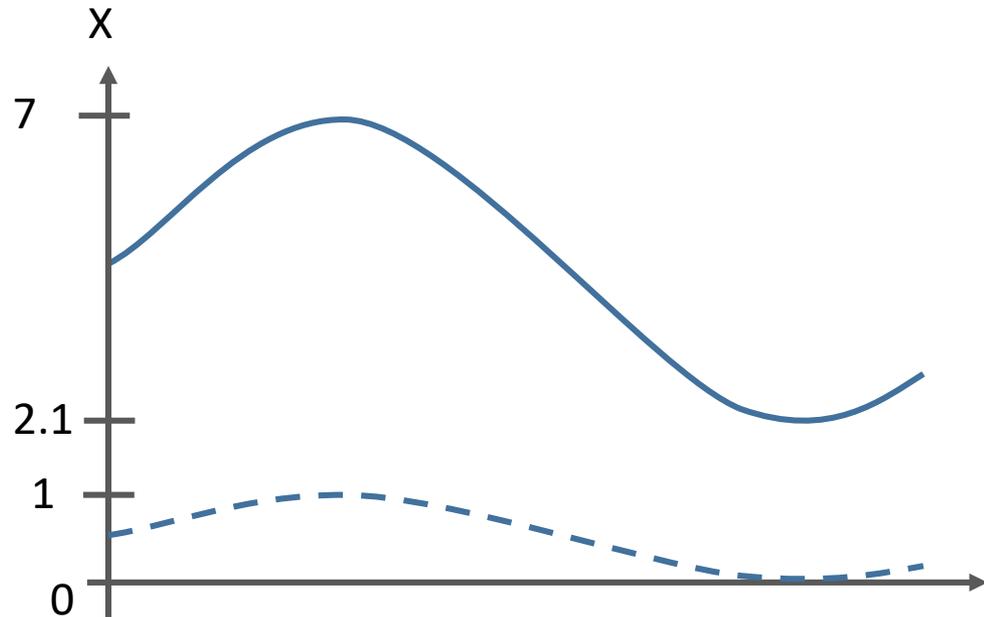
Choix des descripteurs

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

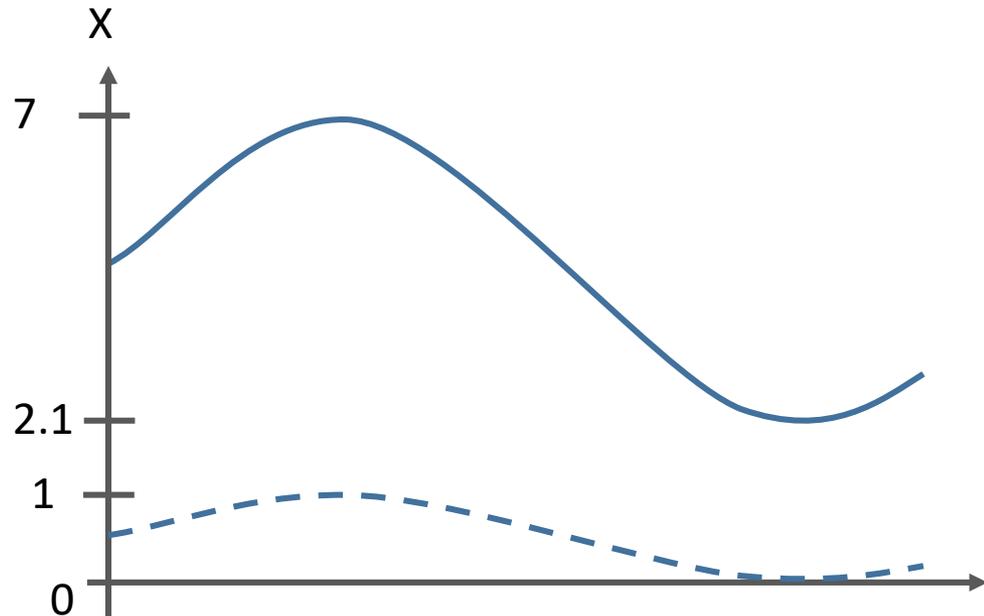
NORMALISATION DES DONNÉES

- 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 ?



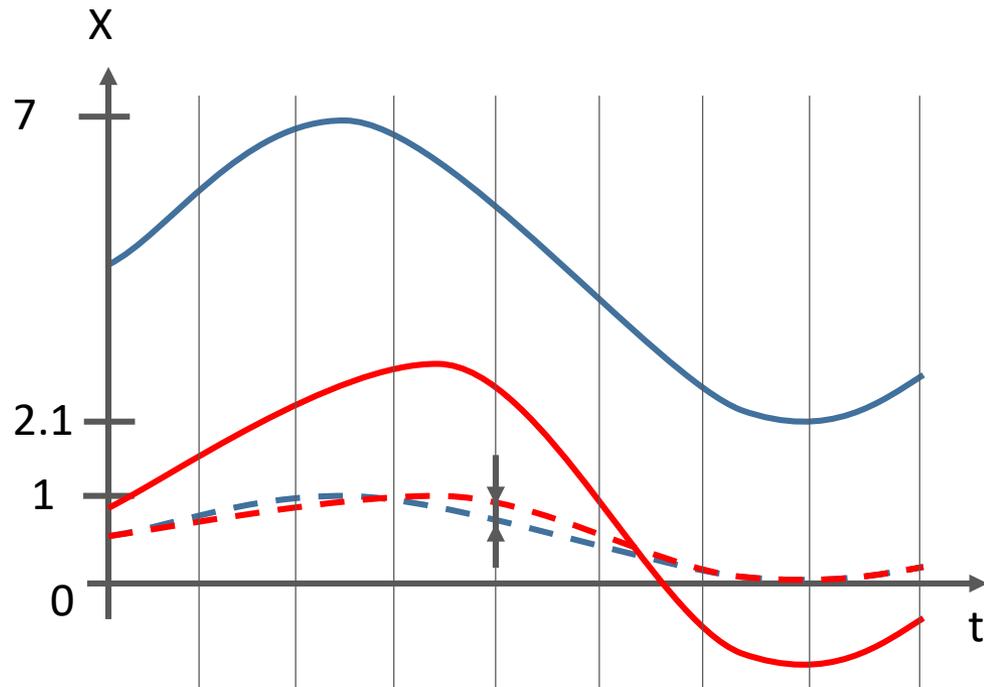
NORMALISATION DES DONNÉES

- 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 ?



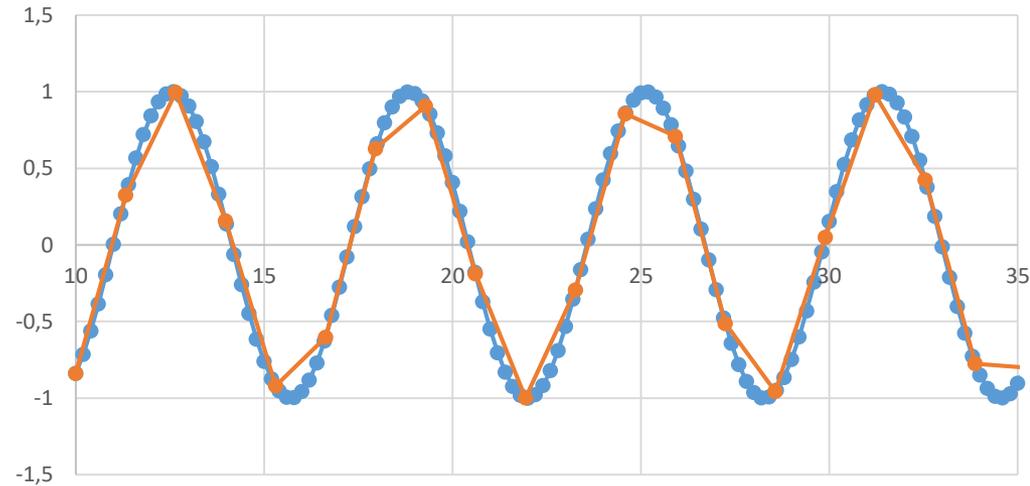
NORMALISATION TEMPORELLE

- 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'instantants
 - ⇒ Pas de comparaison directe possible

RÉÉCHANTILLONNAGE

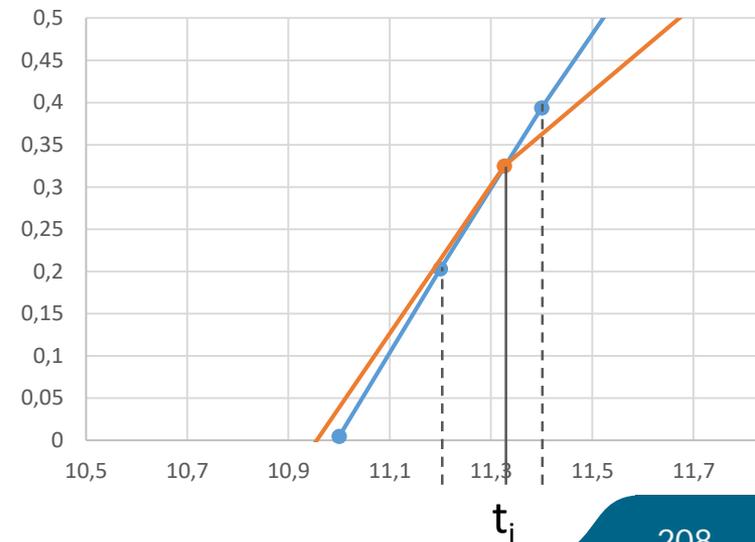
- Il faut rééchantillonner : redécouper le signal

- 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 un nombre de valeurs souhaité
 - $t'_i = (t_n - t_0) / (nbVal - 1) * i + t_0$
- Trouver l'intervalle de temps entourant ces instants
- Faire l'interpolation sur ces intervalles

