

HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

OUTILS ET METHODES POUR LA MODELISATION GEOMETRIQUE ET INERTIELLE DU CORPS HUMAIN Application au handicap physique

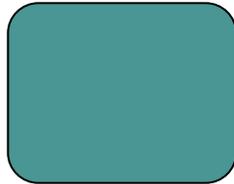
Antonio PINTI

Equipes
IPROS INSERM Orléans
LAMIH CNRS Valenciennes

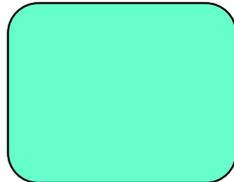
Encadrement

Hechmi TOUMI
Eric WATELAIN

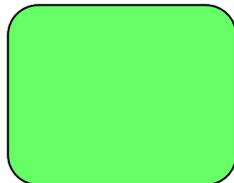
Plan de l'exposé



INTRODUCTION GENERALE
Laboratoires d'accueil et Parcours professionnel



**ACTIVITES D'ENSEIGNEMENT ET
D'ADMINISTRATION DE LA RECHERCHE**



TRAVAUX DE RECHERCHE
Méthodologie et Perspectives



CONCLUSION
Axes de recherche



INTRODUCTION GENERALE
Laboratoires d'accueil et Parcours professionnel

Laboratoires d'accueil

- LAMIH Valenciennes (1996-)

Thématique : Transports terrestres



- ERIM LABS Clermont Ferrand (2000-2010)

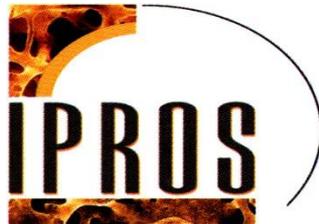
Thématique : Mouvement et santé



Université Blaise Pascal

- IPROS Orléans (2010-)

Thématique : Architecture osseuse et imagerie médicale



Formation

- 1987 DEUST en Micro Informatique Industrielle à l'Université de Valenciennes
- 1988 Licence des Sciences de l'Industrie à l'Université de Saint-Quentin (AB)
- 1989 Maîtrise des Sciences de l'Industrie à l'Université de Saint-Quentin (AB)
- 1990 DEA en Automatismes et Informatique Industrielle (Univ. Mulhouse) (AB)
 - « Etude des systèmes parallèles – Applications dans le domaine médical »
 - Directeur de Recherche : Julien GRESSER (PU 61ème Univ. Mulhouse)
- 1993 Doctorat en EEA à l'Université de Mulhouse (Mention : Très Honorable)
 - « Algorithmes parallèles sur transputers – Application en neurosciences »
 - Directeur de Recherche : Julien GRESSER (PU 61ème Univ. Mulhouse)
 - Rapporteur : Jean-Claude ANGUE (PU 61ème Univ. Valenciennes)
 - Rapporteur : Michel MERIAUX (PU 27ème Univ. Poitiers)
 - Examineur : Jean-Paul MACHER (PH CHS Rouffach)
 - Examineur : Jean MERCKLE (PU 61ème Univ. Mulhouse)

Parcours professionnel recherche

- 1990 – 1993 Doctorant à la FORENAP
 - Centre Hospitalier Spécialisé de Rouffach
- 1993 - 1995 Post Doctorat au Laboratoire 3D Image Processing
 - Centre Commun de Recherche d'Ispra en Italie
- 1995 - 1996 Chercheur au Laboratoire TROP
 - Université de Mulhouse
- 2000 – 2010 Chercheur associé à l'ERIM et BAPS
 - Université de Clermont Ferrand
- Depuis 1996 Chercheur au LAMIH - CNRS
 - Université de Valenciennes
- Depuis 2010 Chercheur associé à l'IPROS - INSERM
 - Université d'Orléans

Parcours enseignement

- 1991 –1992: Vacataire en mathématiques
 - FST de Mulhouse
- 1992 –1993: ATER en 61^{ème} section
 - IUT GEII de Mulhouse
- 1995 – 1996: ATER en 63^{ème} section
 - IUT GEII de Mulhouse
- 1996 – 1998: Vacataire en informatique
 - IUT GMP de Saint Quentin
- Depuis 1998: Maître de Conférences en 61^{ème} section
 - ENSIAME FIP de Valenciennes



**ACTIVITES D'ENSEIGNEMENT ET
D'ADMINISTRATION DE LA RECHERCHE**

Activités d'enseignement

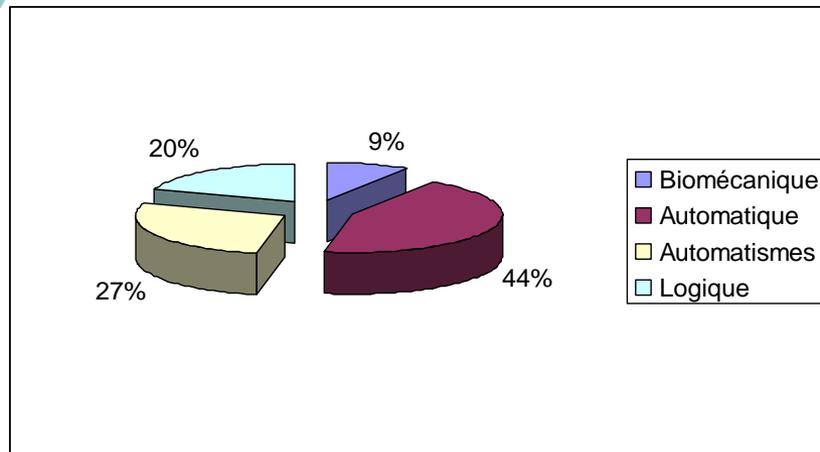
Charge d'enseignement pour 2011-2012

<i>Matières enseignées</i>	<i>CM</i>	<i>TD</i>	<i>TP</i>
Automatismes et informatique industrielles <ul style="list-style-type: none"> • Logique pour l'industrie (FIP-PIAD1) • Système automatisé de Production (FIP-PIAD2) 	16 16	24 16	- 24
Automatique <ul style="list-style-type: none"> • Contrôle et régulation des systèmes linéaires (FIP-IU1) • Correction des systèmes linéaires (FIP-IA2) 	- -	- -	45 45
Biomécanique <ul style="list-style-type: none"> • Traitement d'images en biomécanique (FSMS-Master 1) • Modélisation en biomécanique (FSMS-Master 2) • Biomécanique et santé (HEI-IU2) 	4 - -	- 3 15	- - -
Volume horaire prévisionnel total équivalent TD	226 heures		

