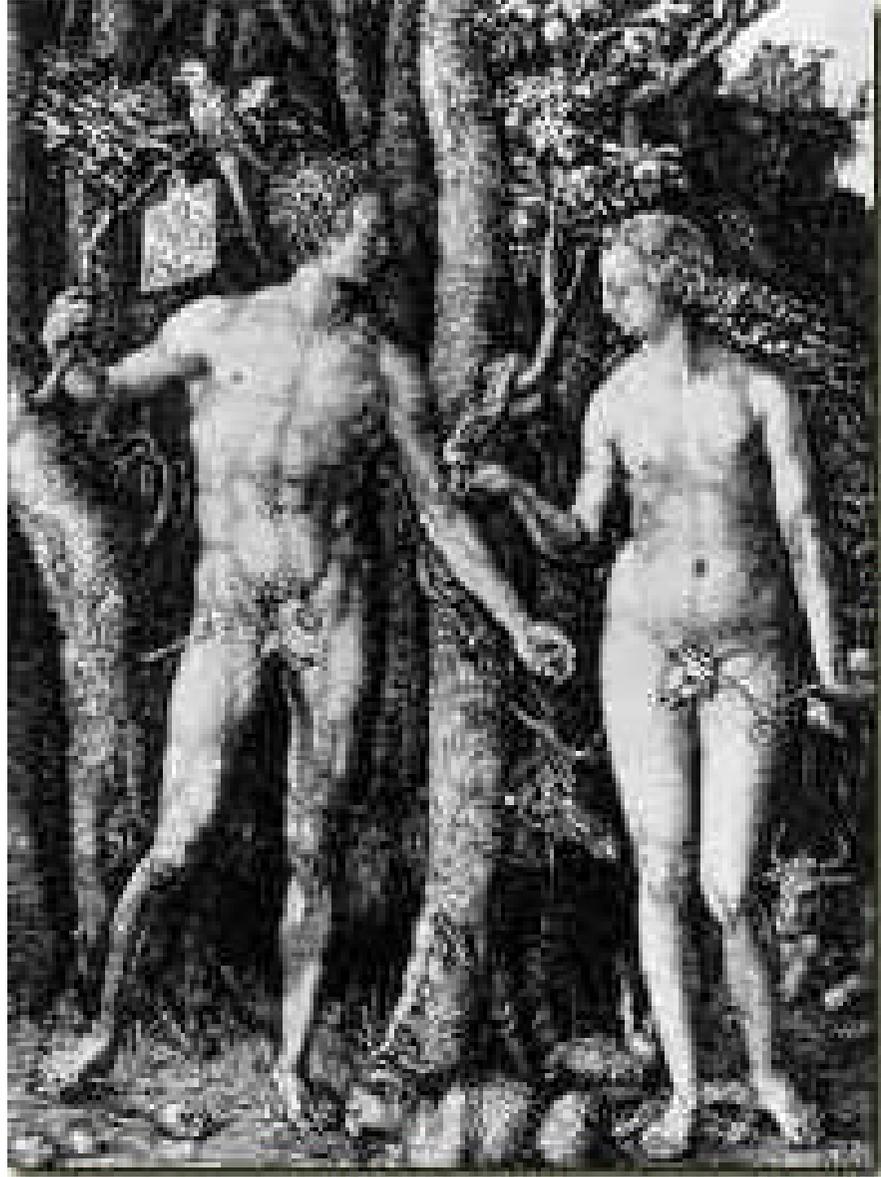


Modélisation du corps humain



Difficultés rencontrées

Perspectives

Connaissances élémentaires
d'anatomie

Représentation de la géométrie
du corps

Livres de références

Difficultés rencontrées

- ✚ Modéliser et animer un personnage articulé est un défi de taille particulièrement difficile à relever lorsque celui-ci doit représenter un être humain.

Pourquoi ?

- ◆ L'être humain est une forme très familière qui fait de chaque personne un observateur critique.

Une personne peut dire aisément si les mouvements d'un personnage animé lui semblent corrects.

- ◆ Le corps humain est complexe avec environ 200 os, 600 muscles et 200 ddl lorsque entièrement modélisé avec des membres reliés rigides.

La nature déformable des parties du corps augmente encore cette complexité.

- ◆ Le mouvement humain n'est pas très bien défini d'un point de vue informatique. Les descriptions faites ne s'appliquent qu'à un petit nombre de situations contraintes.

Difficultés rencontrées

Pourquoi ?

- ◆ Le mouvement humain en tant que tel n'existe pas.

Aucune stratégie générale de production de mouvement n'a encore été décrite, ni aucune des nuances de mouvement qui font de chacun un être unique aisément identifiable.

Des différences découlant de

- la génétique,
- la culture,
- la personnalité,
- l'état émotionnel

de chacun peuvent avoir une incidence sur la manière dont un mouvement est effectué.

Modélisation du corps humain

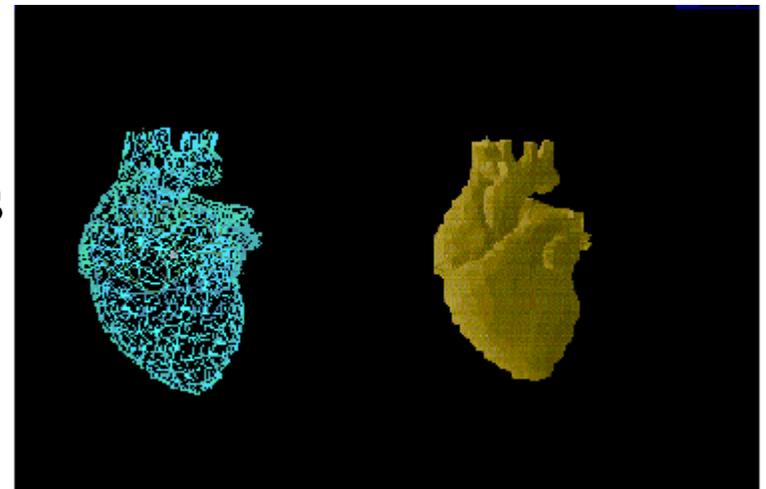
Perspectives qui s'ouvrent à la modélisation du corps humain en 3D

- ✚ dans l'enseignement de l'anatomie externe et interne du corps,
- ✚ dans l'étude du comportement humain en des conditions particulières,

Ex. : La simulation de circonstances difficiles et dangereuses
(simulation d'accidents de la route,
d'opérations spéciales de guerre,
de vols spatiaux, ...)

- ✚ dans la simulation dans des conditions virtuelles des interventions chirurgicales de grande précision,

↳ Nécessite la création de modèles 3D d'organes et de systèmes organiques identiques dans les moindres détails au corps humain (macro-modélisation).



Modélisation du corps humain

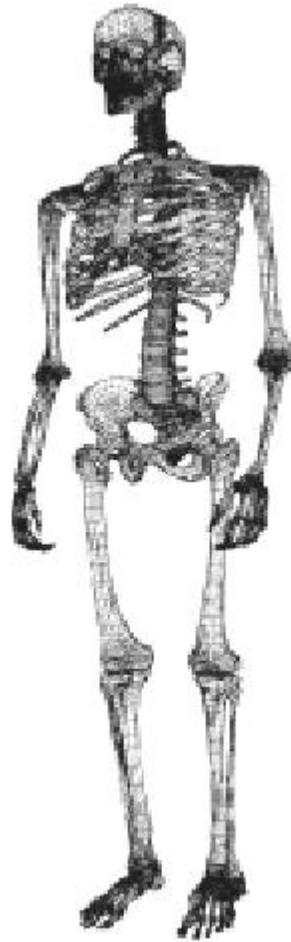
Perspectives qui s'ouvrent à la modélisation du corps humain en 3D

- ✦ placer sur des modèles virtuels d'une manière réaliste différents organes en états pathologiques (imagerie biomédicale),
 - Ex.: Une tumeur détectée sur un poumon peut être transposée sur un modèle 3D ce qui permettra au chirurgien de mieux comprendre les rapports entre la tumeur et les organes avoisinants.
- ✦ reproduire des microstructures au niveau cellulaire (*micro-modélisation* ou *modélisation moléculaire*),
 - Ex.: des modèles moléculaires d'ADN avec leurs configurations spatiales.
- ✦ la conception de jeux vidéos et des images de synthèse,
- ✦ la cinématographie et ses effets spéciaux,

Modélisation du corps humain

Perspectives qui s'ouvrent à la modélisation du corps humain en 3D

✚ l'immense potentiel dans le domaine biomédical,



(248 380 polygones)

A nécessité le travail d'une équipe de trois personnes pendant une durée de 8 mois.

Le squelette d'un homme en 3D (source catalogue DataLabs)

Modélisation du corps humain

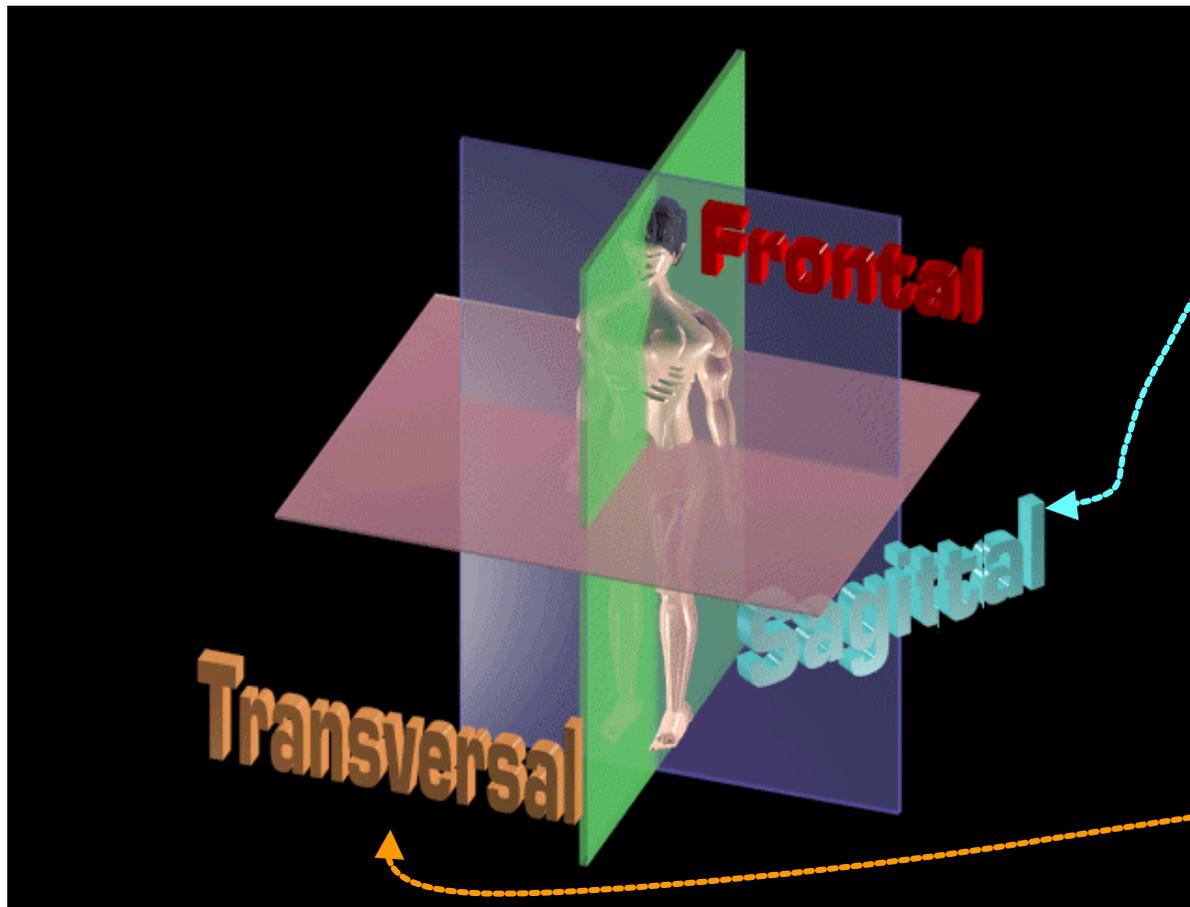
Perspectives qui s'ouvrent à la modélisation du corps humain en 3D

- ✚ la reproduction 3D fidèle d'une œuvre artistique,
 - une œuvre d'art impliquant un personnage qui peut devenir un héros virtuel dans une production
(l'œuvre n'étant pas disponible pour différentes raisons),
 - la reconstruction de la forme originale d'une œuvre d'art qui a subi des altérations à travers le temps,
(ex. : le buste de *Vénus* a été retrouvé sans bras, sans pieds et sans tête.)
 - réaliser des reconstitutions de personnes ayant vécu à différentes périodes.
- ✚ la visualisation de robots en mouvement,
- ✚ etc.