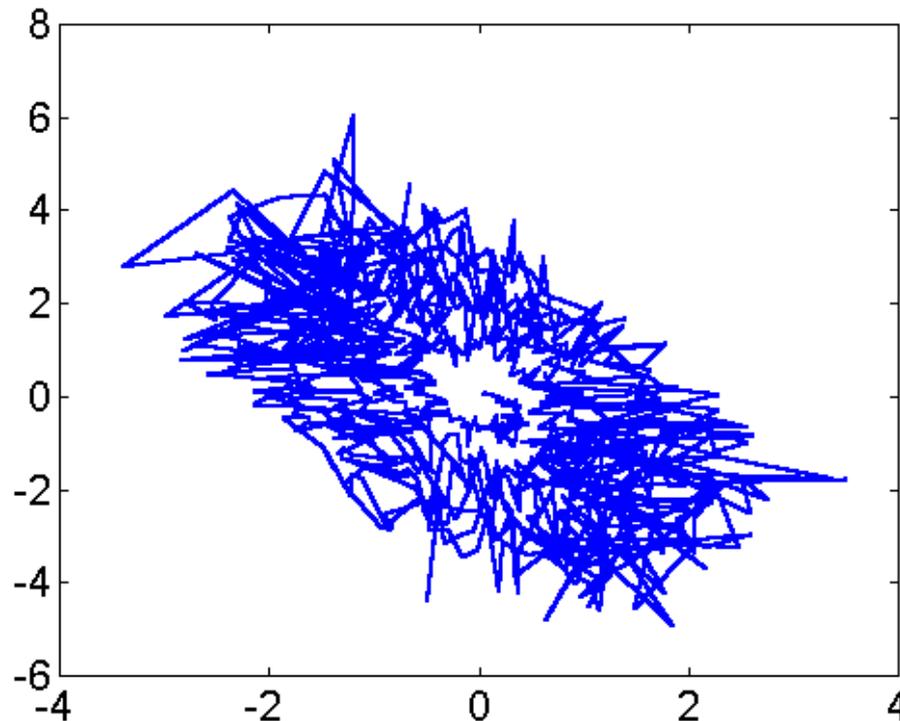


REPRÉSENTATION DES DONNÉES

- 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 ?

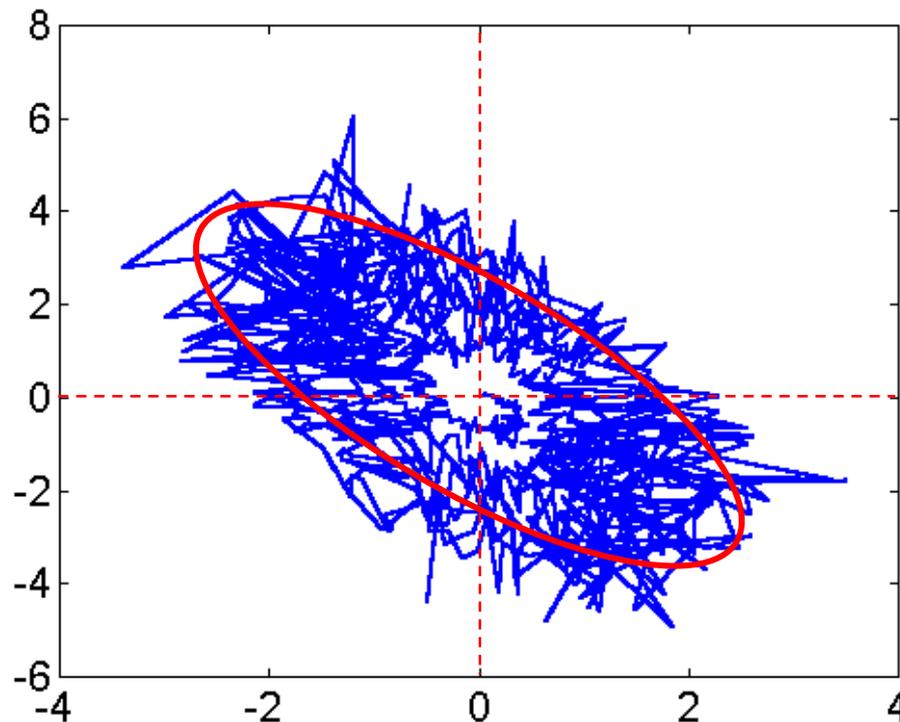
REPRÉSENTATION DE DONNÉES

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



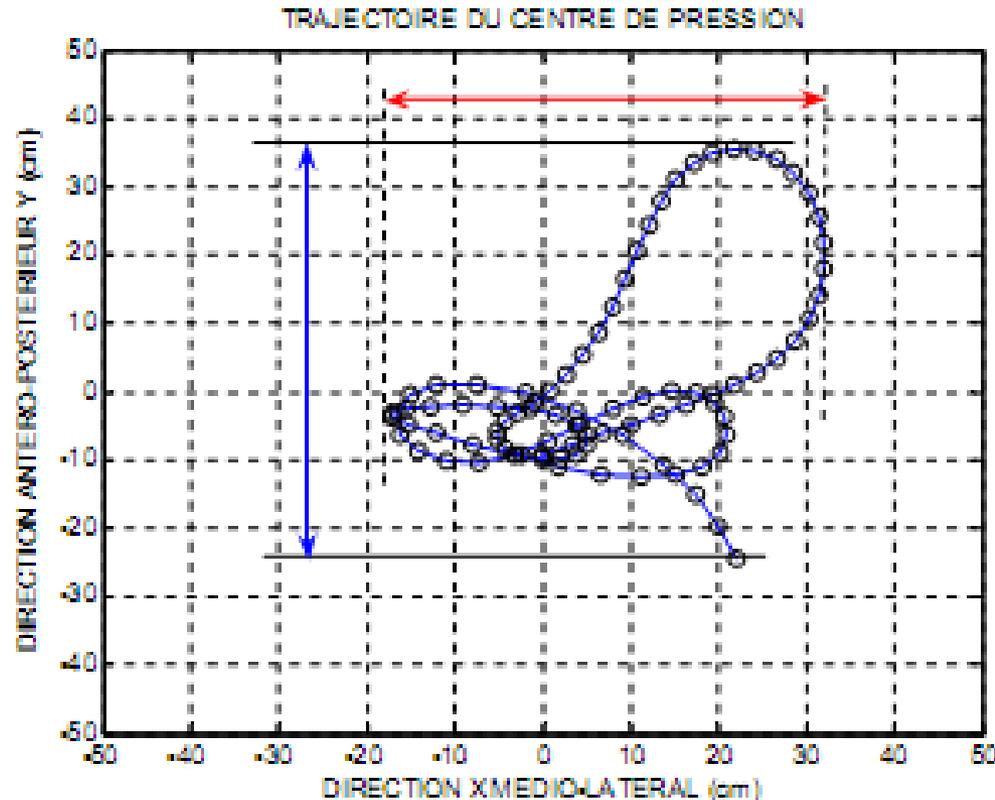
REPRÉSENTATION DE DONNÉES

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



REPRÉSENTATION DE DONNÉES

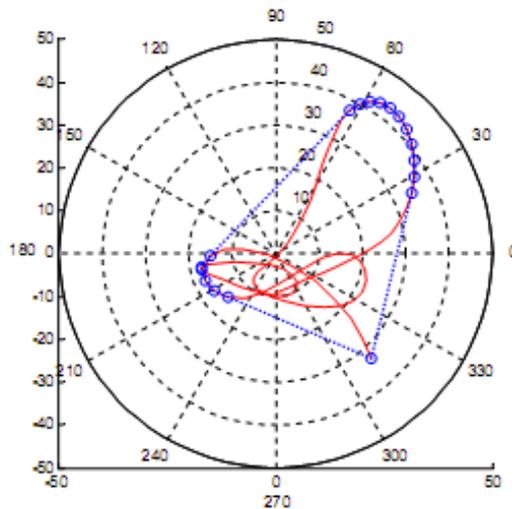
- Considérer la boîte englobante
 - Étendue max du COP
 - Selon les deux axes orthogonaux de la PFF : antéropostérieur et médiolatéral



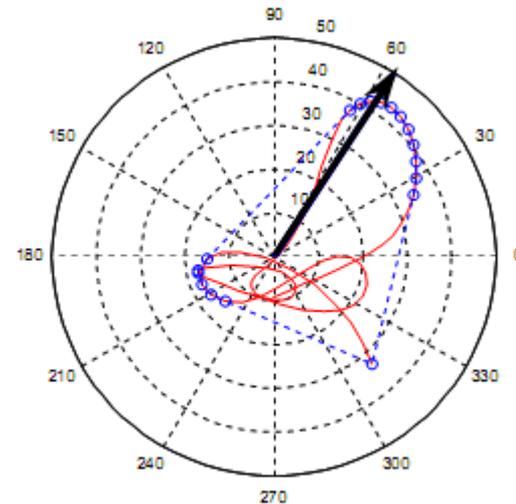
REPRÉSENTATION DE DONNÉES

- 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

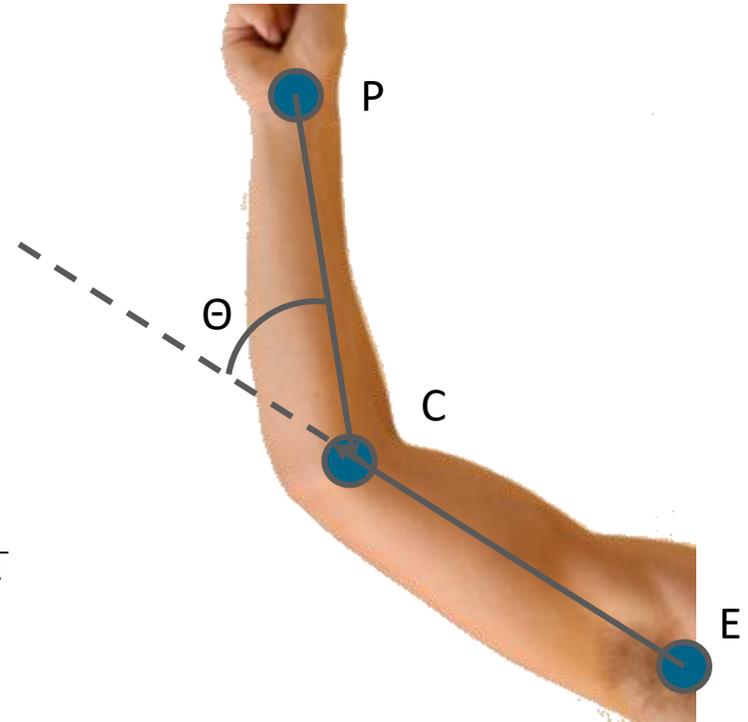
- On s'intéresse au mouvement du squelette
- Donc aux articulations qui articulent les membres
- On peut utiliser
 - Positions des articulations (E, C, P)
 - Angles intersegmentaires

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

- Distances

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

- Autres ?