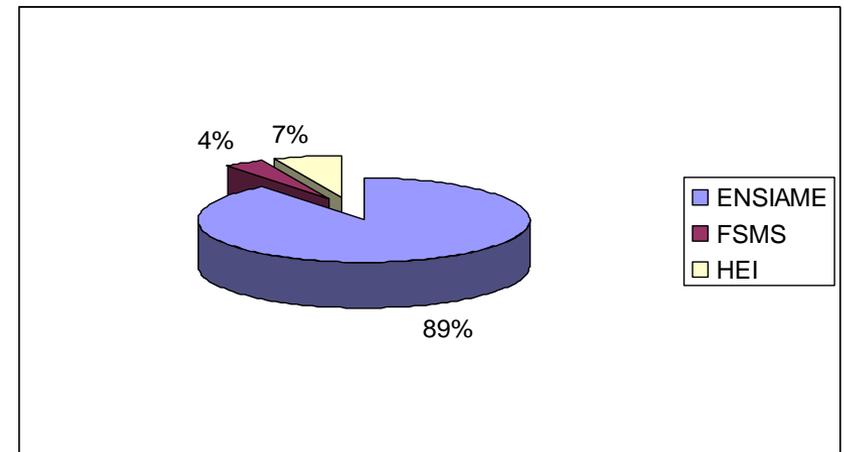
Encadrement de projets de fin d'études : 2 Ensiamé GI
 : 2 Master 2 QHSE
 Encadrement de projet TER : 2 HEI IMS 4

Activités d'enseignement

Répartition de l'enseignement



Matières



Instituts

Activités d'enseignement

- Porteur de projets d'investissement et d'équipements de salles pédagogiques
- Equipement d'une salle de TP Matlab
 - Acquisition du logiciel Matlab et mise en place de TP d'automatique
- Equipement d'une salle de TP de Logique combinatoire et séquentielle
 - Acquisition de maquettes et logiciels pédagogiques

Responsabilités pédagogiques

- 2000-2002 : Responsable pédagogique de la 3^{ème} année cycle ingénieur ENSIAME FIP
 - Etudiants en formation par apprentissage : 39
 - Etudiants en formation universitaire : 35
- Depuis 2000 : Responsable du module de formation en Automatismes et Informatique Industriels (A2I) 1^{ère} et 2^{ème} années du cycle préparatoire ENSIAME FIP
 - Etudiants en 1^{ère} année : 30
 - Etudiants en 2^{ème} année : 25
- Depuis 2000: Participation à l'audition des candidats (cycles préparatoire et ingénieur)
- Depuis 2002: Participation aux forums 'poursuite d'études' et présentations dans les lycées et IUT

Encadrement de recherche

- DEA ou Master Recherche (10)
 - 61^{ème} section : 9
 - 74^{ème} section : 1

- Thèses soutenues (5)
 - Patrick HEDOUX, 61^{ème}, (1999-2004)
 - Julien LÉBOUCHER, 74^{ème}, (2002-2007)
 - Fabienne RAMBAUD, 61^{ème}, (2004-2007)
 - Han KANG, 61^{ème}, (2005-2009)
 - Bashar DREIBATI, 74^{ème}, (2007-2010)

- Thèses en cours (2)
 - Racha DOYA, 74^{ème}, (2010-)
 - Raphael COURSIER, 74^{ème}, (2011-)

→ Depuis 2007: Titulaire d'une PEDR

Collaborations scientifiques nationales

- 1996-2003 : Clinique du Parc Saint-Saulve, «Cinématique des prothèses du genou»
- 2000-2005 : Hôpital de Tourcoing et le centre Elan de l'hôpital de Wattrelos, «Quantification des volumes tissulaires chez l'hémiplégique»
- 2000-2009 : ERIM et BAPS de Clermont-Ferrand, «Etude de la force et fatigue musculaires consécutives à une électrostimulation»
- Depuis 2008 : GHICL et HEI Lille, «Modélisation du handicap de sujets atteints de sclérose en plaques»

Collaborations scientifiques internationales

- 2001-2002 : CCR Ispra (Italie), Institut de santé et de la protection du consommateur (IHCP), « Analyse des débris de prothèses articulaires »
- Depuis 2002: Université de Queen's à Kingston (Canada), « Anthropométrie et biomécanique de la femme enceinte »
- Depuis 2008: Institut National de la Jeunesse de l'Education Physique et du Sport (INJEPS), Université d'Abomey-Calavi (Bénin), « Etude des douleurs de dos de la femme enceinte africaine »

Implication dans des groupements de recherche

- 1999-2008 : IRRH (Institut Régional de Recherche sur le Handicap du Nord Pas de Calais).
- Depuis 1999 : IFRATH (Institut Fédérative de Recherche sur les Aides Techniques pour personnes Handicapés).
 - + Membre élu de l'actuel CA
- Depuis 2003 : GDR ISIS et STIC Santé.

Animation de la recherche

- Conférences internationales : 3
 - Human : 2007 (Timimoun, Algérie)
 - ISB : 2006 (Valenciennes)
 - AAATE : 2005 (Lille)
- Conférences nationales : 7
 - Handicap Paris : 2002-2012 (membre CS), bisannuelle
 - SB : 2002 (Comité d'organisation)
- Journées thématiques : 2
 - IFRATH : 2007, 2011
 - GDR Stic Santé : 2005

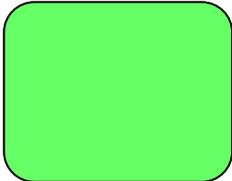
Valorisation scientifique

- 1995-1998 : TMR Marie Curie, «Parallélisme en traitement d'images», 80 K€.
- 2000-2004 : Convention entre les CH de Tourcoing, Wattrelos et l'UVHC, «IRM de sujets hémiplésiques», 10 K€.
- 2004 & 2006: Bourses de recherche de l'IRSST (Institut Robert Sauvé du Canada), «Evaluation d'un système de mesure anthropométrique», 20 K€.
- 2004 : Bourse Egide, «Etude biomécanique de la femme enceinte», 9 K€.
- 2006-2008 : Projet PROTEUS (PROtection de la TÊte des USagers vulnérables) du PREDIT III, 130 K€.

Production scientifique

Chapitres d'ouvrages	2
Revue internationale	12
Revue nationale	10
Conférences avec actes et ISBN	50
Conférences avec actes sans ISBN	15
Total	89

Rapports de recherche	5
Journaux d'actualités de recherche	3
Séminaires	10
Total	18



TRAVAUX DE RECHERCHE
Méthodologie et Perspectives

Synthèse de la recherche

Thématique de recherche développée :

- Modélisation mathématique par intégration de connaissances expertes

- Traitement et analyse d'images
- Traitement et analyse de données

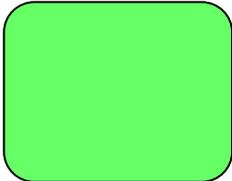
→ Domaine de recherche : Sciences et technologies pour la santé et l'handicap (Quantification de la déficience motrice)

Démarche générale

- Modèle mathématique : Description d'un système complexe à l'aide d'outils et théories mathématiques
- Connaissances expertes : Connaissances acquises de l'expert (expérience) qui l'aide à la prise de décision dans son domaine d'activité
- Comment intégrer ces connaissances expertes dans les modèles mathématiques ?
- Différentes possibilités :
 - Approche statistique
 - Contraintes topologiques
 - Heuristiques et connaissances à base de règles
 - ...