Connaissances élémentaires d'anatomie

Dans ce qui suit, des connaissances anatomiques élémentaires sont présentées pour faciliter la modélisation 3D et l'animation.

Plans anatomiques 3D



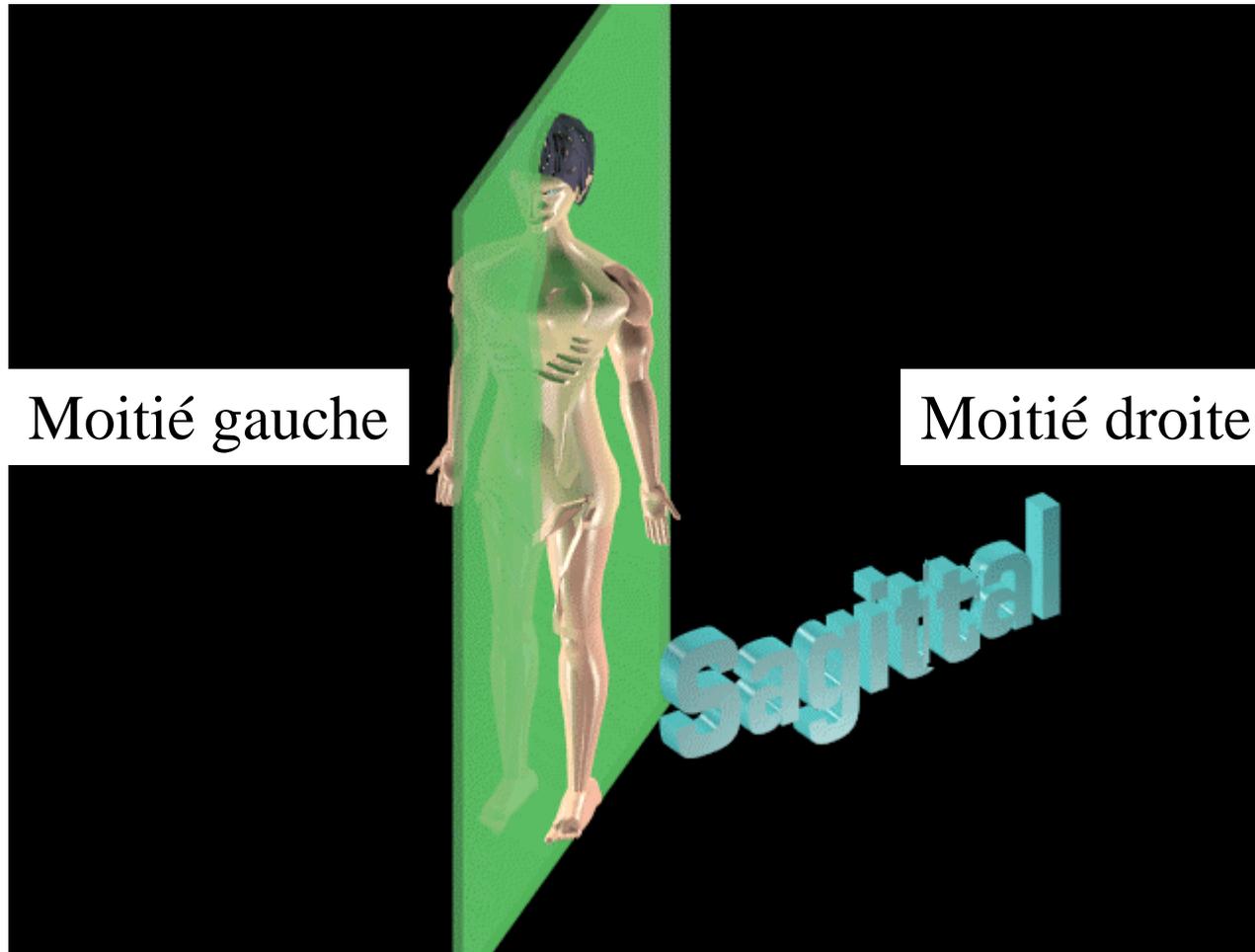
**Construction
d'un maillage 3D**

Vue du corps humain dans les plans anatomiques 3D
(Tiré de J. Dif, Modélisation du corps humain en 3D).

Connaissances élémentaires d'anatomie

Plan sagittal

Plan de symétrie corporelle perpendiculaire au sol



(Tiré de J. Dif,
Modélisation du corps
humain en 3D).

Il commence au point le plus haut du crâne (le vertex), traverse le corps le long de la colonne vertébrale et se termine entre les 2 pieds.⁹

Connaissances élémentaires d'anatomie

Plan frontal ou coronal



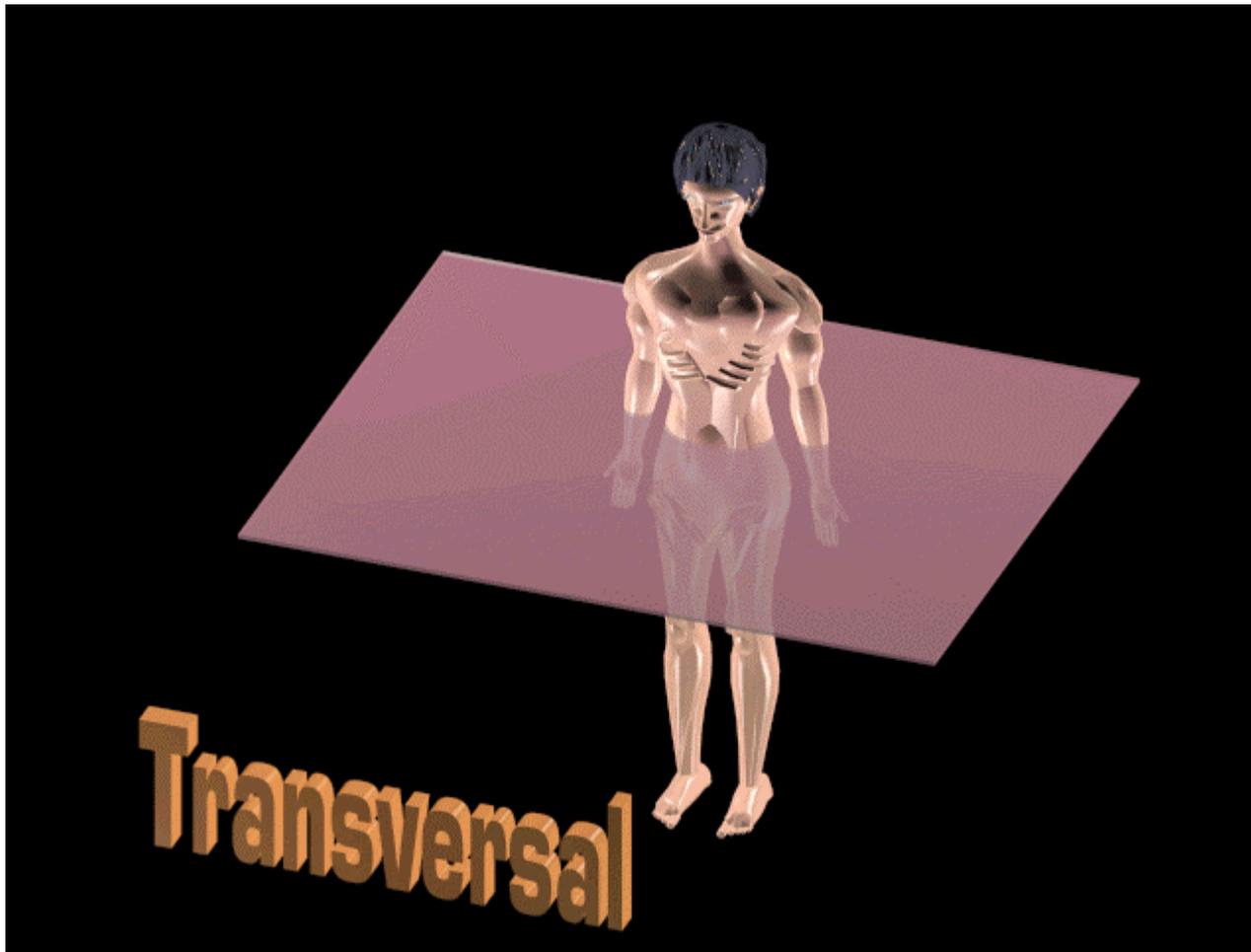
(Tiré de J. Dif,
Modélisation du corps
humain en 3D).

Plan \perp au sol qui divise le corps en une moitié avant et une arrière.

Connaissances élémentaires d'anatomie

Plan transversal ou axial

Le corps humain peut être divisé en plusieurs plans transversaux placés à différents niveaux du corps.

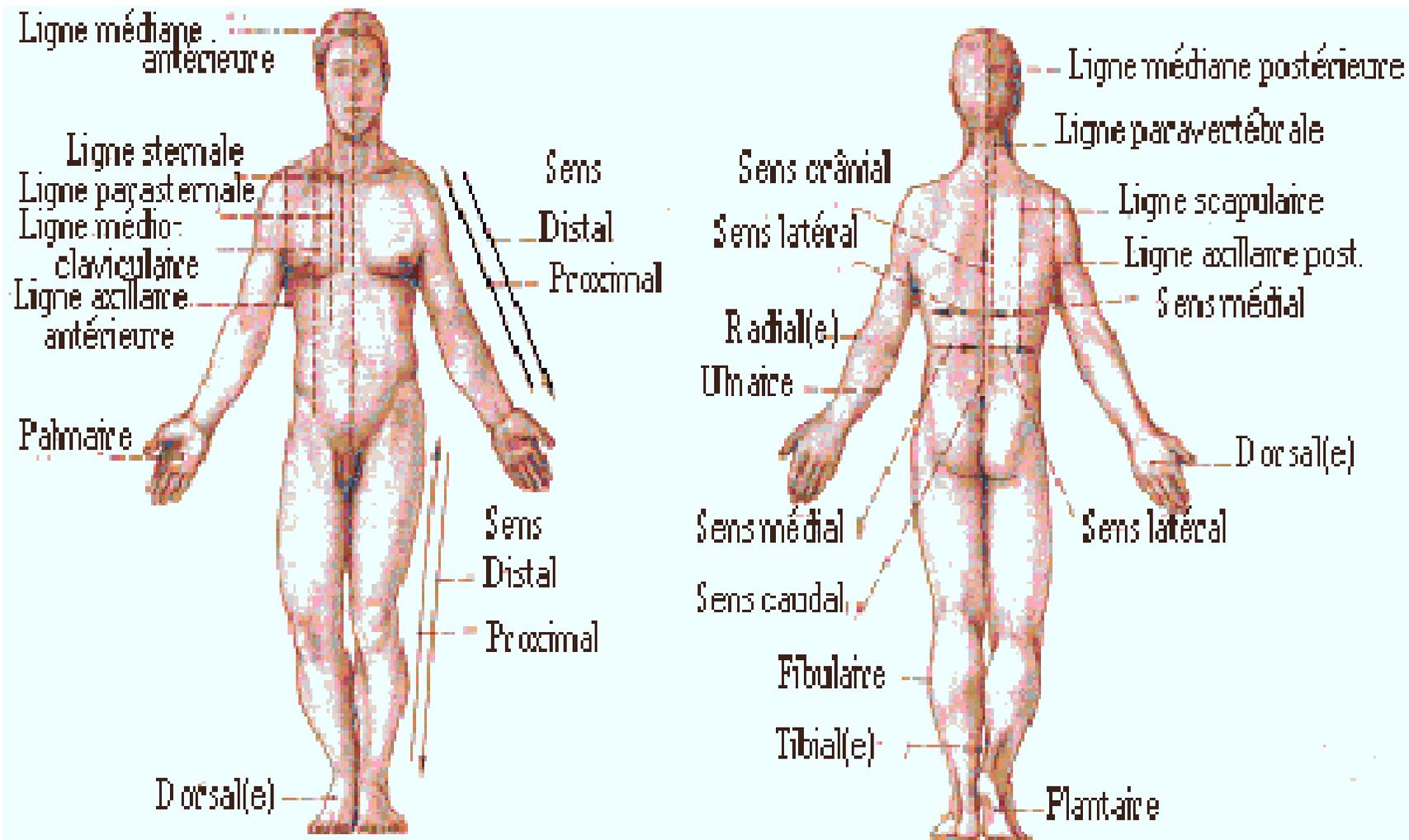


(Tiré de J. Dif,
Modélisation du corps
humain en 3D).

Plan || au sol qui divise le corps en une moitié supérieure et une inférieure.