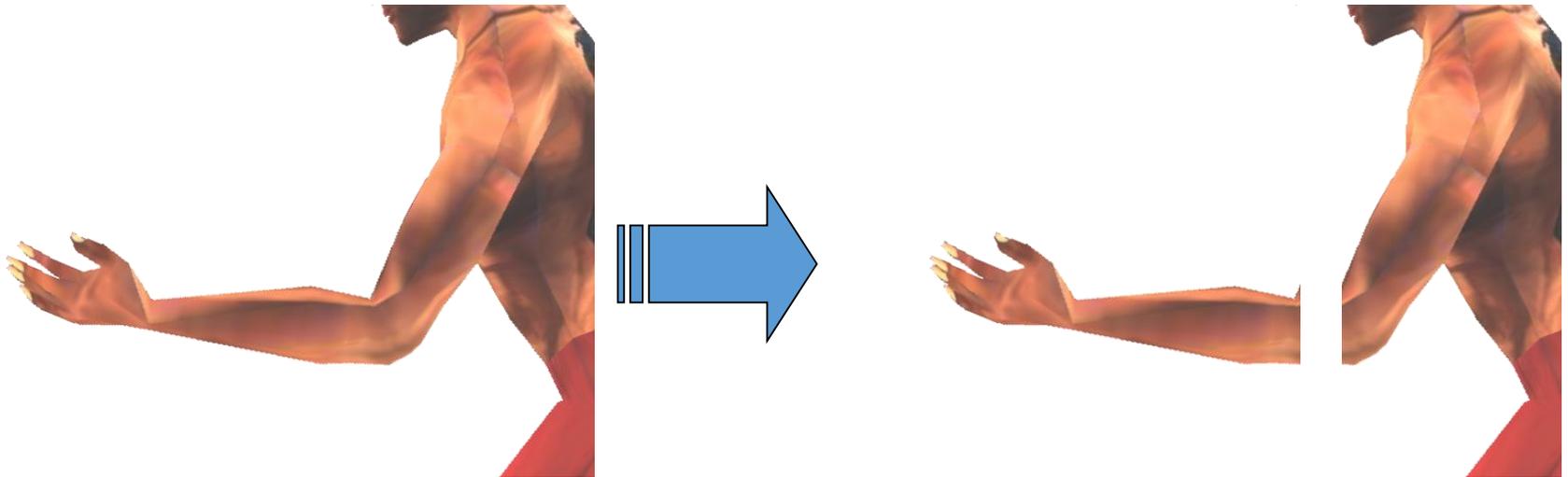
MODÉLISATION DU SQUELETTE

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



SQUELETTE

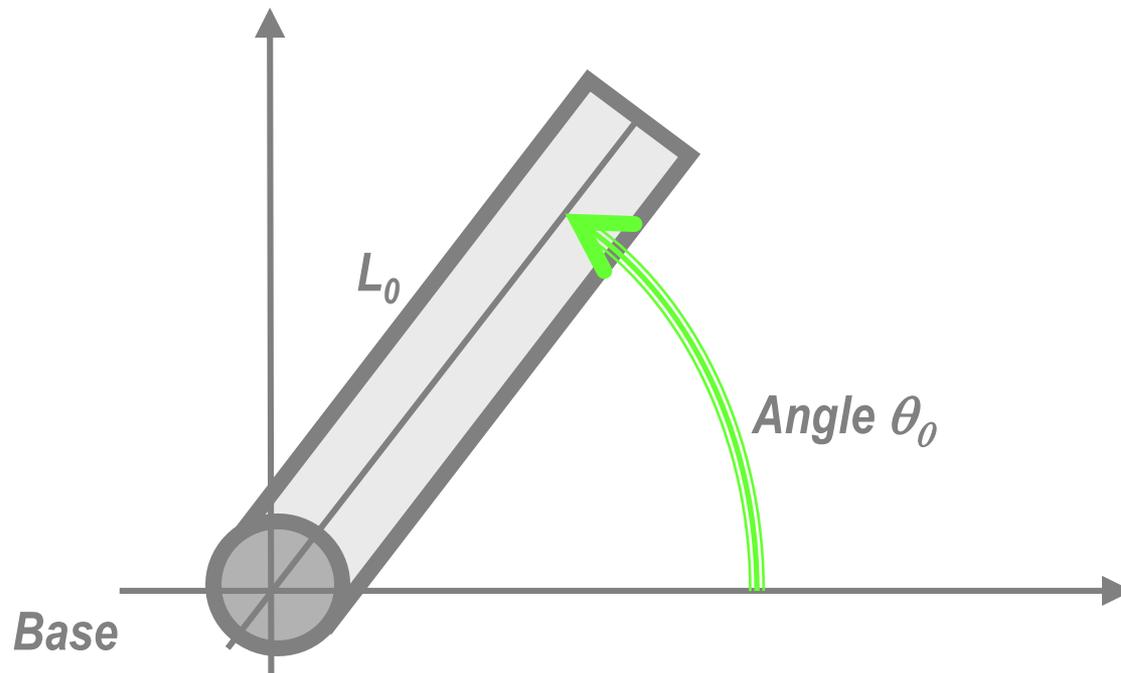
- Position ou angle ?
- Si on ne se base que sur les positions
 - Risque de démembrements