Problématique et approche retenue

- Comment tenir compte, lors de la conception d'un modèle, des connaissances des experts ?
- Objectif qui impose :
 - La maîtrise de disciplines variées
 - L'analyse des informations recueillies
 - Consensus sur la description et la formalisation d'un référentiel
 - Description objective des connaissances suivant des règles ontologiques (verbalisable) [Gruber 1993]



TRAVAUX DE RECHERCHE
Traitement et analyse d'images

Traitement et analyse d'images

Contribution à la classification automatique de tissus corporels par intégration des connaissances médicales qualitatives

- Méthodes de segmentation automatique:
 - Non supervisée
 - Semi supervisée
 - Supervisée ←

- 4 types d'approches :
 - Contours
 - Régions
 - Classification pixel ←
 - Hybride

Acquisition des images

Système d'acquisition IRM

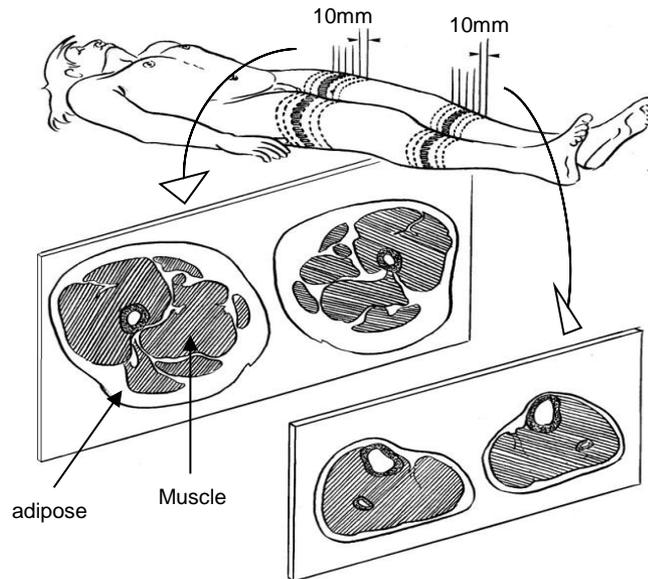


Image IRM

Coupe axiale

Epaisseur de coupe: 10 mm

Espace inter coupe: 1 mm