Connaissances élémentaires d'anatomie

Lignes de direction sur le corps humain



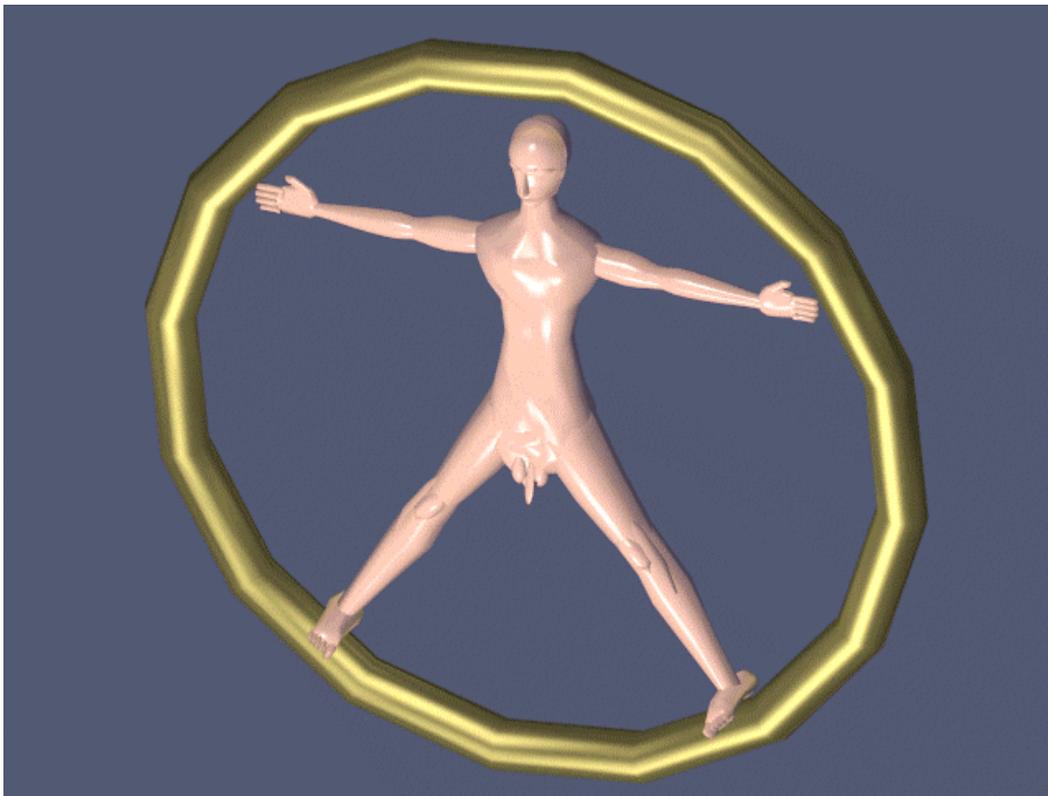
Ces repères servent à orienter la construction 3D et permettent de respecter les proportions réelles.

Connaissances élémentaires d'anatomie

Proportions du corps humain

Le respect des proportions du corps humain constitue l'une des règles la plus importante dans la modélisation 3D du corps humain.

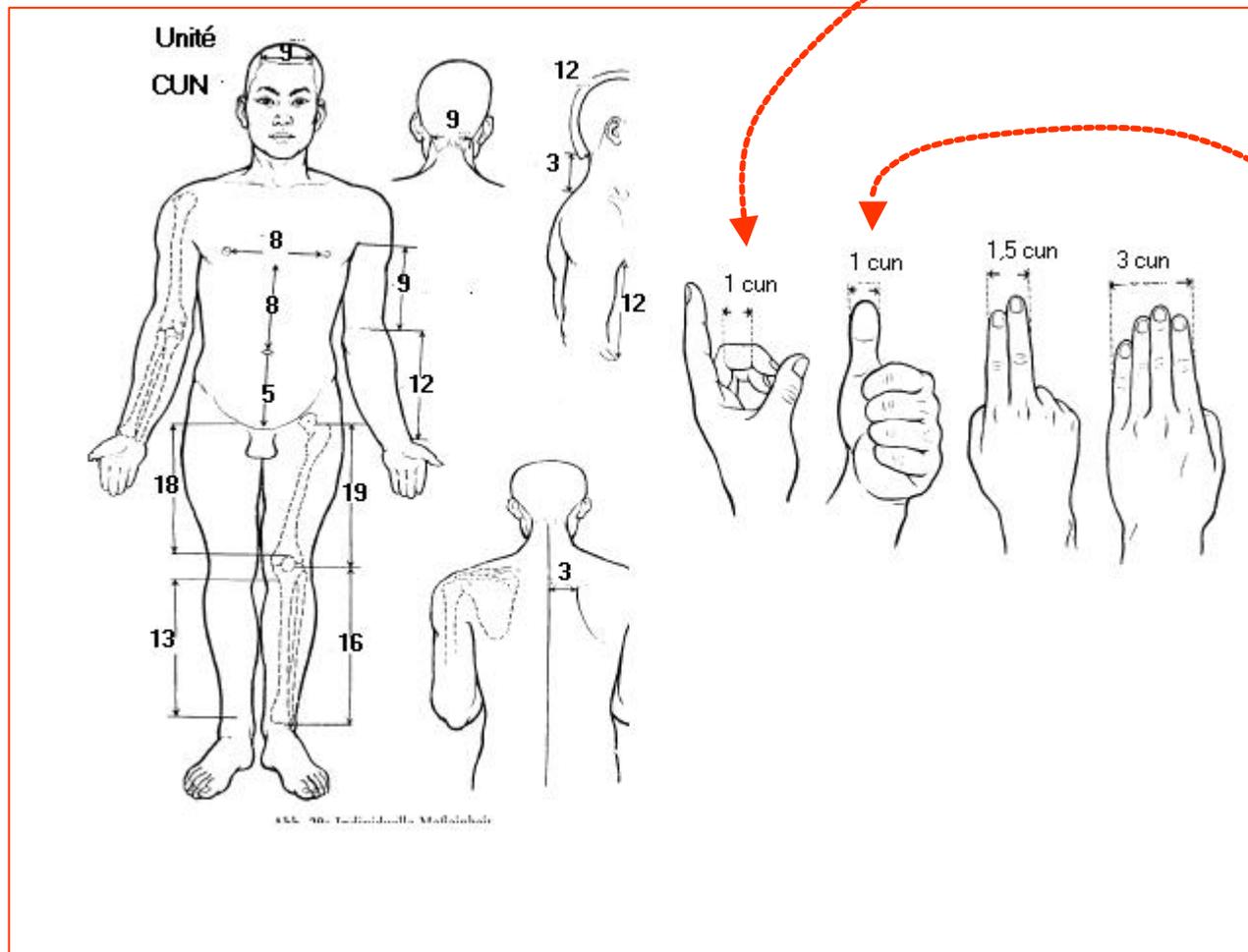
1. Léonard de Vinci a tracé la règle des proportions du corps humain (connue sous le nom de *la règle des proportions divines*).



Le corps humain avec les bras et les jambes écartés peut s'inscrire parfaitement dans un cercle.

Connaissances élémentaires d'anatomie

2. Les chinois mesurent les proportions du corps humain en cun. Cette proportionnalité comporte un caractère individuel tout en respectant ce facteur de distance.

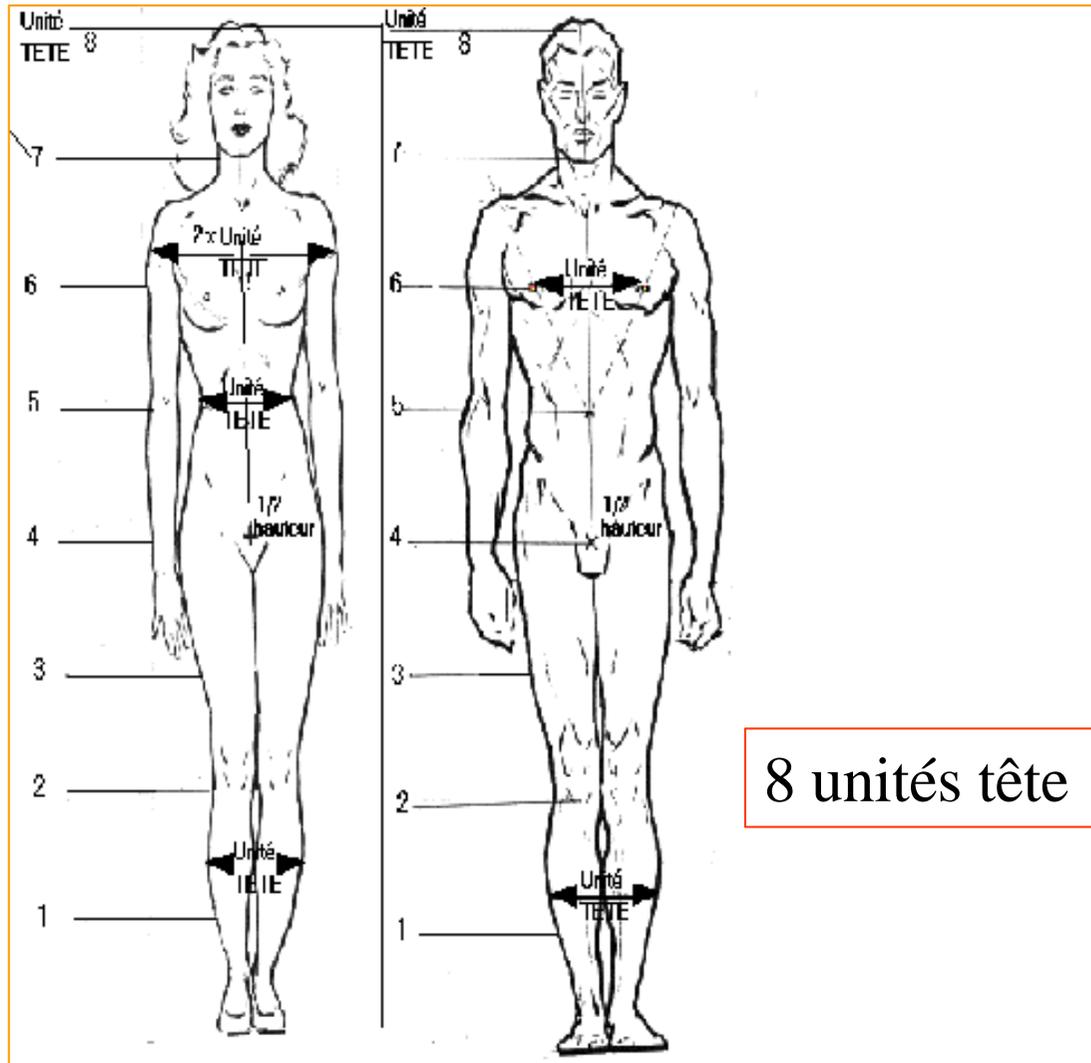


distance entre les 2 plis de la phalange moyenne de l'index

largeur du pouce

Connaissances élémentaires d'anatomie

3. Les proportions du corps humain sont évaluées en se servant comme unité de mesure de la longueur de la tête.



Note :

Ces proportions varient en fonction du sexe et de l'âge de la personne tout en gardant leur caractère individuel.

Exemple :

Le volume de la tête d'un nouveau né est disproportionné p/r à celui du tronc.

Connaissances élémentaires d'anatomie

Repères anatomiques

- Servent à créer des maillages 3D, à orienter le corps humain dans l'espace ou à animer des personnages.
- Les repères ne sont pas immuables.

Ils varient d'un individu à l'autre et pour un même individu, ils peuvent changer d'emplacement en fonction

- des mouvements du corps
- des changements de la physionomie.