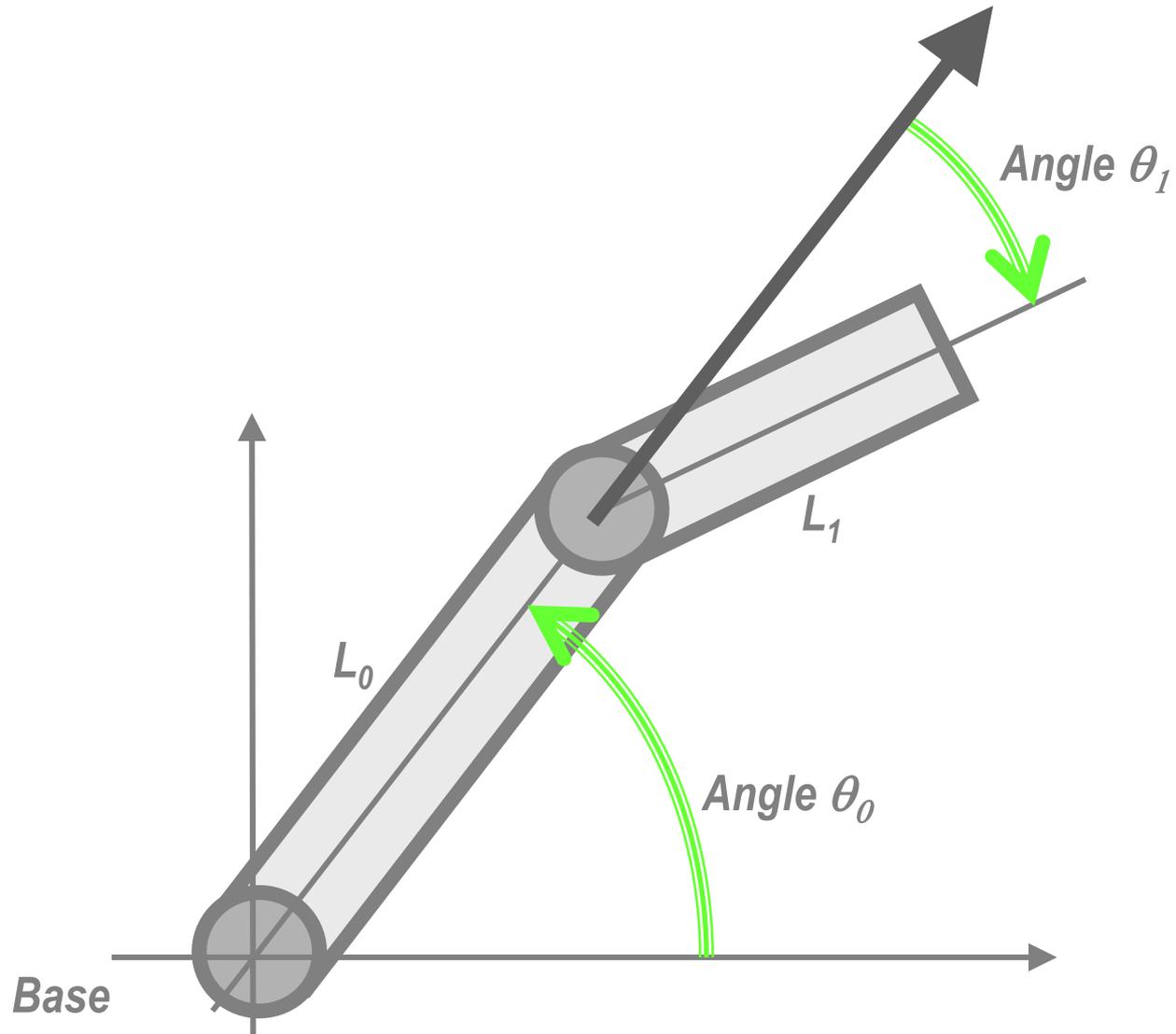
SQUELETTE

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

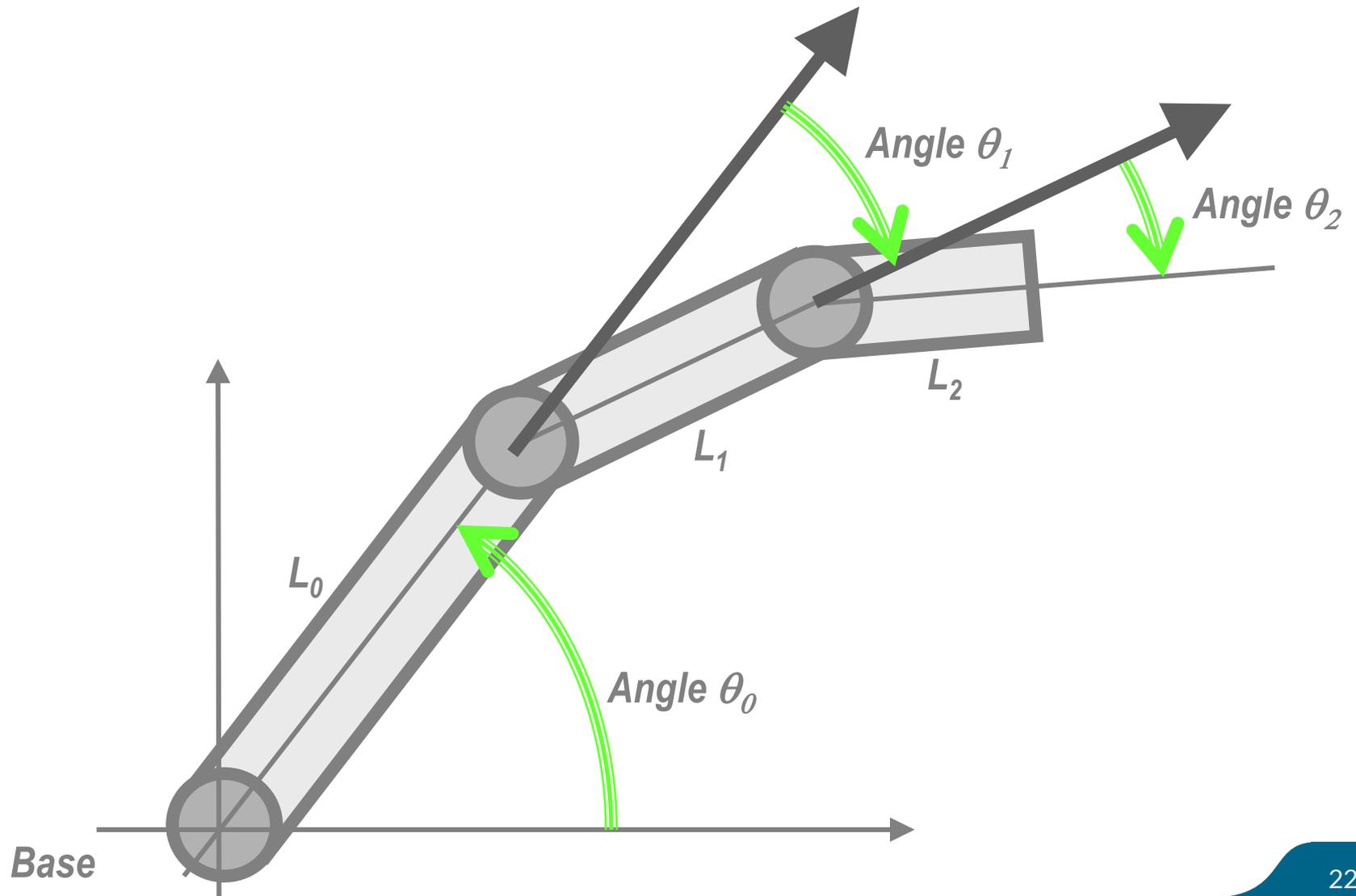
PREMIER SEGMENT



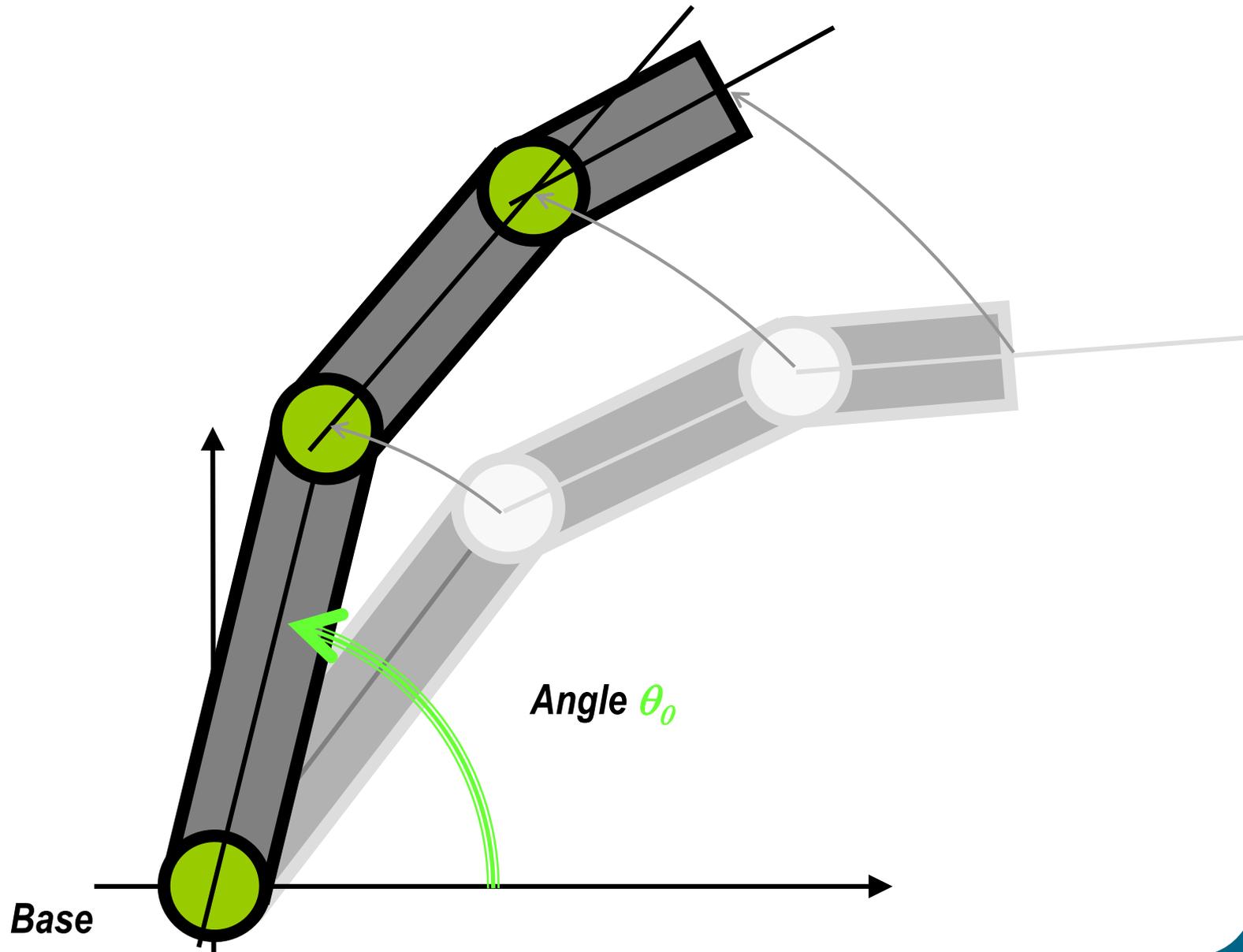
SECOND SEGMENT



TROISIEME SEGMENT

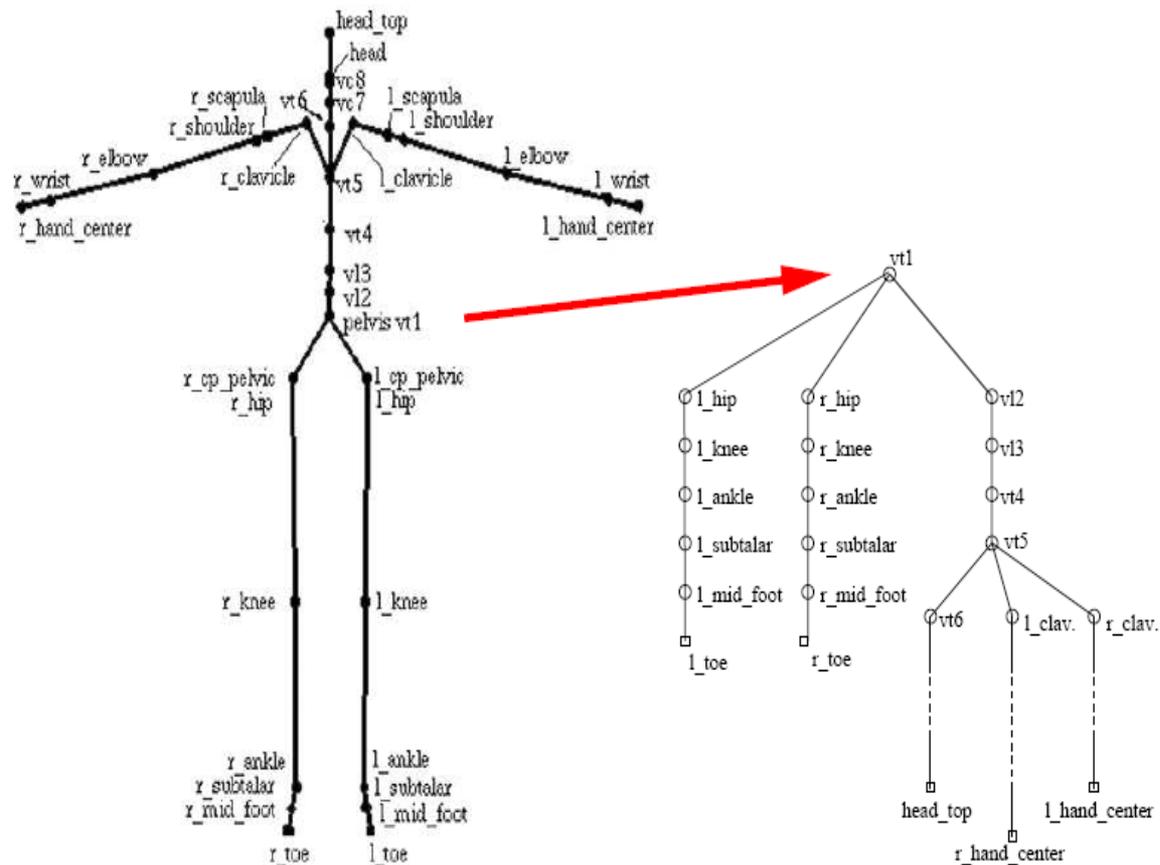


ROTATION DE LA CHAÎNE COMPLÈTE



MOUVEMENTS

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



REPRÉSENTATION CINÉMATIQUE

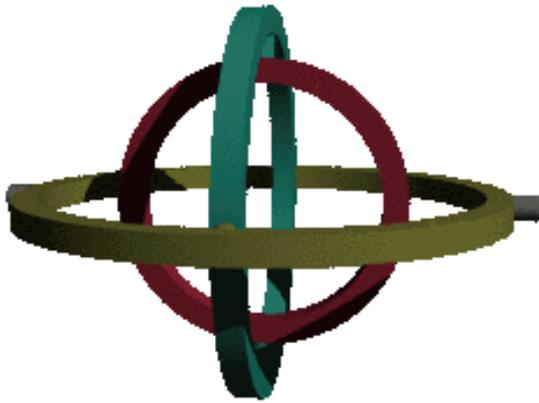
- Cohérence entre données globales et locales
 - Artefact des pieds qui glissent sur le sol
- Racine (root) : rotation ET translation globales !
- Posture

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

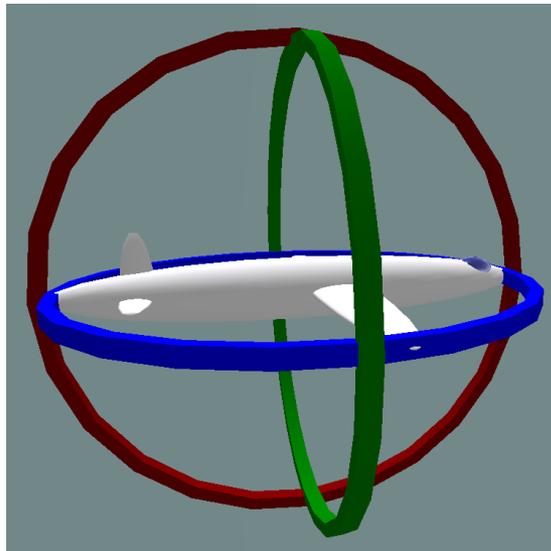


REPRÉSENTATION CINÉMATIQUE

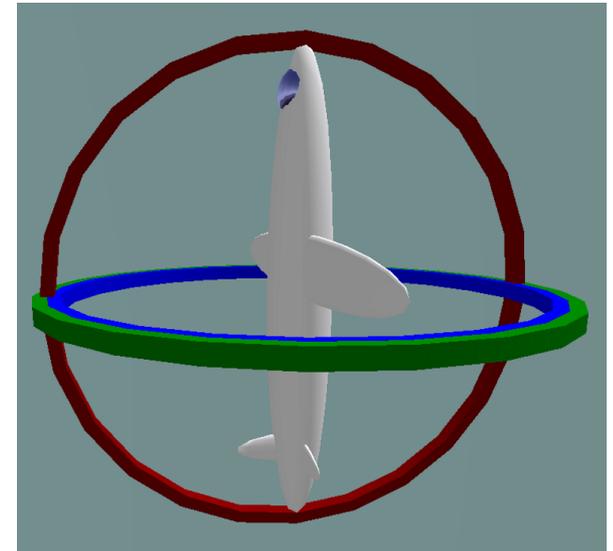
- Plusieurs représentations des angles
 - Angle d'Euler (matrice homogène)
 - Angle par axe
 - Problème du Gimbal Lock



3 axes indépendants



Rotation de 0°
3 DoF



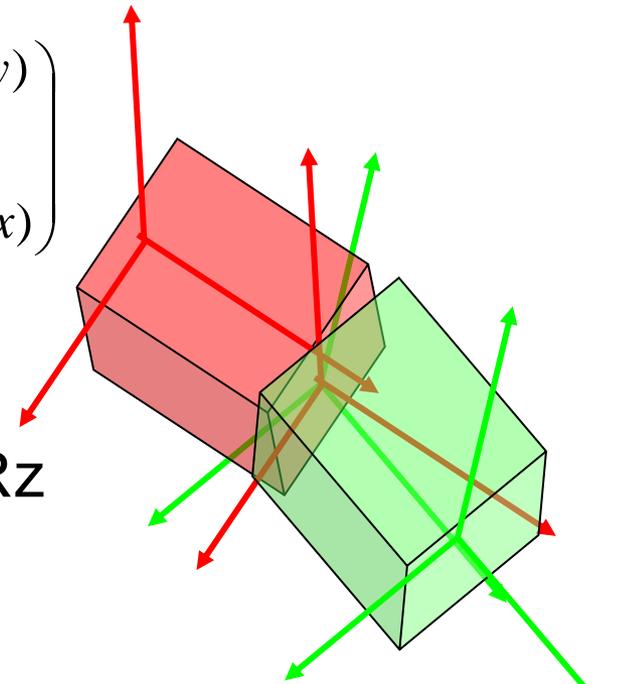
Rotation de 90°
Plus que 2 DoF

REPRÉSENTATION CINÉMATIQUE