Précision : 512*512 pixels

Codage 12 bits

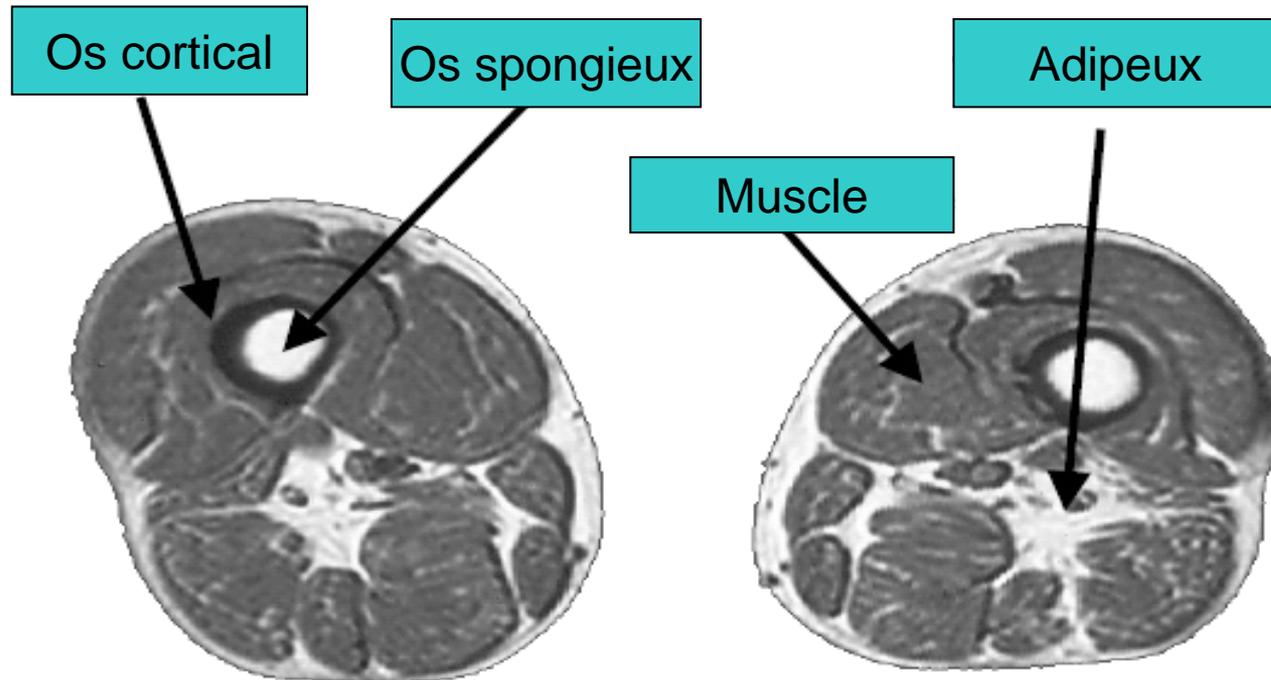
Champs d'acquisition : 500 mm



Enregistrement de séquences
d'images DICOM

Reconnaissance des tissus

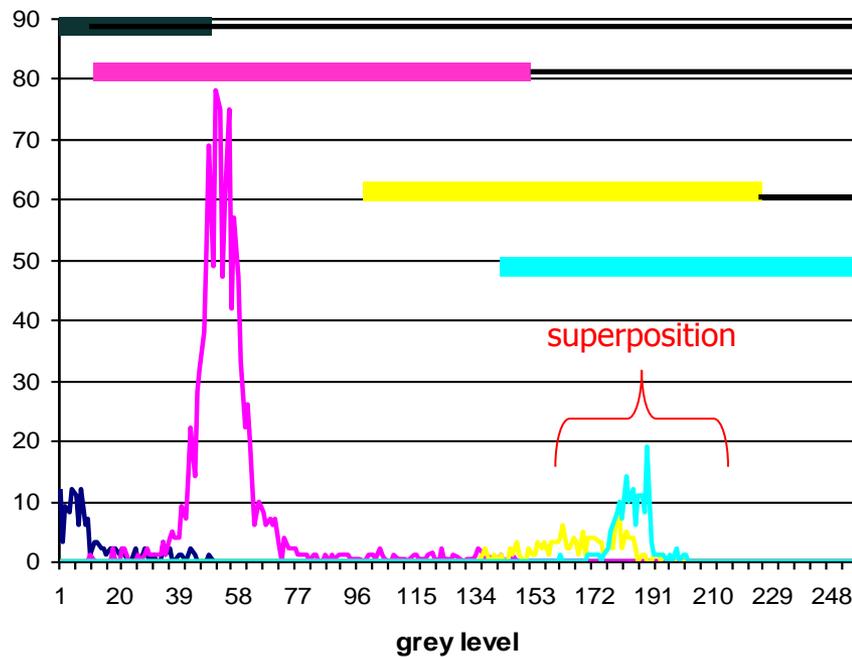
Coupe axiale au niveau de la mi cuisse



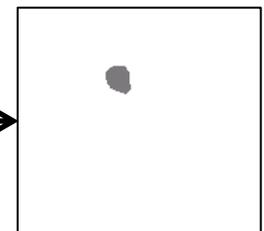
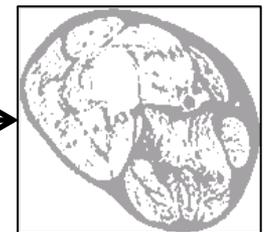
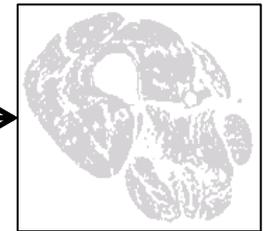
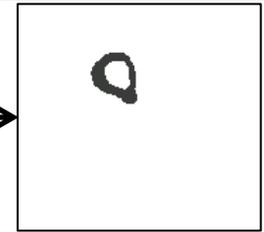
Problématique

Segmentation manuelle par un expert

— cortical — muscle — adipeux — spongieux



Histogramme

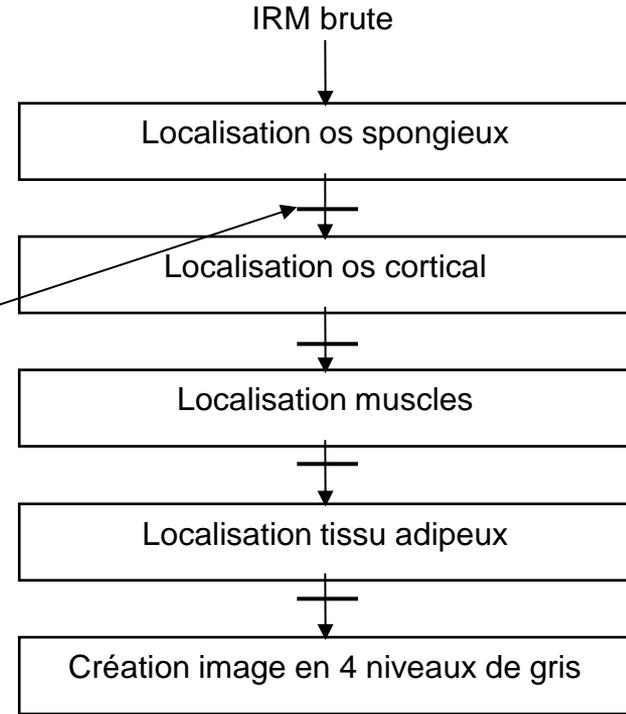


Traitement et analyse d'images

- Méthode de segmentation multimodale

Caractéristiques des données expertes :

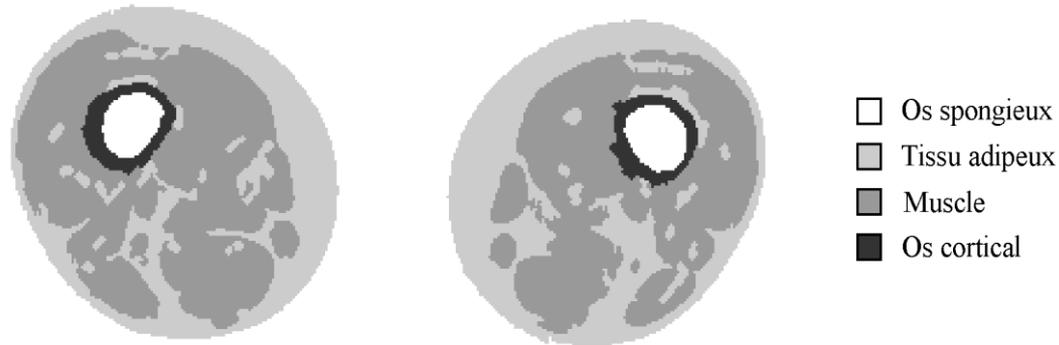
- Niveau de gris
- Forme géométrique
- Surface
- Topologie



(Hédoux, 2004)

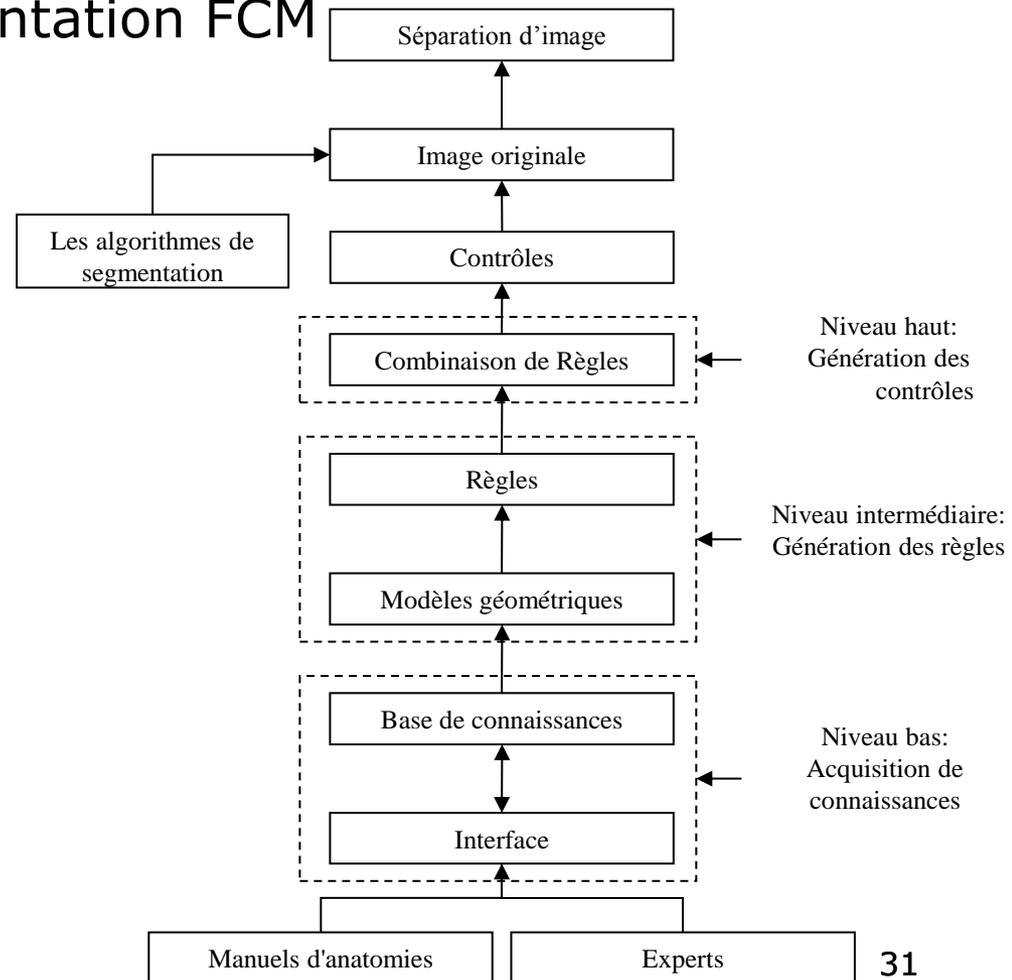
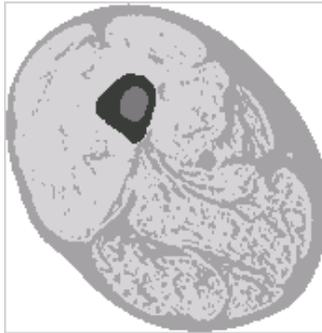
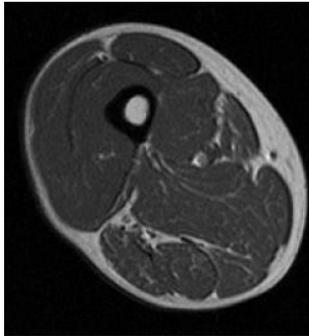
Traitement et analyse d'images