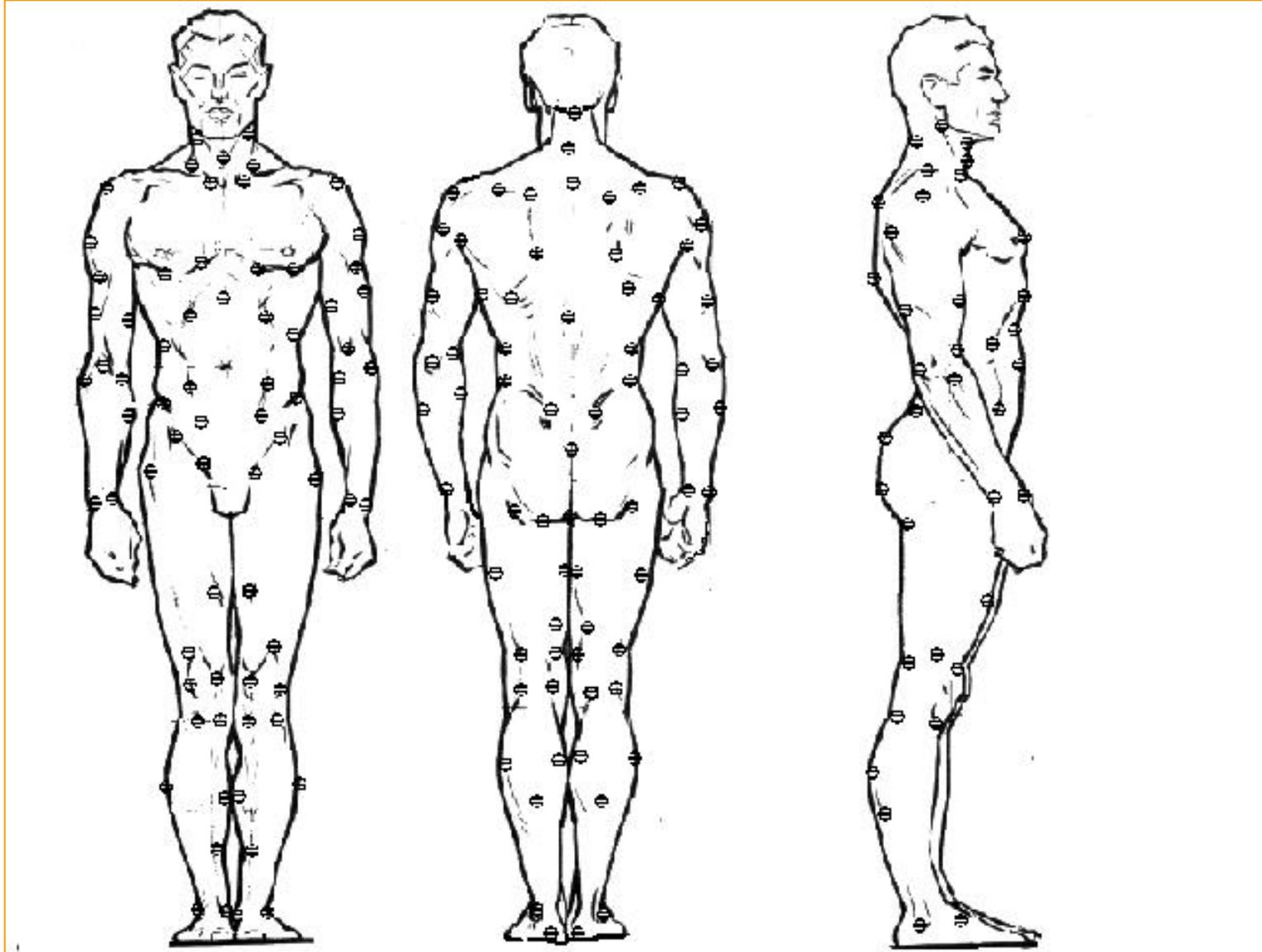
Exemple : Les repères du visage.

Leur emplacement est différent pour un sujet souriant en comparaison avec un visage triste ou pensif ou grimaçant.

Exemple : Un corps en torsion ou en mouvement perd la symétrie de ses repères.

Connaissances élémentaires d'anatomie

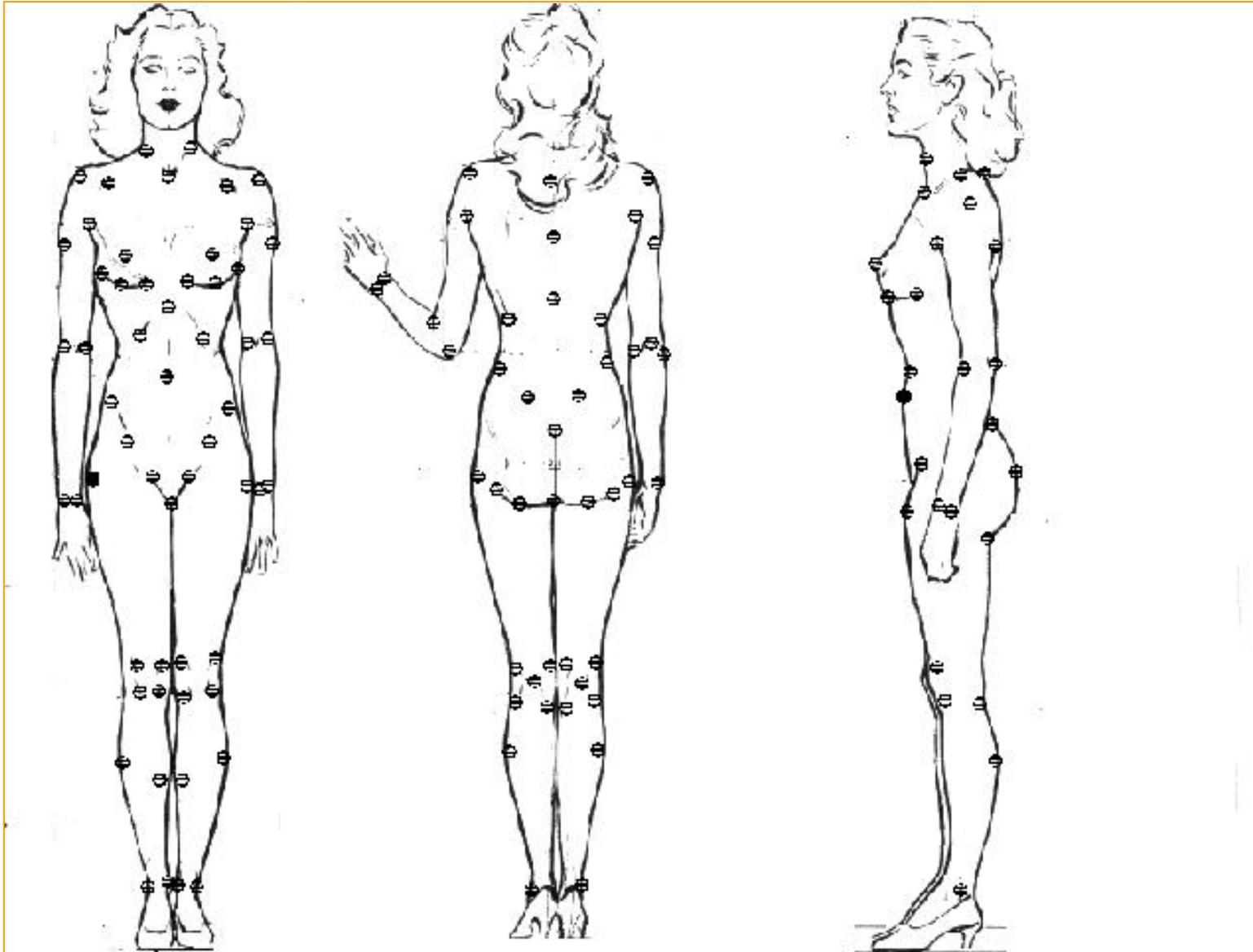
Repères sur le corps d'un sujet homme



Tiré de J. Dif, Modélisation du corps humain en 3D.

Connaissances élémentaires d'anatomie

Repères sur le corps d'un sujet femme



Tiré de J. Dif, Modélisation du corps humain en 3D.

Anthropométrie (ou biométrie)

- Science qui étudie à l'aide des mathématiques (stat. & prob.) les variations biologiques à l'intérieur d'un groupe déterminé.
- Les mesures biométriques sont celles qui concernent l'ensemble des caractéristiques distinctives d'une personne.

Exemple : les empreintes digitales,
lecture faciale (traits distinctifs du visage),
lecture de la main,
lecture de l'iris.

Elles permettent de vérifier l'identité d'une personne.

- L'anthropométrie présente aussi un grand intérêt pour la modélisation 3D du corps humain.

Voir plus loin.

Vue d'ensemble de la représentation humaine virtuelle

- ✦ Des tentatives de création d'êtres humains virtuels commencent à apparaître.
- ✦ Pour relever ce défi, on doit trouver des solutions à plusieurs problèmes très différents, notamment :
 - Modélisation de la peau :
 - texture de la peau,
 - forme de la peau liée aux structures internes sous-jacentes telles que les os et les muscles.
 - Géométrie de la chevelure et des vêtements :
 - compromis sévère entre précision et complexité de calcul.
 - Interaction de la lumière avec la peau, les vêtements, la chevelure.
- ✦ Des techniques de simulation d'êtres humains virtuels ont été élaborées permettant d'obtenir des résultats visuels en temps réel mais modestes.
- ✦ D'autres approches donnent lieu à des résultats très réalistes (cheveux, rides, muscles, ...) mais exigent des journées entières de calculs pour une seule image.

Vue d'ensemble de la représentation humaine virtuelle

✦ Trois grandes tâches à réaliser :

— la modélisation du corps humain laquelle est tributaire de la finalité d'utilisation,

Le modèle se destine-t-il
au monde artistique ou
au monde scientifique (aéronautique, médecine,
robotique, ergonomie, ...) ?

— la conception d'un modèle de spécification et de traitement des mouvements du corps humain,

— l'analyse de la scène : élimination des parties cachées, rendu, ...

Vue d'ensemble de la représentation humaine virtuelle

- ✦ La complexité d'un modèle géométrique est liée à celle des mouvements du personnage.

C'est pourquoi, on associe souvent au modèle :

- une représentation squelettique pour définir les mouvements,
- un modèle géométrique simplifié pour réduire les temps de calculs de certains tests préliminaires ou dans le cas où les détails ne sont pas nécessaires dans le contexte qui prévaut.

Par exemple, dans le cas de mouvements rapides.

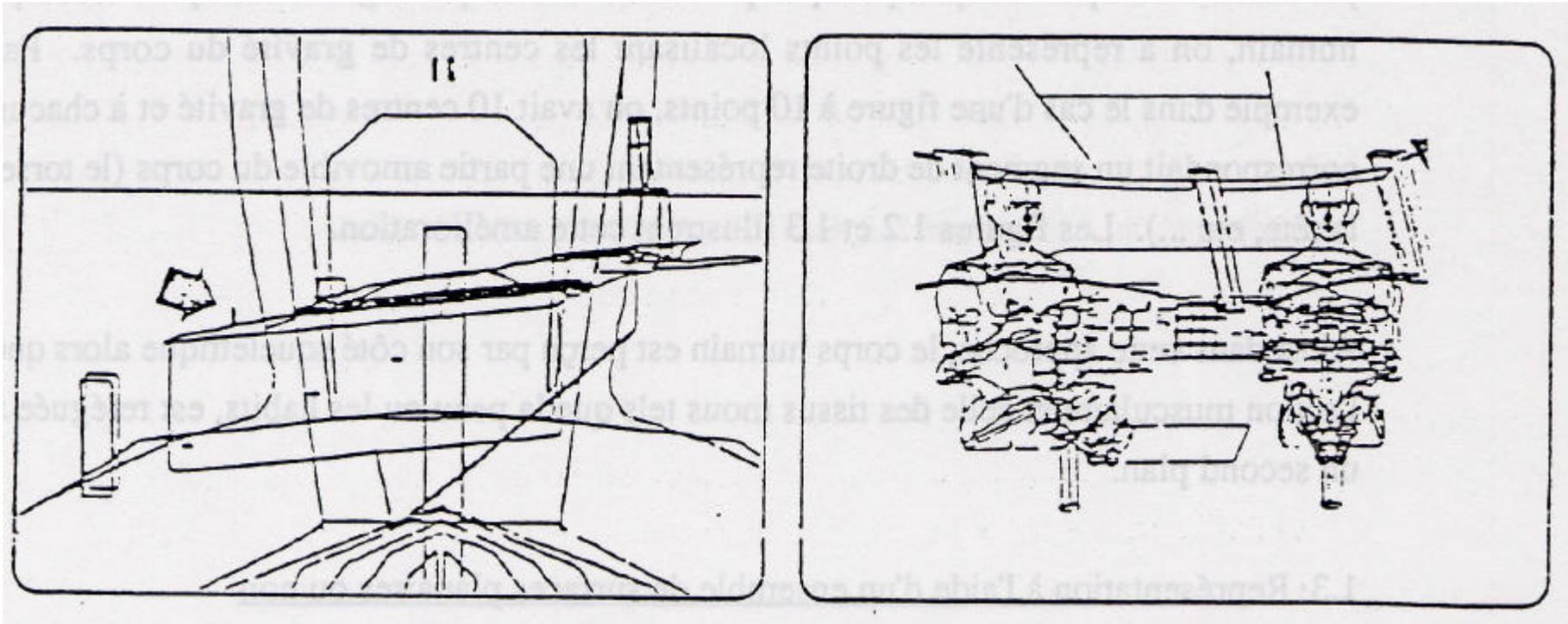
- ✦ À cause du lien étroit entre le modèle géométrique et la spécification des mouvements, le modèle géométrique renferme en plus des données géométriques :

- des propriétés physiques : masse, densité, ...
- des contraintes mécaniques : limites d'une articulation, ...