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

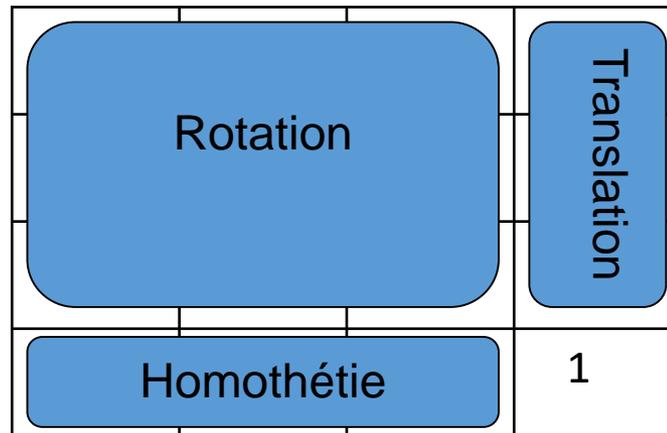
$$R_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta_x) & -\sin(\theta_x) \\ 0 & \sin(\theta_x) & \cos(\theta_x) \end{pmatrix} \quad R_y = \begin{pmatrix} \cos(\theta_y) & 0 & \sin(\theta_y) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta_y) & 0 & \cos(\theta_y) \end{pmatrix}$$

$$R_z = \begin{pmatrix} \cos(\theta_z) & -\sin(\theta_z) & 0 \\ \sin(\theta_z) & \cos(\theta_z) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad R_{\text{fils} \rightarrow \text{père}} = R_x \times R_y \times R_z$$



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

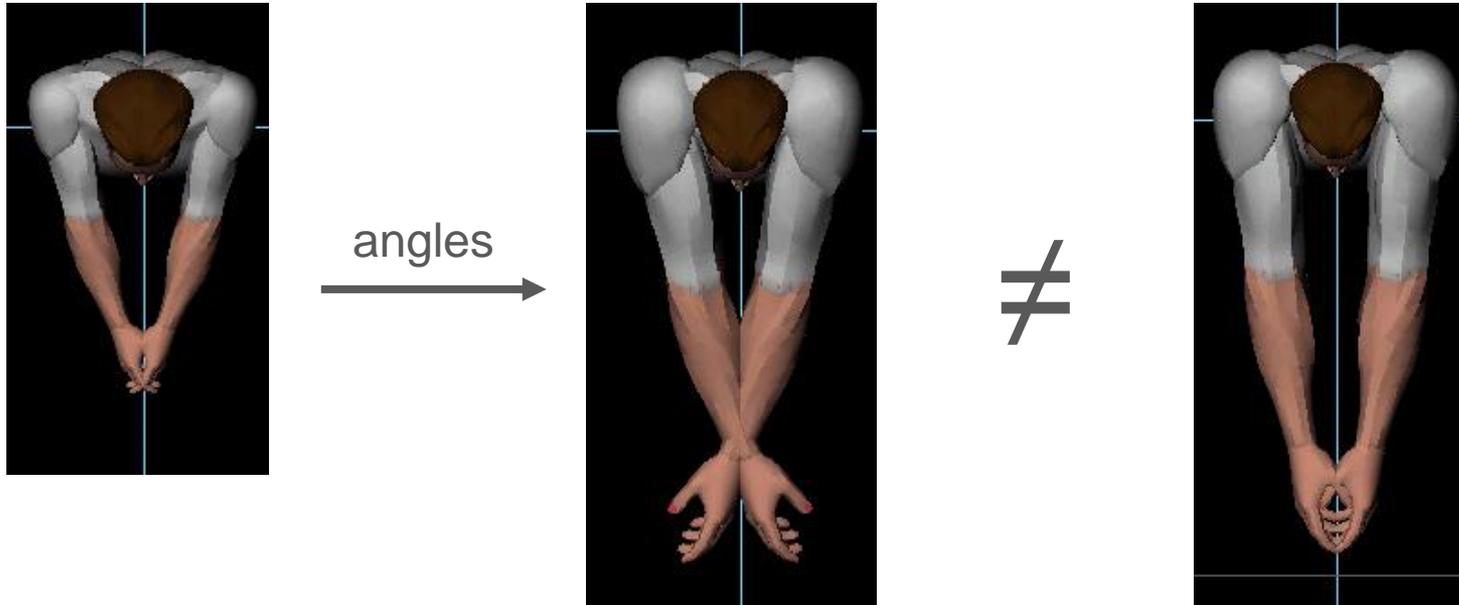
- Plusieurs représentations angulaires
 - Angle d'Euler (matrice homogène)
 - Angle par axe
 - Attention à l'ordre d'application des angles
 - Problème du Gimbal Lock
 - Quaternion
 - Représentation d'un angle avec 4 valeurs (x, y, z, w)
 - Peut être converti en axe de rotation + angle

ADAPTATION DE MOUVEMENTS

- Problème des angles ?