- Image résultat après classification des tissus



Traitement et analyse d'images

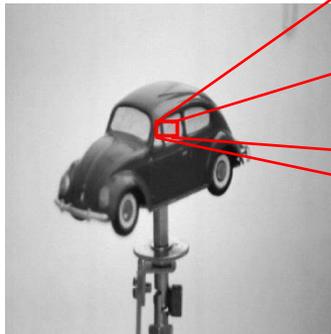
○ Méthode de segmentation FCM



(Kang, 2009)

Traitement et analyse d'images

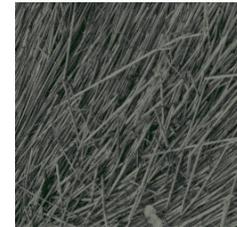
Etude de la classification grâce à une approche combinant informations spatiales et statistiques



64	60	69	100	149	151
65	62	68	97	145	148
65	66	70	95	142	146
66	66	68	90	135	140
66	64	64	84	129	134
59	63	62	88	130	128



Moy=137



Moy=50



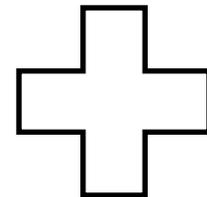
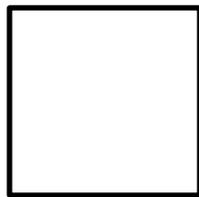
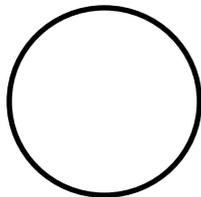
Moy=158



Moy=79

Traitement et analyse d'images

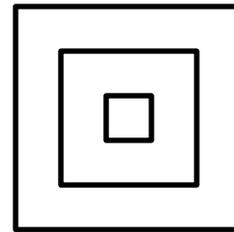
- Définition des imageries
 - Région d'intérêt
 - Caractéristiques géométriques
 - Forme
 - Taille
 - Position



Traitement et analyse d'images

- Répartition spatiale des imageries

- En ligne
- En colonne
- En expansion
- ...



Traitement et analyse d'images

- Informations statistiques d'une image (Haralick 1973)

- Valeur centrale: K

- Valeur moyenne: $M = \frac{1}{N} \sum_{s \in R} A[s]$

- Ecart-type: $\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{s \in R} (A[s] - M)^2}$

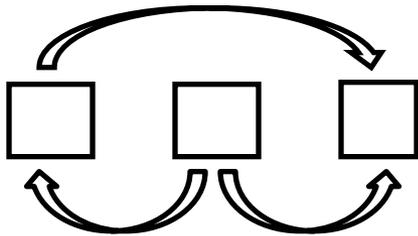
- Entropie: $H = -\sum P * \log_2(P)$

- Homogénéité: $h = \frac{1}{Nc^2} \sum_a \sum_b (Mcooc(a, b))^2$

- ...

Traitement et analyse d'images

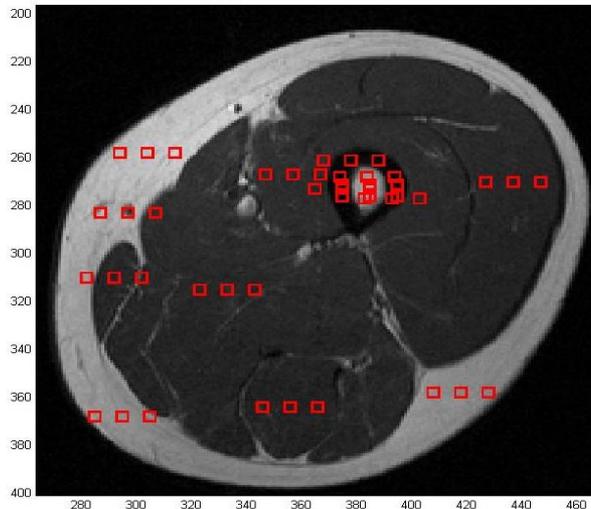
- Aspect combinatoire
 - Association des caractéristiques des imajettes
 - Corrélation entre les imajettes



$$\hat{r}_n(X, Y) = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Traitement et analyse d'images