Représentation de la géométrie du corps

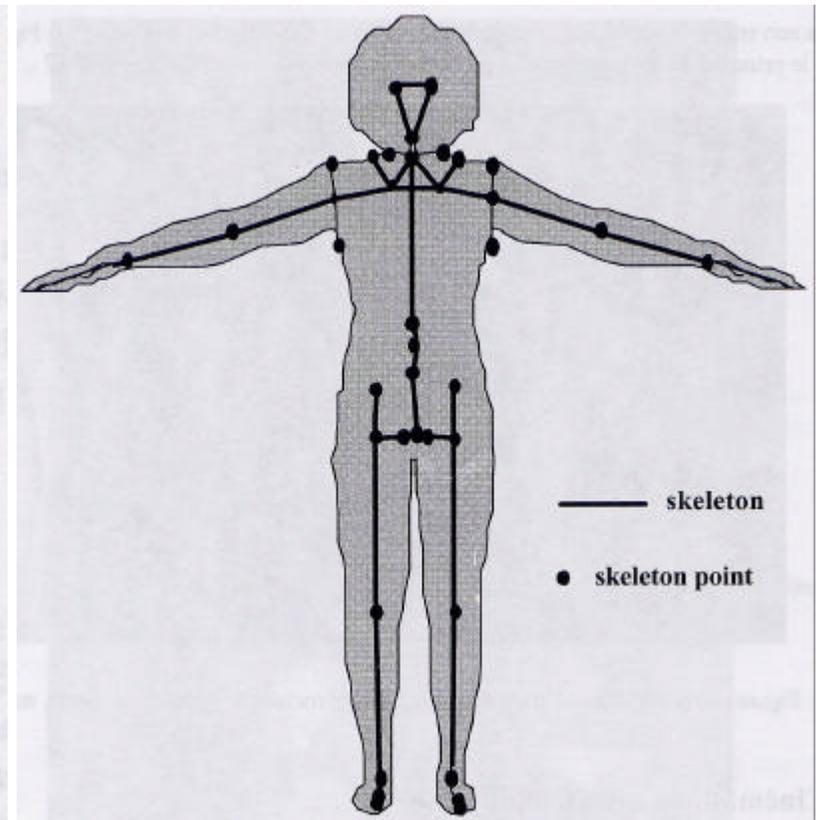
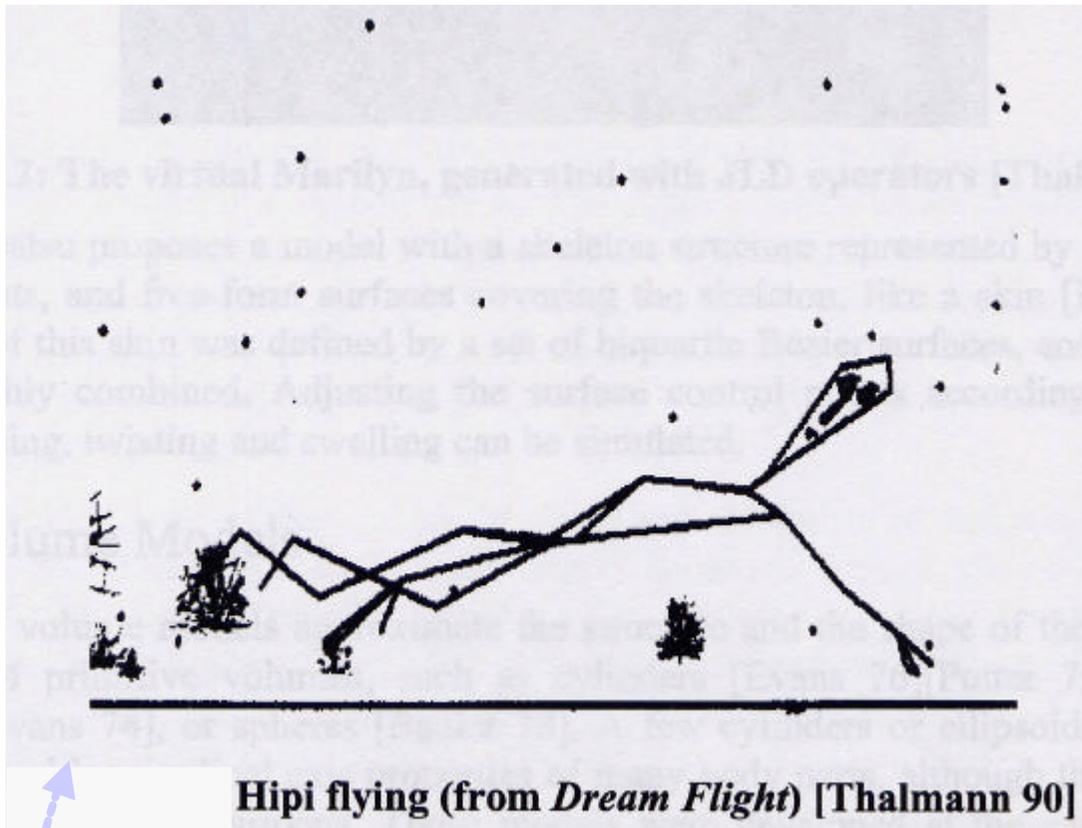
1. Représentation à partir de segments de droite et d'articulations

- Modélisation en fil de fer du corps humain.
- Représentation souvent à l'aide d'une structure d'arbres.
- La première image humaine conçue par ordinateur l'a été au sein de la compagnie Boeing par l'un de ses dessinateurs V. L. Hudson (1959).



Vue du cockpit lors d'un atterrissage

Représentation à partir de segments de droite et d'articulations



32 segments et 15 articulations

- Cette représentation sous forme d'arbres permet de traiter les différentes parties du corps de façon indépendante.

Représentation à partir de segments de droite et d'articulations

- La spécification du mouvement est plus facile à générer; on peut simplement associer à chaque composante de l'arbre une matrice de transformation.
- Manque de réalisme (perception de la profondeur difficile, certains mouvements impossibles à représenter comme des torsions).

Représentation de la géométrie du corps

2. Représentation polygonale (généralement des triangles)

- ✦ Représentation de l'enveloppe du corps créée manuellement à partir de l'un des logiciels de modélisation courants (MAYA, 3D Studio MAX, SOFTIMAGE 3D).
- ✦ Les polygones peuvent être dessinés sur une personne réelle ou bien un mannequin.

1^{er} cas : un maillage polygonal unique

La rotation autour d'une articulation peut être difficile à concevoir.

2^{ième} cas : plusieurs maillages polygonaux

On considère une hiérarchie d'articulations et de segments rigides.

Exemple : La rotation d'une articulation de hanche entraîne la rotation de tous les segments de jambe.

- ✦ Certaines contraintes peuvent être imposées en fonction du logiciel :
 - des maillages triangulaires, - des maillages fermés.

Représentation polygonale (généralement des triangles)

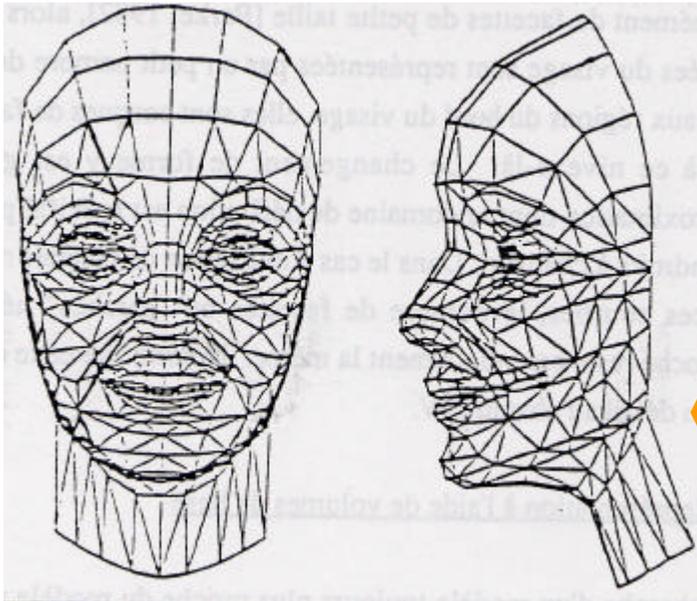
Contextes d'utilisation :

- des systèmes temps réel tels que les jeux,
- l'application exige un modèle de rendu très efficace.

Problèmes rencontrés :

- il faut un nombre très important de polygones pour représenter une surface bien lisse.

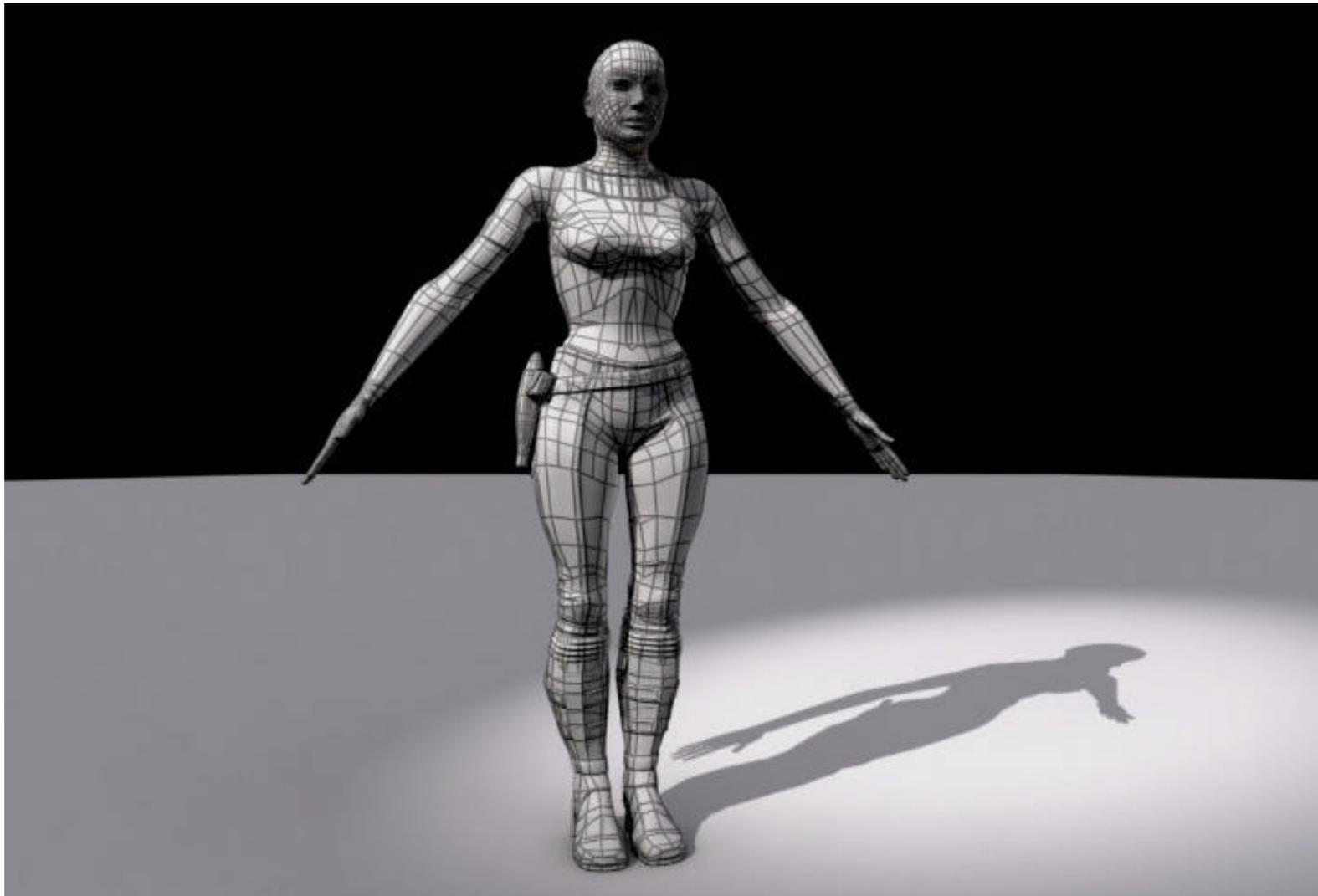
Il faut compter des centaines ou des milliers de polygones pour atteindre la même qualité visuelle qu'avec une seule surface B-Spline par exemple.



Les zones de haute courbure du visage exigent plusieurs facettes de petites tailles contrairement aux régions moins bombées.

Représentation polygonale (généralement des triangles)

- la spécification du mouvement est presque impossible; c'est pourquoi, on opte souvent pour un modèle mixte (modèle squelettique + modèle de surface).