ADAPTATION DE MOUVEMENTS

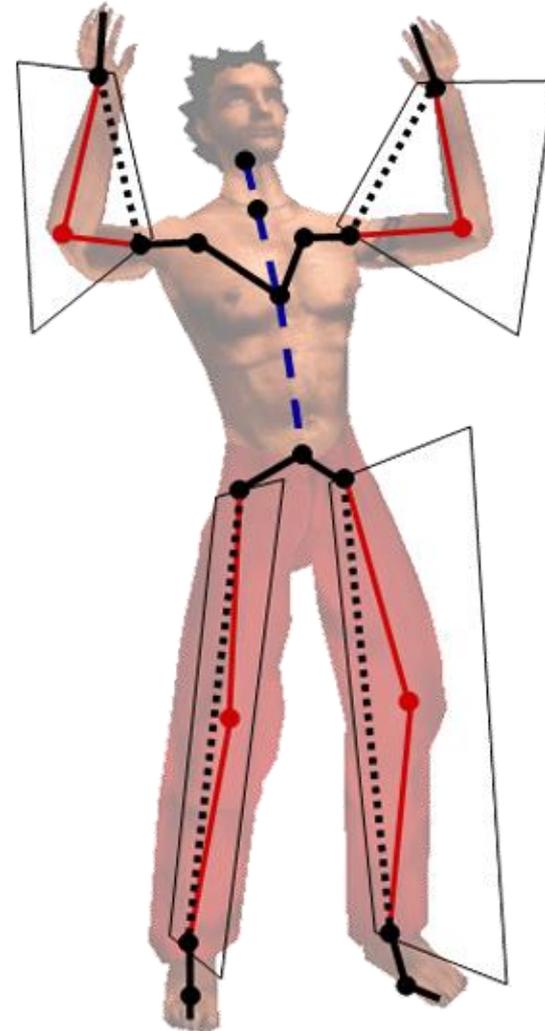
- Problème des angles : dépendant de la morphologie



- Autre représentation de mouvements ?
 - Représentation normalisée des données

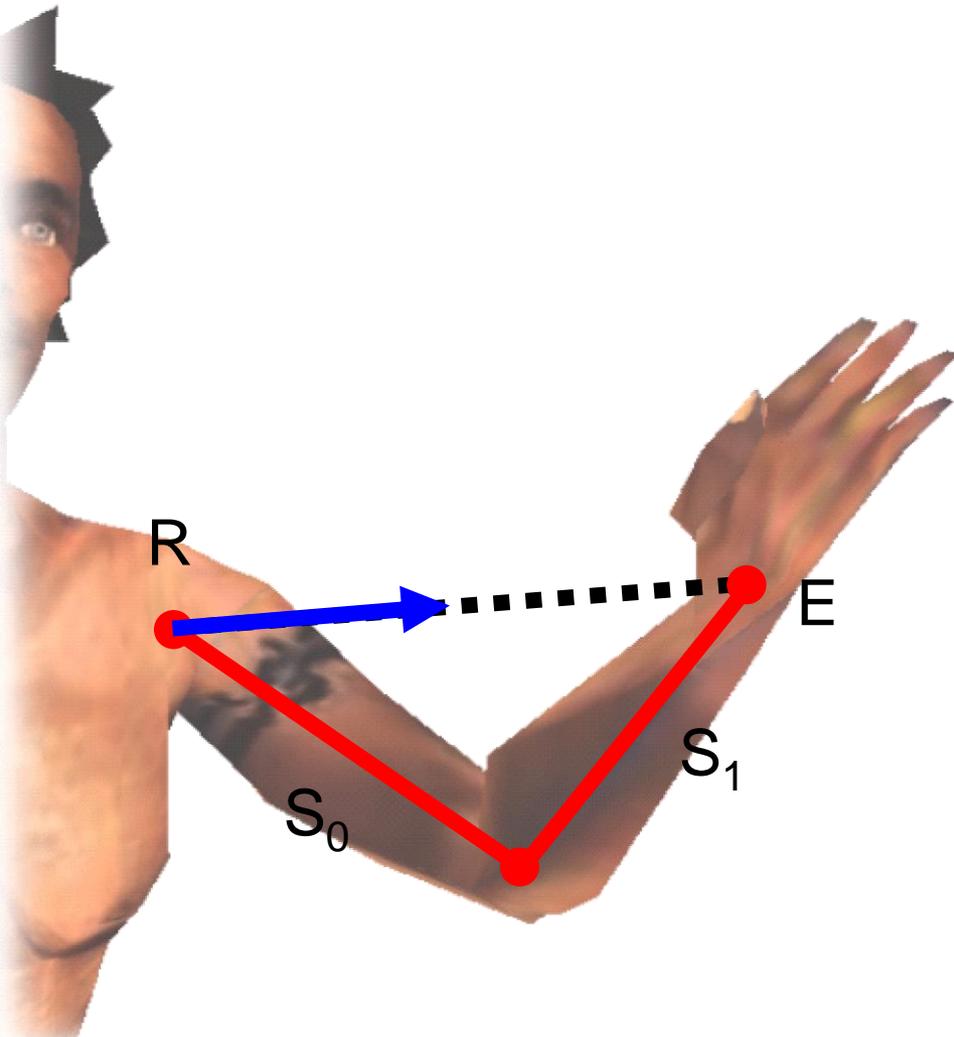
SQUELETTE NORMALISÉ

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



[Kulpa05]

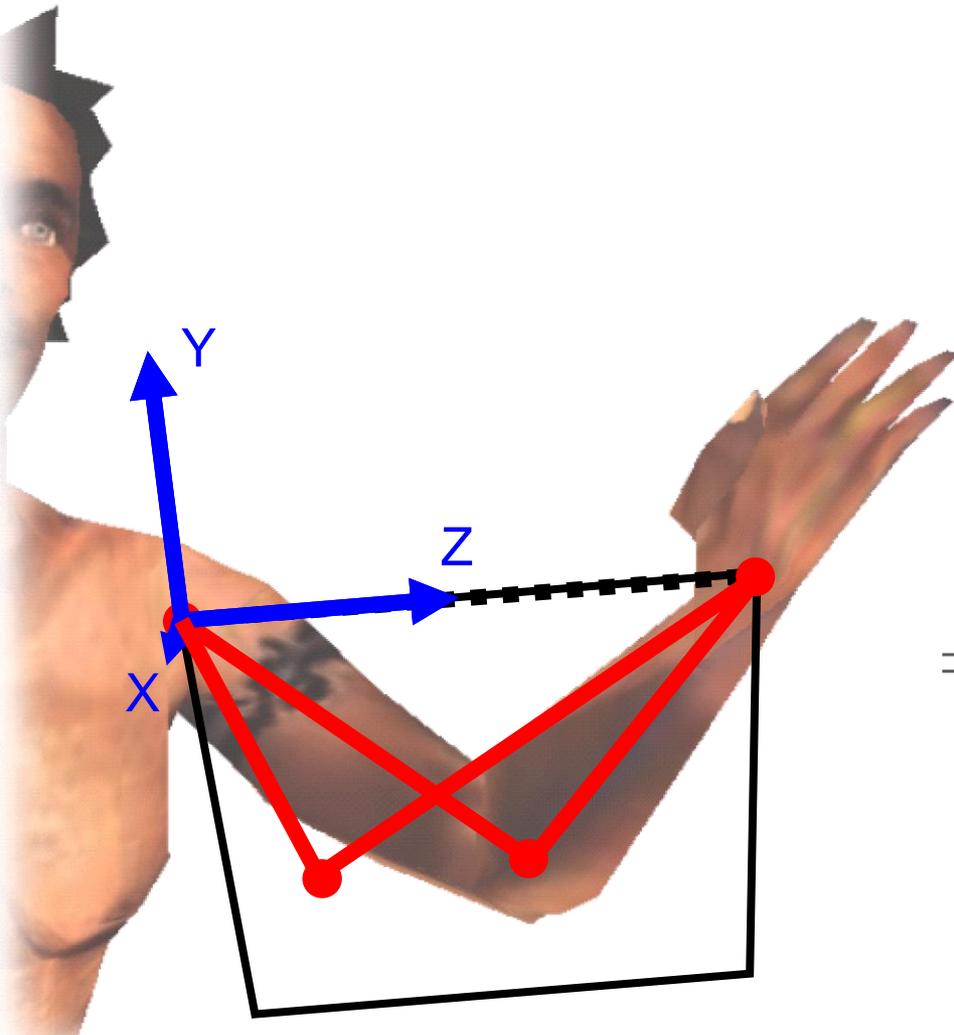
SQUELETTE NORMALISÉ



- Membres sont indépendants 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