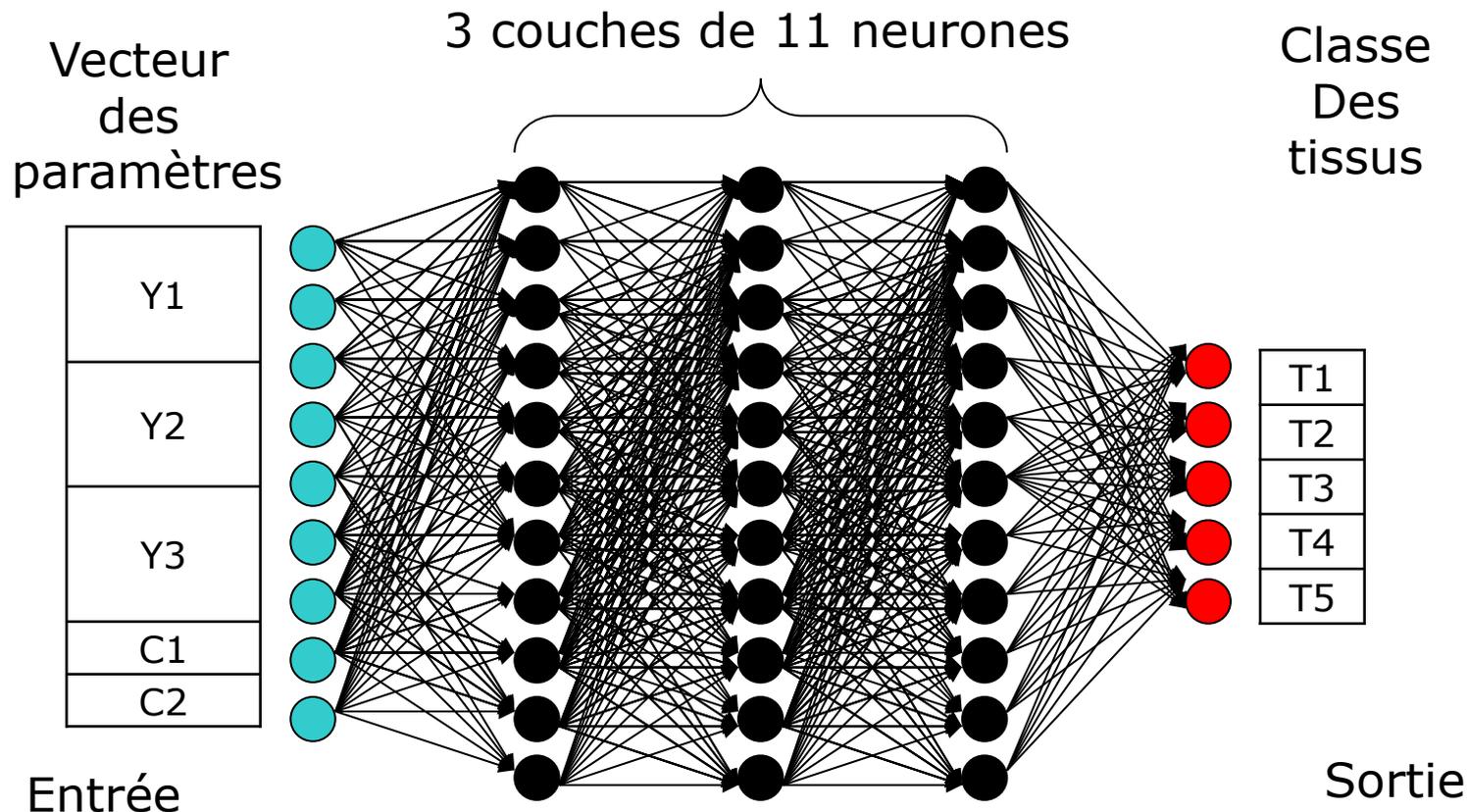
- Logiciel de classification manuelle par pointage de pixel
- Classification visuelle par un expert
- 1 base d'apprentissage
- 1 base de test



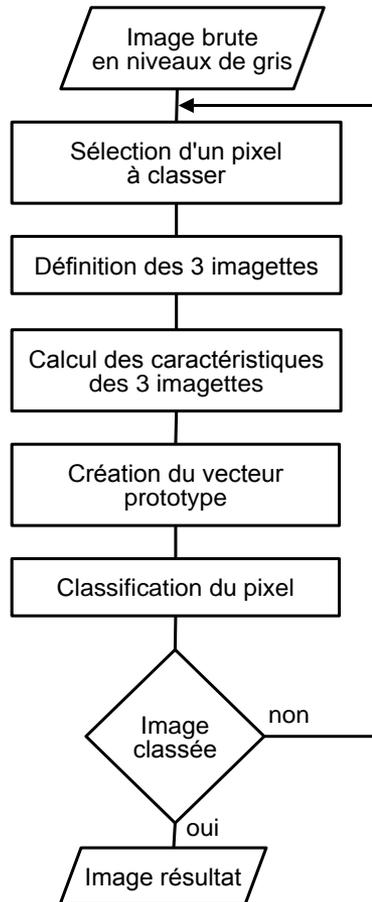
Tissu	Nombre d'échantillons par base
Fond	650
Muscle	1300
Adipeux	780
Spongieux	260
Cortical	260
Total	3250

Traitement et analyse d'images

- Méthode de segmentation par imagerie



Traitement et analyse d'images



- Classification grâce à une approche combinant informations spatiales et statistiques
- Définition des imagettes
- Choix de la répartition spatiale des imagettes
- Extraction de caractéristiques statistiques des imagettes
- Classification

Traitement et analyse d'images

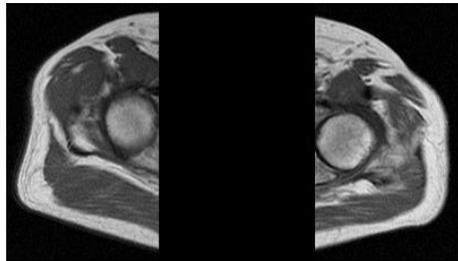
Performances calculées à l'aide de la méthode du "Hold-out"

$$E = \frac{N_s}{N_t} * 100$$

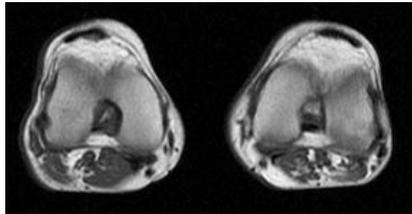
avec: E: Efficacité en %;
Ns: nombre de points classés correctement;
Nt: nombre total de points.