Représentation de la géométrie du corps

3. Représentation à base de surfaces courbes

- ✦ En mettant l'accent sur la qualité visuelle lors de l'élaboration d'un être humain virtuel, on opte pour un réseau de surfaces de contrôle représentant l'enveloppe du corps.
- ✦ Les points de contrôle définissant ces surfaces sont manipulés de façon à modeler les formes du personnage.
- ✦ On doit s'assurer de respecter des contraintes de continuité aux frontières de ces surfaces.
- ✦ Bien que ces surfaces puissent aisément fournir des surfaces plus lisses que les polygones, il est plus difficile d'ajouter des détails localisés à un personnage.

Réponse partielle :

- Techniques de subdivisions récursives.
- Splines hiérarchiques.

Problèmes rencontrés :

- la spécification des mouvements est difficile,
- exige un nombre élevé de surfaces élémentaires.

Représentation à base de surfaces courbes

Exemple :

Un modèle de peau humaine associé à une structure squelettique est représenté à l'aide de surfaces de Bézier.

K. Komatsu, Human skin model capable of natural shape variation.
The Visual Computer, 1988, pp. 265-271.

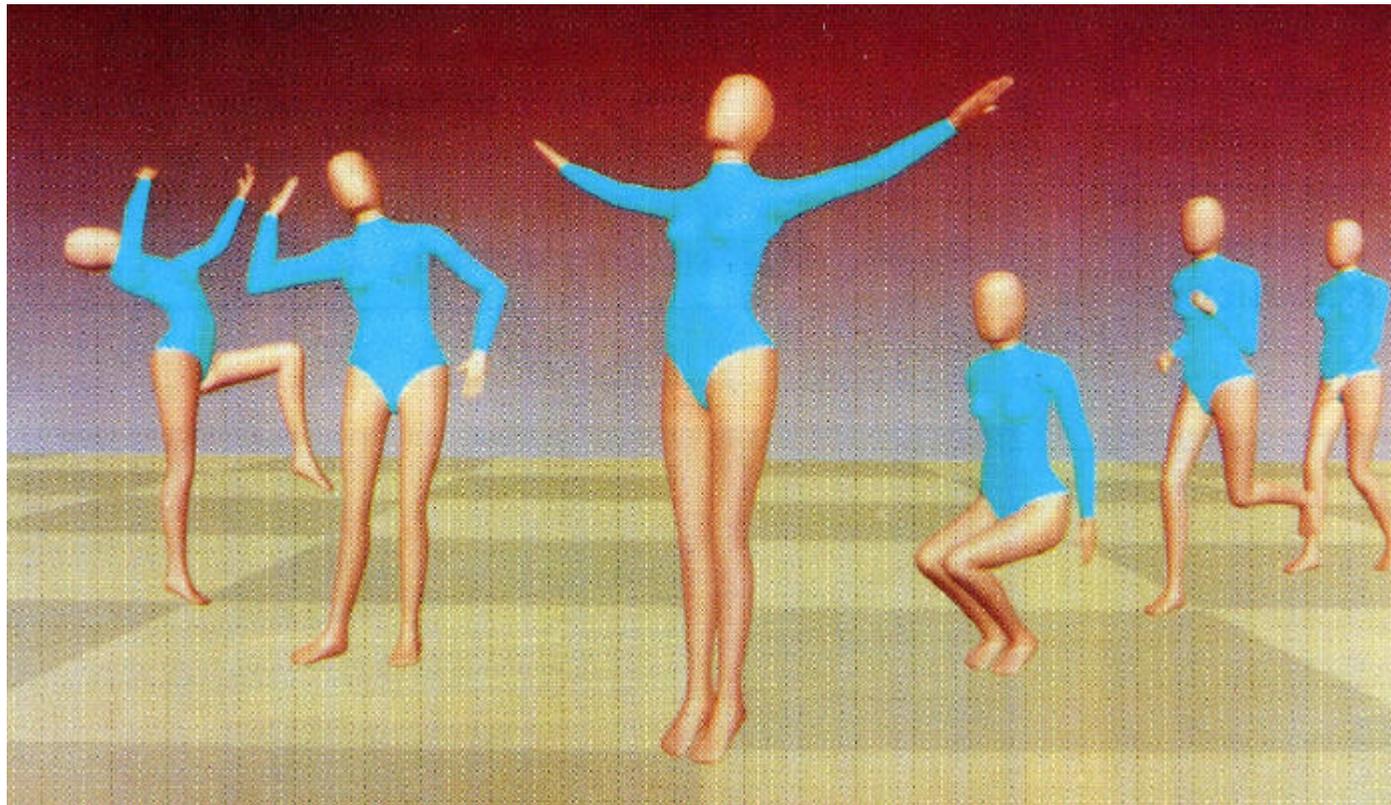
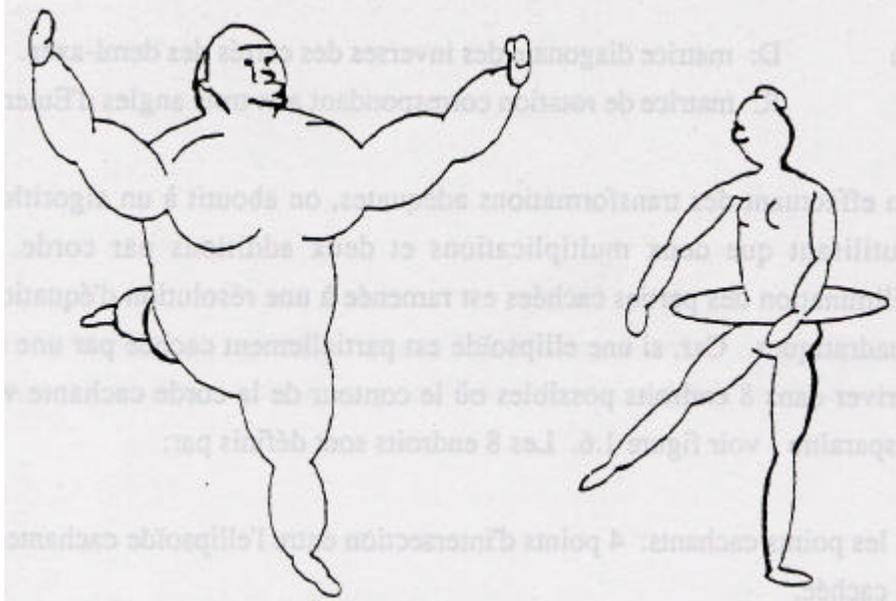


Figure 18, p. 270.

Représentation de la géométrie du corps

4. Représentation à l'aide de primitives volumiques

- ✦ La recherche d'un modèle toujours plus proche du modèle réel a conduit à considérer des primitives volumiques (cylindres, ellipsoïdes, sphères).



- ✦ Développés au cours des années 75-80, ces modèles ne produisent pas de meilleurs résultats visuels que les modèles surfaciques.

Dans des applications où la détection de collisions est importante, cette approche de modélisation est intéressante.

Représentation à l'aide de primitives volumiques



Don Herbison-Evans

SIGGRAPH' 78,

Computer Graphics 80,

IEEE CG & A 82.

ellipsoïdes



sphères

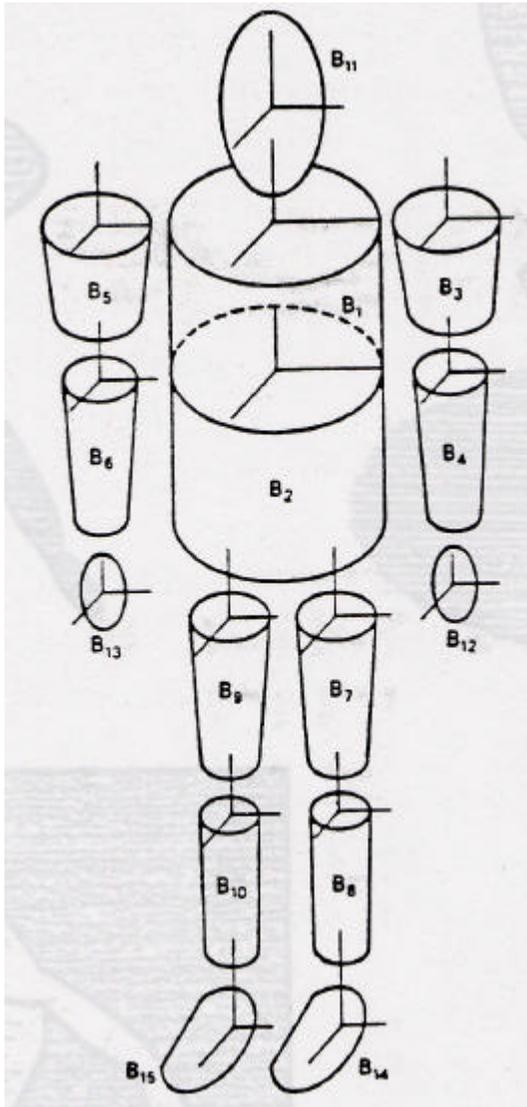
Badler et al. (79)



Computing Surveys, vol. 11, no. 1.

Représentation de la géométrie du corps

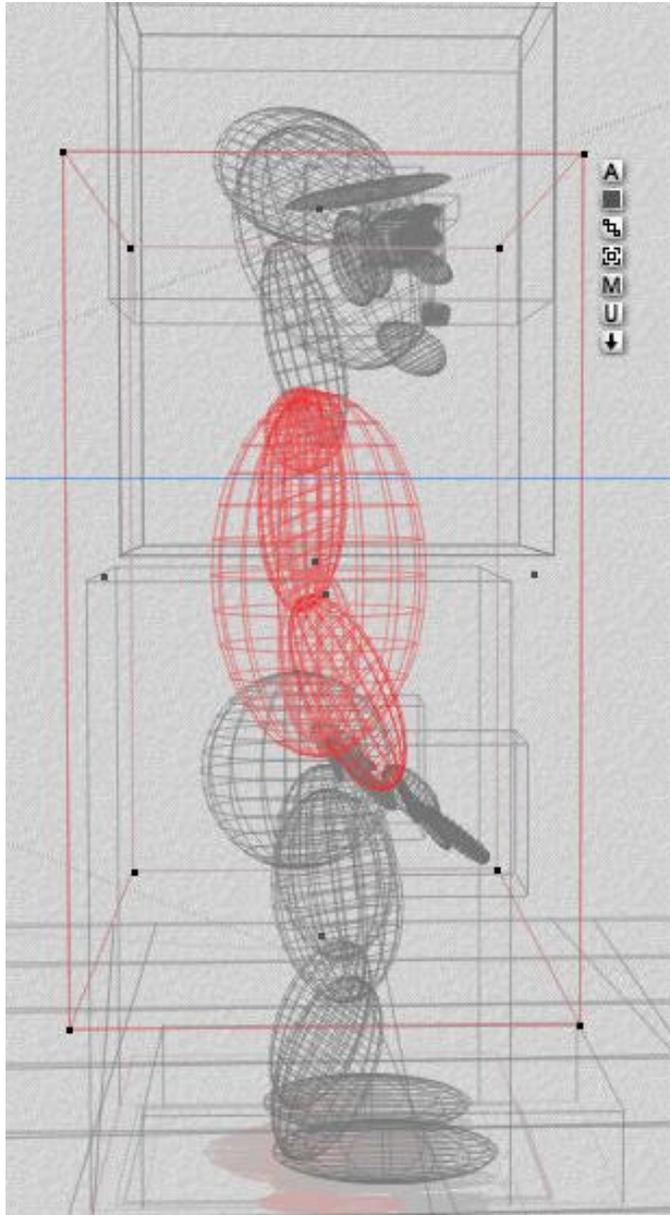
Des modèles hybrides où l'on trouve à la fois des cylindres, des cônes elliptiques, des ellipsoïdes et des sphères, articulés les uns aux autres.



Human body dynamics: impact, occupational, and athletic aspects. Édité par D. N. Ghista, Clarendon Press, 1982.