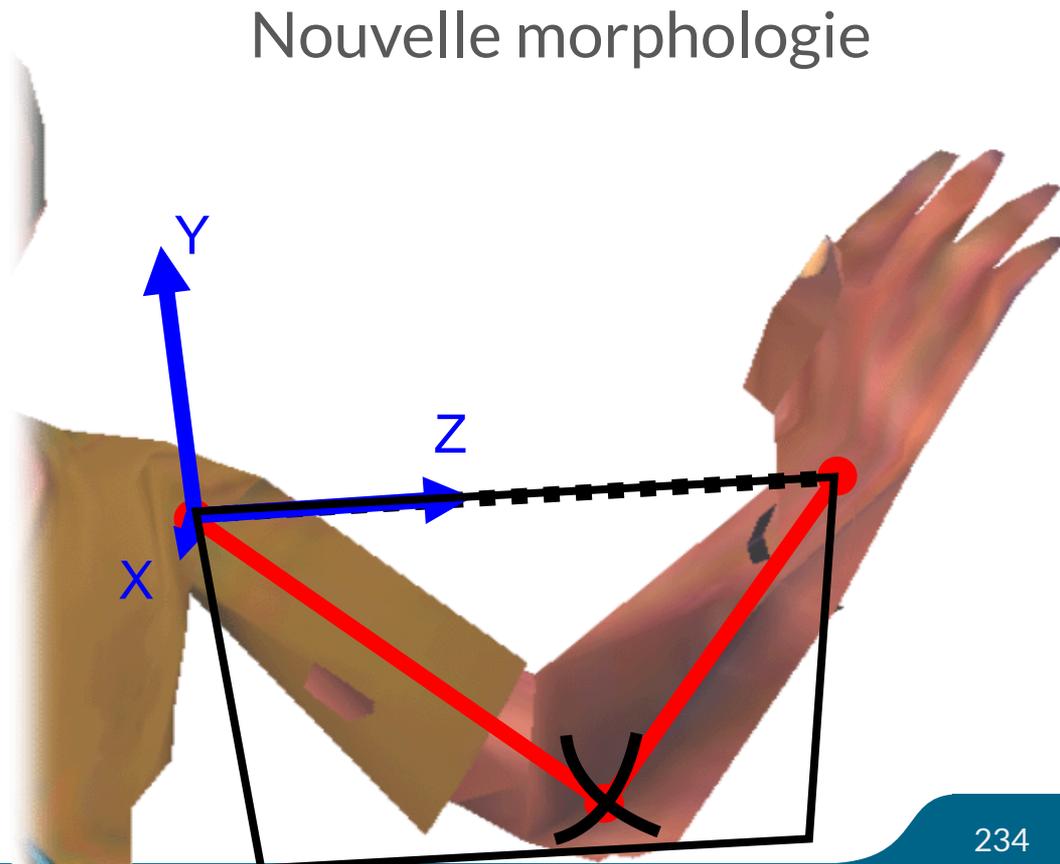
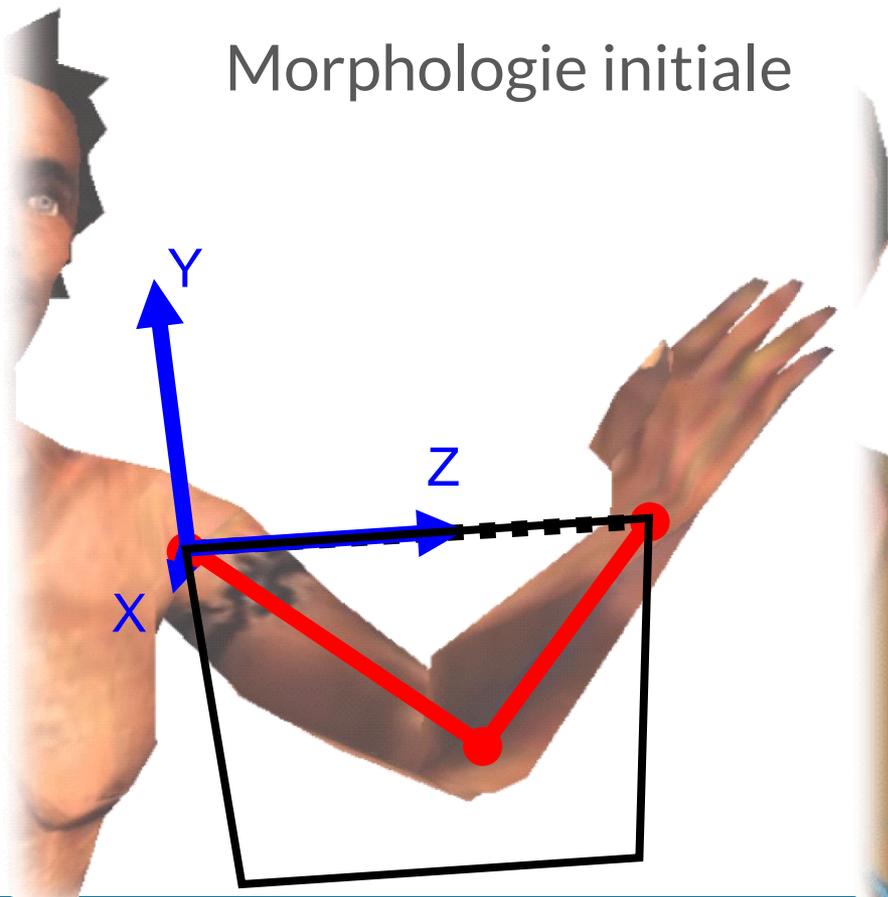
- Membres sont indépendents du ratio entre les longueurs des segments
 - Stocke le demi-plan qui contient le coude

⇒ Membres définis par :

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

ADAPTATION MORPHOLOGIQUE

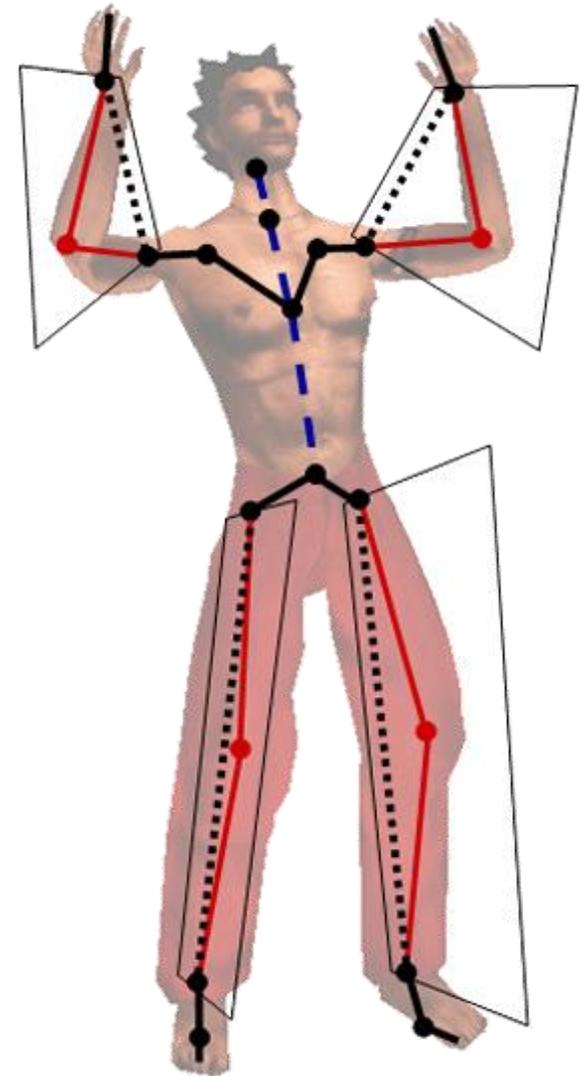
- Inverser le processus de normalisation



SQUELETTE NORMALISÉ

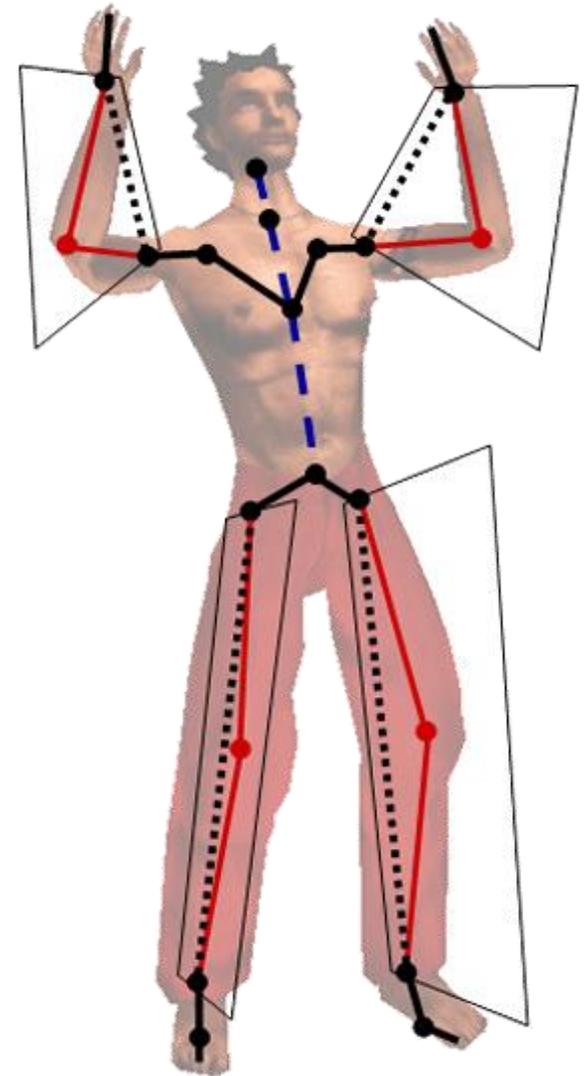
- La colonne est représentée par une spline
⇒ Subdivisible en autant de vertèbres que nécessaire
- Les autres segments sont normalisés par la longueur d'origine