Tissus	Multimodale	FCM	Imagettes
Adipeux	86%	99%	96%
Cortical	67%	98%	95%
Fond	100%	100%	96%
Muscle	94%	91%	99%
Spongieux	53%	99%	88%

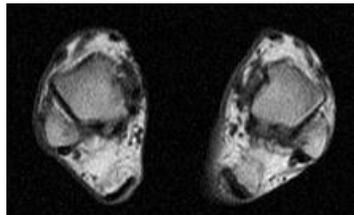
Découpe des segments



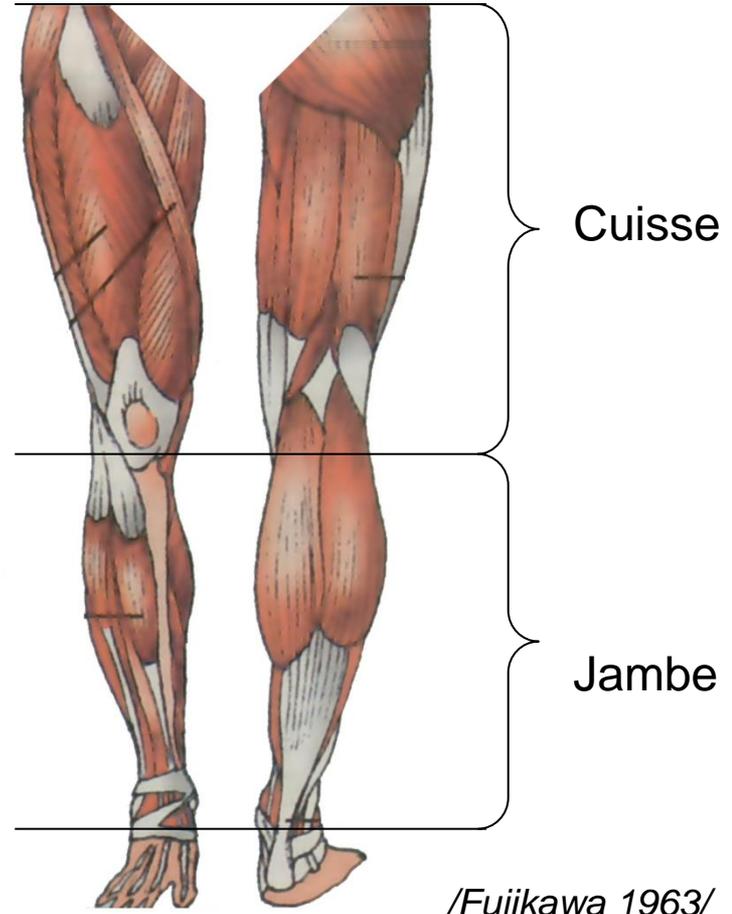
Tête fémorale



Plateau tibial



Malléole

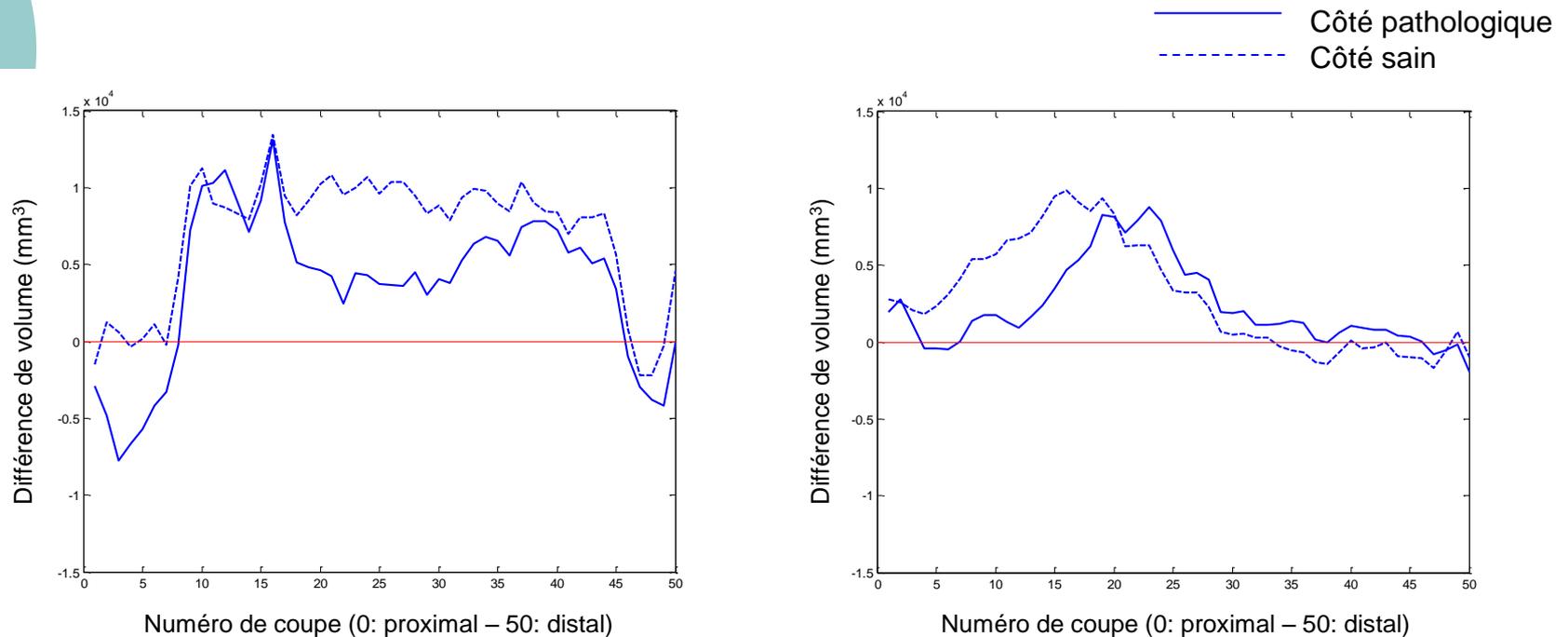


Cuisse

Jambe

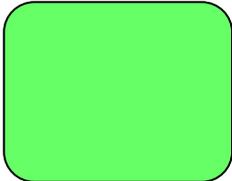
/Fujikawa 1963/

Evolution moyenne des volumes musculaires



Cuisse

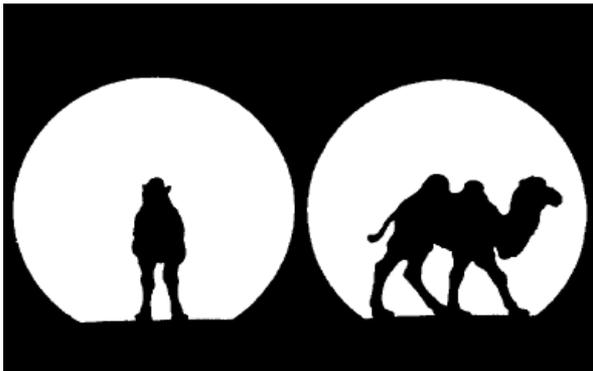
Jambe



TRAVAUX DE RECHERCHE
Traitement et analyse de données

Traitement et analyse de données

- **Principe général**
- **X** : tableau à n lignes et p colonnes
- chaque ligne caractérise un individu
- chaque colonne caractérise une variable
- **OBJECTIF** : représenter le plus fidèlement possible les nuages de points formés par les lignes et les colonnes dans leurs espaces respectifs



→ relever des structures dans l'information à partir de la forme de ces nuages

→ projeter le nuage sur des droites, ou mieux, des plans, tout en minimisant les déformations que la projection implique