Représentation de la géométrie du corps

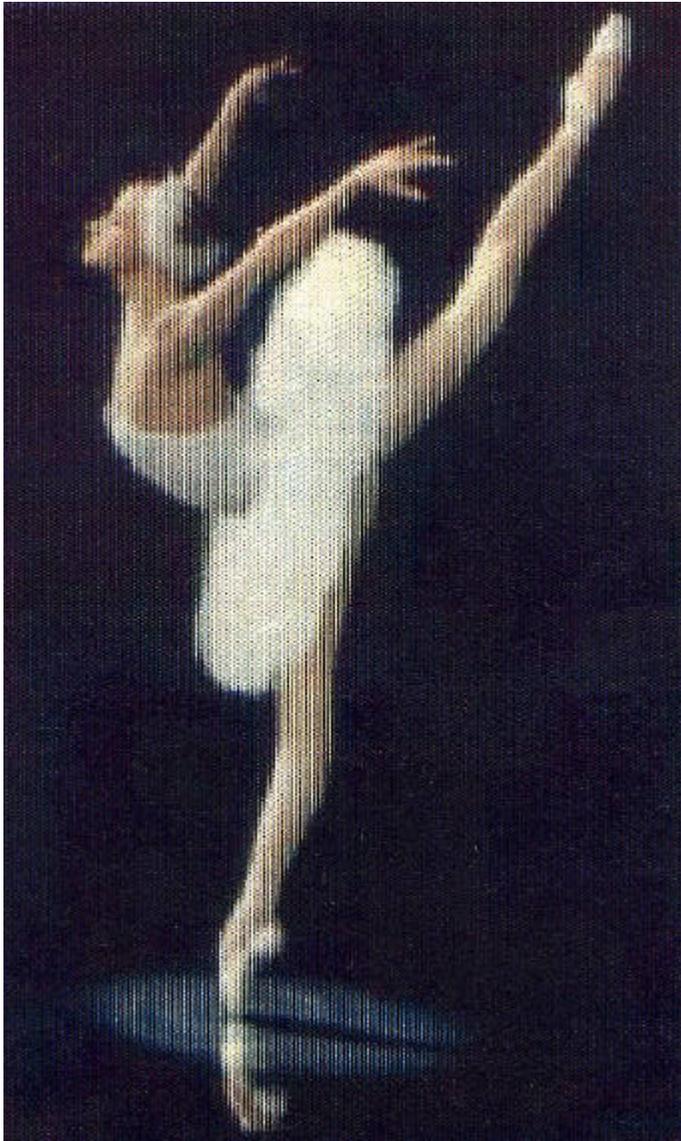
5. Représentation à l'aide de surfaces implicites



Capacité de se combiner avec des primitives voisines.

Coûteuse au point de vue calcul.

Représentation à l'aide de surfaces implicites



500 métaballes environ et quelques ellipsoïdes.

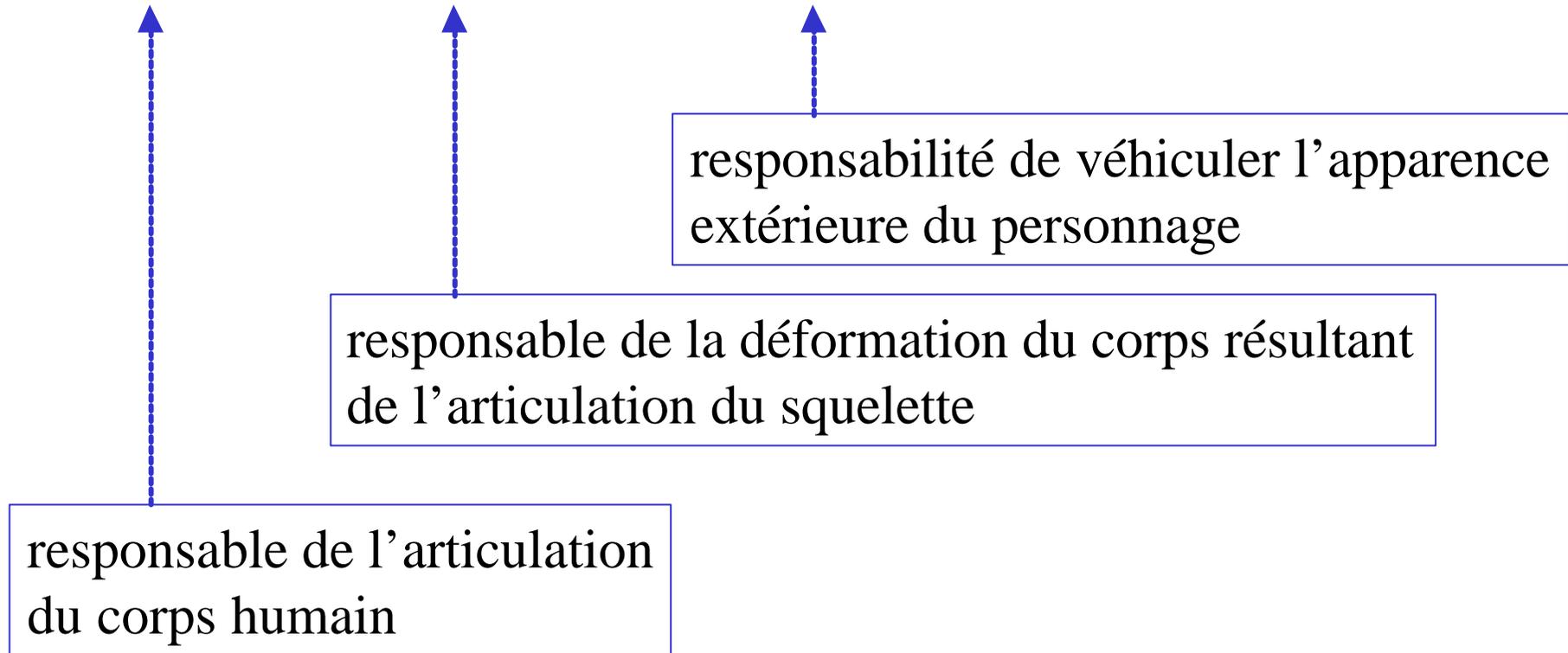
S. Yoshimoto, *Ballerinas Generated by a Personal Computer*.
The Journal of Bvisualization and Computer Animation,
v. 3, p. 85-90, 1992.

Le modeleur d'Imagine 4.0 possède un éditeur de *metaballs*.

Représentation de la géométrie du corps

6. Approches par couches

- ✦ Il s'agit de construire le personnage en plusieurs couches composées du squelette, des muscles et de la peau.



Approches par couches

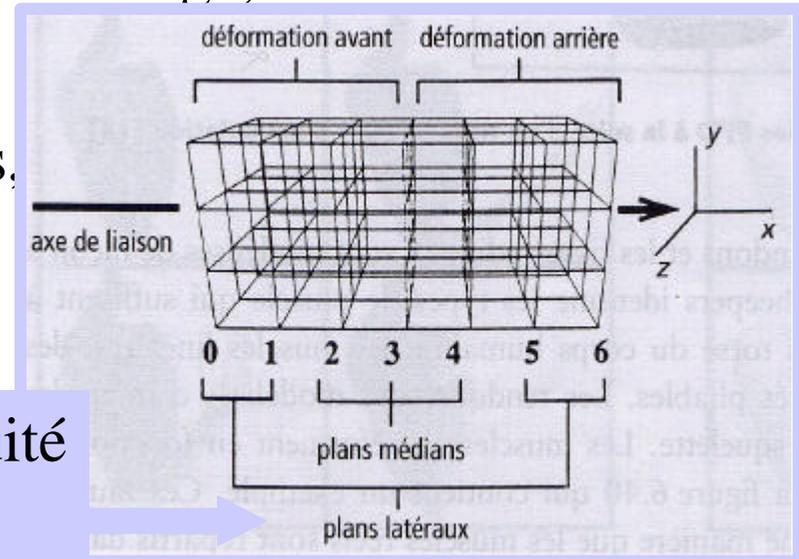
J. E. Chadwick et al. Layered Construction for Deformable Animated Characters. SIGGRAPH'89, pp.243-252.

- **couche squelettique** : structure d'arbre permettant de contrôler le mouvement du personnage,

Renferme plusieurs caractéristiques :

- contraintes d'angles aux articulations,
- paramètres de chaque lien,
- caractéristiques physiques.

Les plans latéraux préservent la continuité aux frontières.



- **couche musculaire** : attachée à la couche squelettique,

Elle n'est pas basée sur l'anatomie; sa seule fonction est de déformer la géométrie de la surface en fonction du mouvement des articulations.

Des déformations de forme libre (FFD) sont proposées pour produire des gonflements de muscles et des plissements de peau.

Approches par couches

- couche de la peau et des vêtements :
Représente la surface visible du personnage.

Subit des déformations provenant de la
couche musculaire.



*** La modélisation de cette couche n'est pas précisée. ***

Approches par couches

R. Boulic et al. *The Humanoid Environment for Interactive Animation of Multiple Deformable Human Characters*. *Computer Graphics Forum*, 1995, pp.337-348.

- Utilisation des *métaballes* pour modéliser les os, les muscles et les tissus adipeux.

Chaque *métaballe* est rattachée à une composante du squelette.

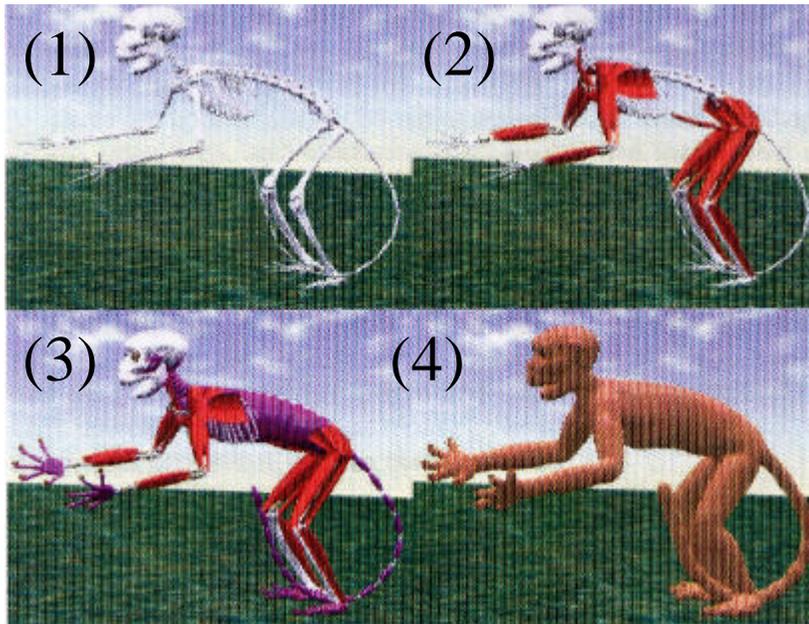
- 3 étapes dans la construction de la peau :
 1. Construction de surfaces implicites qui résultent de la combinaison de *métaballes*.
 2. Construction d'un échantillonnage de points issus de cette surface implicite.

Ces points joueront le rôle de points de contrôle d'une surface B-Spline pour chaque partie du corps.

3. Approximation polygonale de ces surfaces B-Splines.

Approches par couches

J. Wilhelms et A. van Gelder. *Anatomically Based Modeling*. SIGGRAPH' 97, pp. 173-180.



(1) Squelette : maillages triangulaires et ellipsoïdes.

(2) Muscles

(3) Tissus *généralisés* : donnent la forme aux régions où les os et les muscles ne sont pas représentés exactement.

(4) Peau.

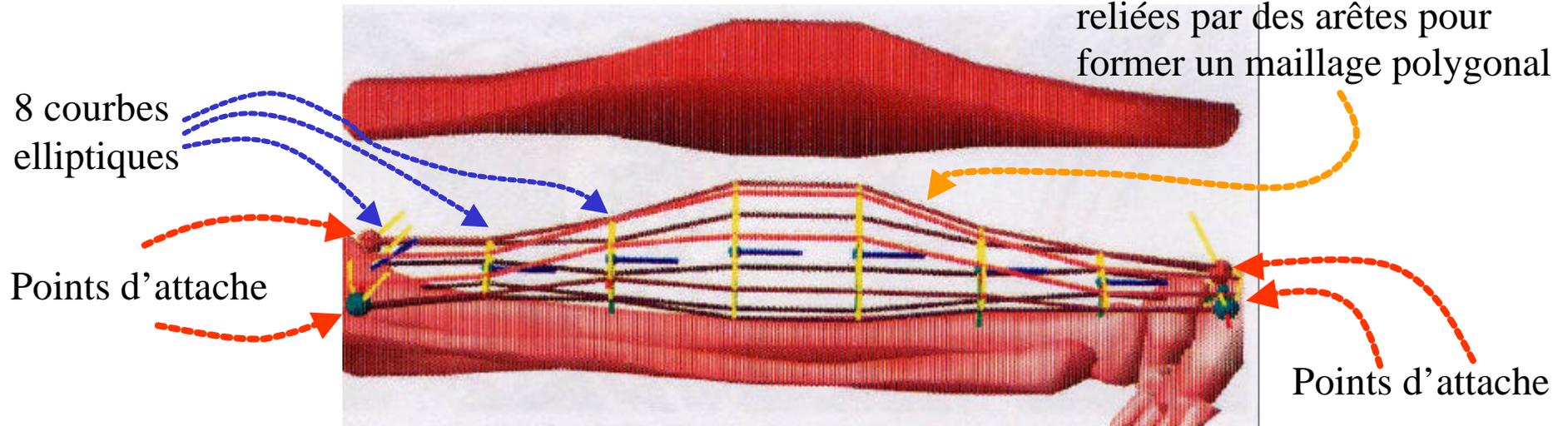
✦ Le squelette et les tissus *généralisés* sont représentés à l'aide de maillages triangulaires et d'ellipsoïdes.