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



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

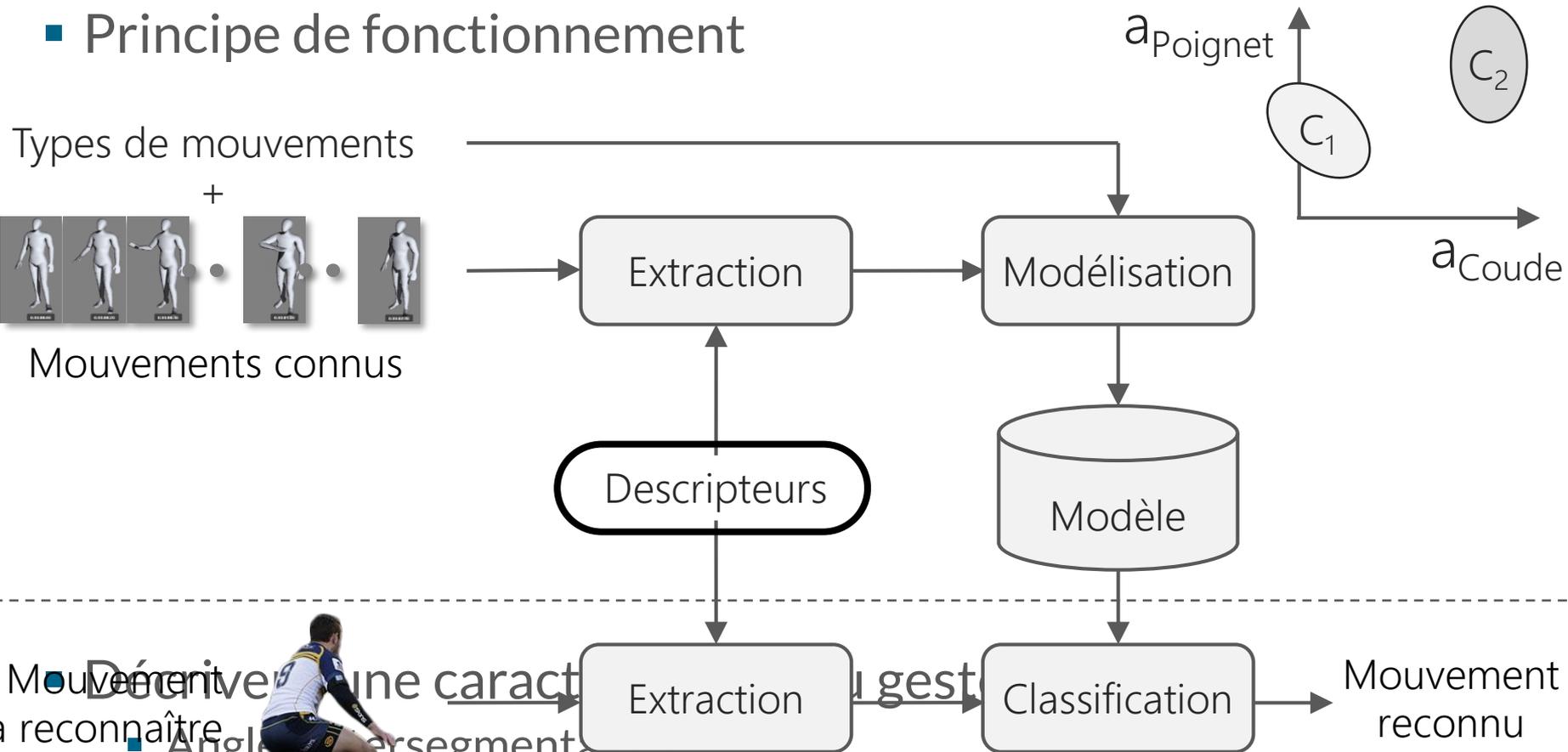


SQUELETTE NORMALISÉ

- 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



Mouvement à reconnaître

- Décrire une caractéristique
- Angle segmentaires
- Position relatives

Nouveau descripteur

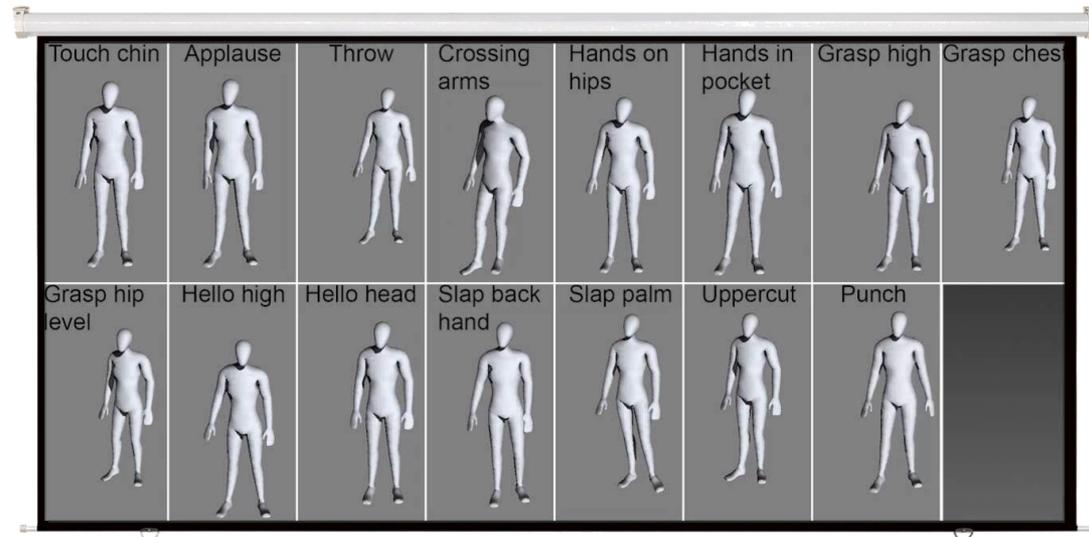
- Moins sensible aux variabilités
- Faciliter les autres étapes



RECONNAISSANCE DE GESTES

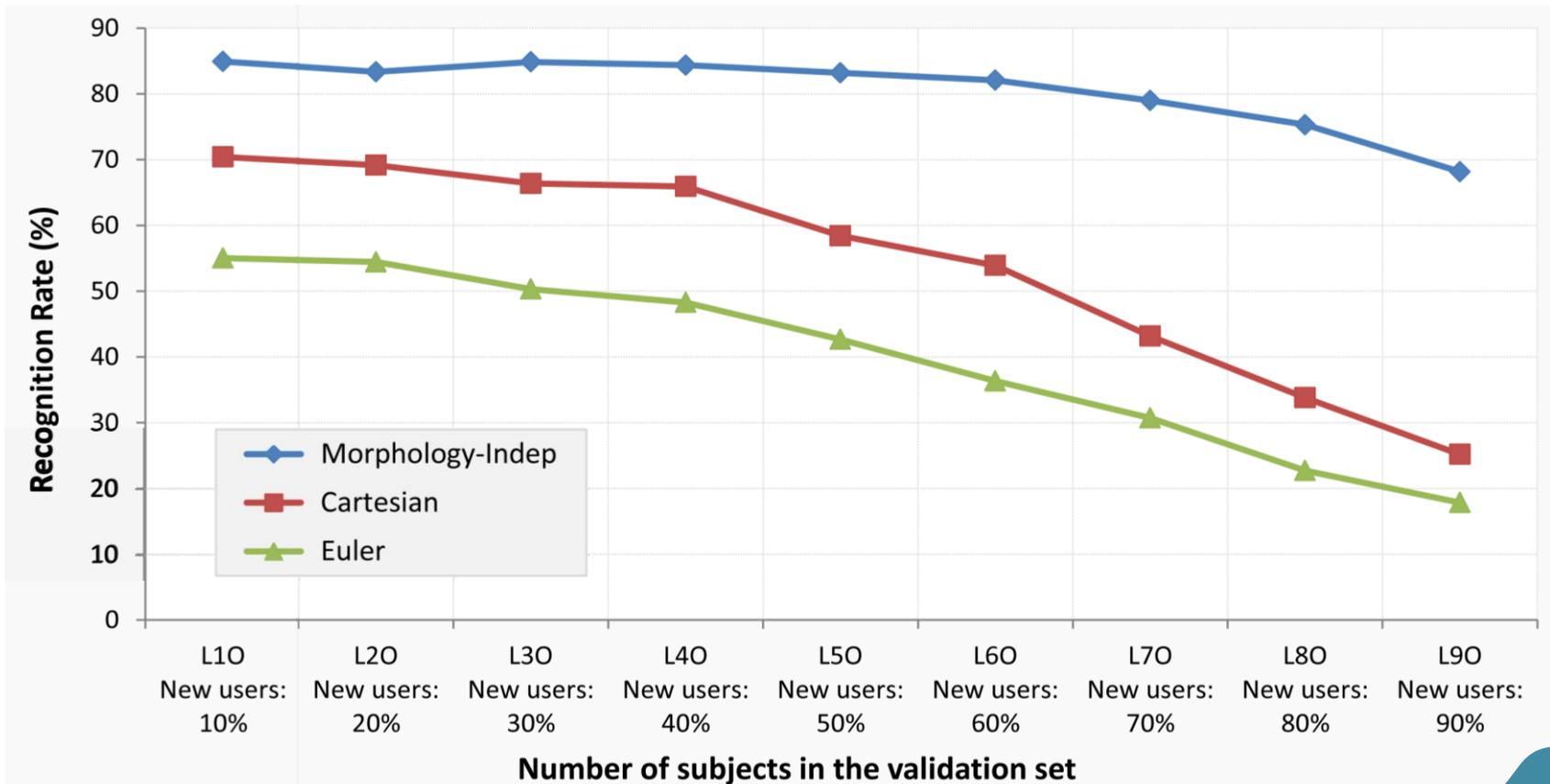
- Comparaison entre 3 descripteurs
 - Normalisé (membres supérieurs)
 - Cartésien
 - Angulaire

- 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
- Modélisation et extraction des descripteurs
 - Position
 - Angles
 - Accélérations
 - Etc.
- Base des méthodes de reconnaissance de gestes