Leurs composantes ne changent pas de formes au cours du mouvement mais peuvent changer de position l'une p/r à l'autre.

La taille et l'emplacement de chaque composante varient en fonction de la taille d'un segment de base.

Approches par couches

- ✦ Le modèle de construction des muscles est défini à l'aide des 4 points d'attache suivants :



- ✦ Un maillage triangulaire recouvre les composantes précédentes.
-

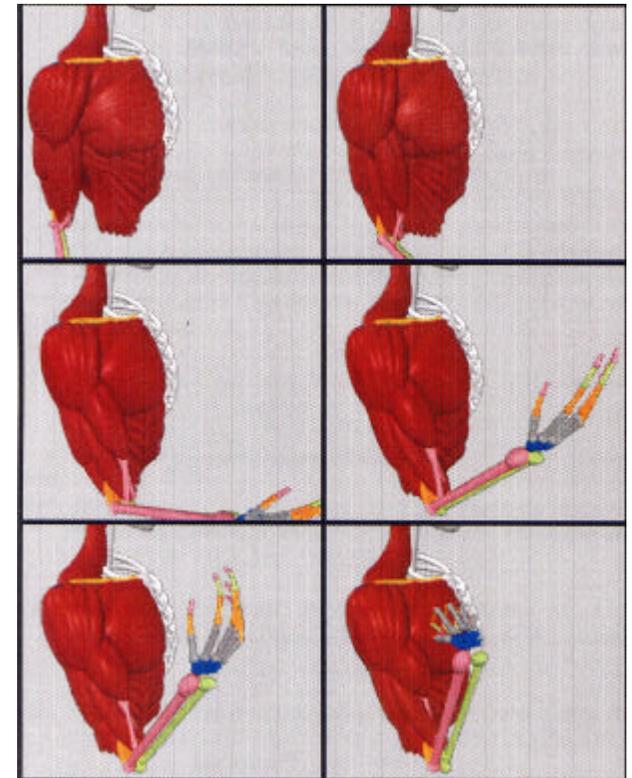
Approches par couches

F. Scheepers et al. *Anatomy-Based Modeling of the Human Musculature*. SIGGRAPH' 97.

- De nouvelles méthodes de modélisation plus précises d'un point de vue anatomique du corps humain sont proposées.
- Les os, les muscles, les tendons et les tissus adipeux sont modélisés (fonctions implicites) de façon à occuper le volume approprié.
- On considère les muscles rouges qui suffisent à modéliser la partie supérieure du torse.
- Les muscles remplissent le squelette de la même manière que les muscles réels sont répartis dans le corps humain.
- Pour déformer la peau, l'utilisateur définit des fonctions implicites en cumulant celles des structures sous-jacentes.

3 sortes de muscles :

- muscles rouges ou striés de la motricité volontaire,
- muscles blancs ou lisses qui échappent au contrôle de la volonté,
- le cœur : un muscle strié involontaire et automatique.



Représentation de la géométrie du corps

7. Modélisation anthropométrique

- ✦ Permet de créer un personnage type à multiples utilisations qui peut être habillé, mis en différentes positions de mouvement et peut facilement être intégré dans des programmes de jeux ou dans une animation plus élaborée.
- ✦ Cela apporte des solutions rapides pour les créateurs moins exigeants qui ont besoin d'un modèle simple prêt-à-l'emploi.

Exemple d'un tel logiciel : Poser 5.

- ✦ Consiste à définir un certain nombre de repères caractéristiques à chaque être humain afin de les représenter par des valeurs numériques.

Représentation de la géométrie du corps

8. Acquisition de données en numérisant des êtres humains ou des modèles réels

Plusieurs techniques sont proposées :

1. Relever des mesures 3D sur un visage à l'aide de photographies
 - On photographie le même visage sous différents plans tout en gardant une distance constante entre l'objectif de la caméra et la tête visée.
 - À partir d'images photographiques, on obtient des images numériques transposables dans un logiciel de type Autocad.
 - Des polygones (contour des formes) sont relevés qui vont mener à la construction 3D.

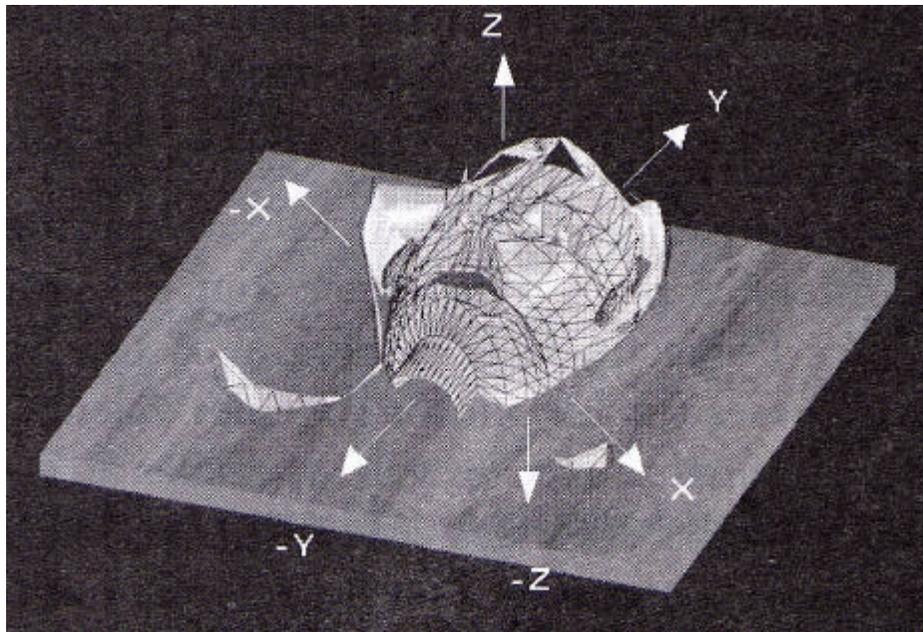
Procédé laborieux et trop technique.

Acquisition de données en numérisant des êtres humains ou des modèles réels

2. Relever manuellement sur un visage ou un modèle quelconque des valeurs numériques à l'aide d'une règle et d'un compas.

Supposons par exemple que nous avons devant nous un masque en plâtre qui sert de modèle, voici les étapes à suivre :

- On place le système de référence des axes x , y , z sur le modèle.



Tiré de J. Dif, Modélisation du corps humain en 3D.
Vuibert, 98, 355p.

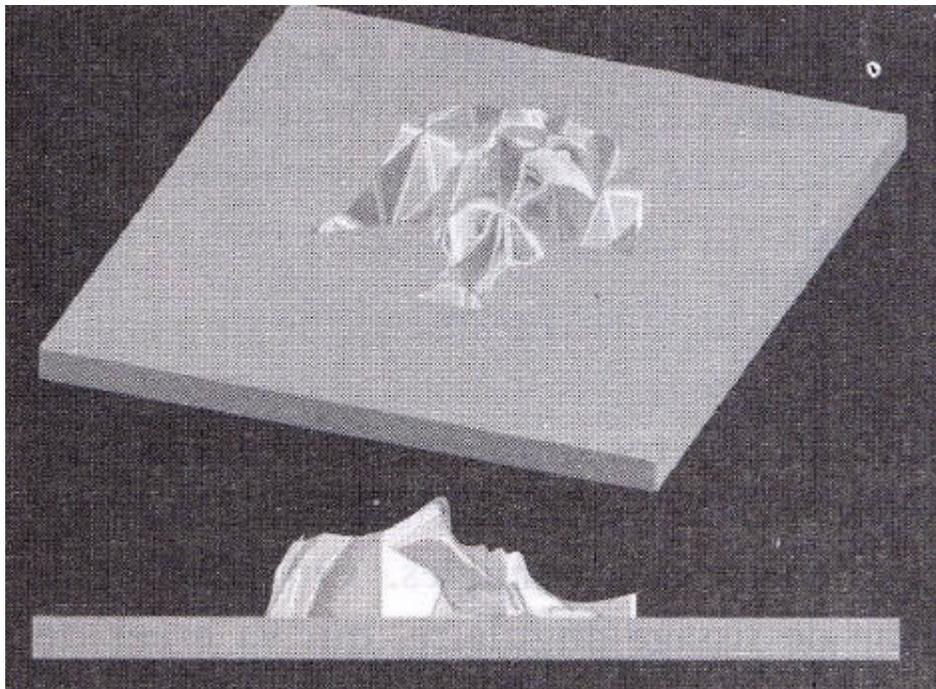
On constate que le visage p/r au plan sagittal est symétrique.⁴⁵

Acquisition de données en numérisant des êtres humains ou des modèles réels

- On travaille ensuite sur une moitié du masque.

En utilisant un crayon, on marque par des points les repères les plus significatifs du visage en respectant son relief: on marque les éminences et les fossettes dans leurs points de profondeur maximale.

Une fois tous ces points marqués, on mesure leurs coordonnées en x, y et z et on les réunit par de gros triangles.



Tiré de J. Dif, Modélisation du corps humain en 3D. Vuibert, 98, 355p.

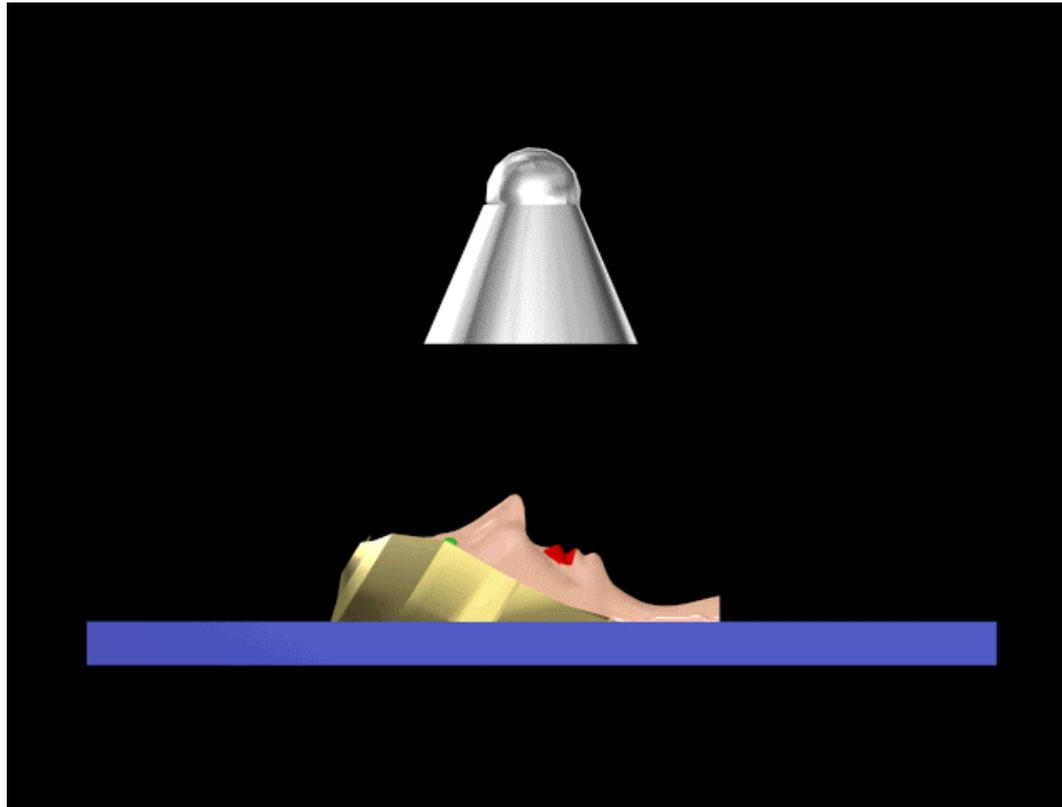
Acquisition de données en numérisant des êtres humains ou des modèles réels

- Les données obtenues sont concentrées dans un tableau où chaque composante représente les coordonnées des 3 sommets.
- En vue de créer la partie symétrique du masque, nous devons copier dans le tableau les mêmes valeurs en inversant le signe des valeurs de x .
- Le maillage obtenu peut être affiné en augmentant le nombre de triangles en ajoutant des repères supplémentaires.

Technique d'enregistrement par mesure directe laborieuse.

Acquisition de données en numérisant des êtres humains ou des modèles réels

3. Scanner volumique ou digitaliseur 3D



Réalise le balayage du modèle par l'intermédiaire d'un faisceau infrarouge, laser ou ultrason.

Les données sont ensuite transposées en maillages polygonaux.

Livres de référence

- **Rick Parent**, Animatique Algorithmes et techniques. Vuibert, Paris, 2003, chap. 6.
- **Jean Dif**, Modélisation du corps humain en 3D. Vuibert, Paris, 1998, 355p.