→ représentation la plus fidèle possible dans une dimension aussi faible que possible

Traitement et analyse de données

○ L'analyse factorielle des correspondances multiples

- Décrire de vastes tableaux binaires faisant intervenir de nombreuses variables nominales appelés **tableaux disjonctifs complets**

$$\mathbf{R}_{(n,s)} = \begin{array}{c} \overbrace{\begin{array}{|c|c|c|} \hline 2 & 2 & 3 \\ \hline 2 & 2 & 2 \\ \hline 1 & 1 & 3 \\ \hline 1 & 2 & 4 \\ \hline 3 & 1 & 1 \\ \hline \end{array}}^{s=3} \rightarrow \mathbf{K}_{(n,p)} = \begin{array}{c} \overbrace{\begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \hline 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \hline 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline \end{array}}^{p=9} \end{array}$$

- Distance utilisée est celle dite du χ^2 (poids des lignes et des colonnes modulés par leur importance)
- Représentation dans 2 espaces :
 - Points lignes (individus)
 - Points colonnes (variables)

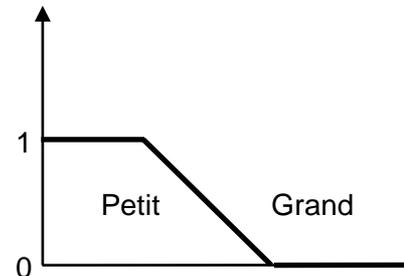
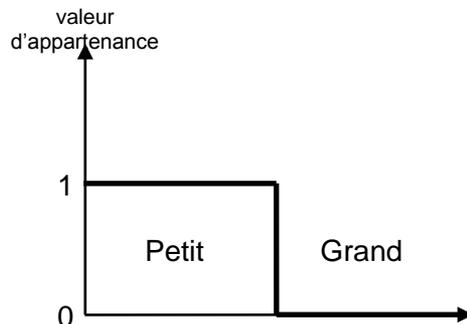
Traitement et analyse de données

Apport: Les nombres flous

- Les données manipulées lorsque nous raisonnons sont souvent incertaines (petit, moyen, élevé, bas, etc.)
→ quantifier ces données symboliques grâce aux nombres flous

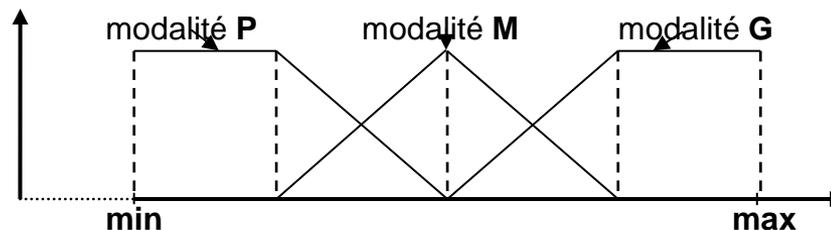
Ensembles classiques : valeur d'appartenance caractérisée par une variable binaire (1 pour « appartient », 0 pour « n'appartient pas »)

Ensembles flous : appartenance à un ensemble comprise entre 0 et 1, et déterminée par une fonction d'appartenance



Traitement et analyse de données

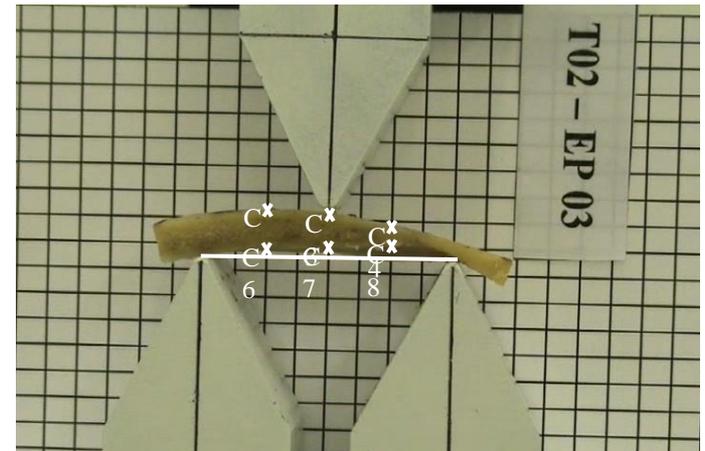
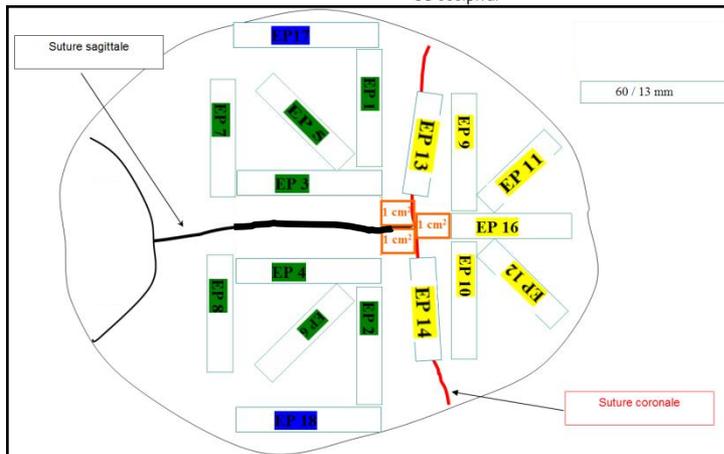
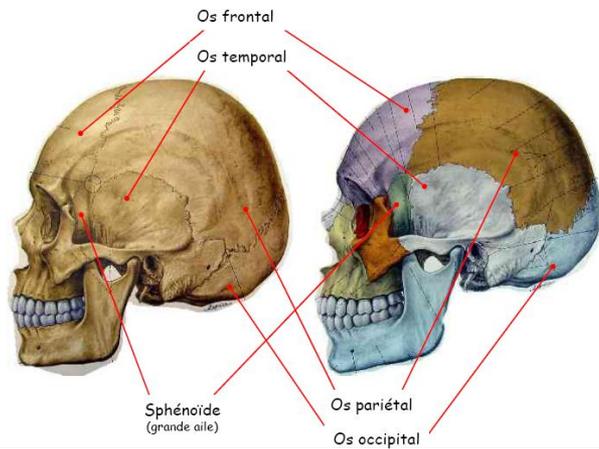
- L'analyse des correspondances multiples de données floues
 - S'applique à des tableaux de données quantitatives continues
 - Codage flou des données à l'aide de fonctions d'appartenance



- → réduction de la perte d'information inhérente au passage d'une échelle continue en une échelle ordinaire
 - Le choix du découpage influence grandement le résultat final
- L'ACM ne s'applique plus à un tableau disjonctif complet mais à un tableau de nombres flous

Traitement et analyse de données

- Analyse et modélisation d'os du crâne



(Rambaud 2007)

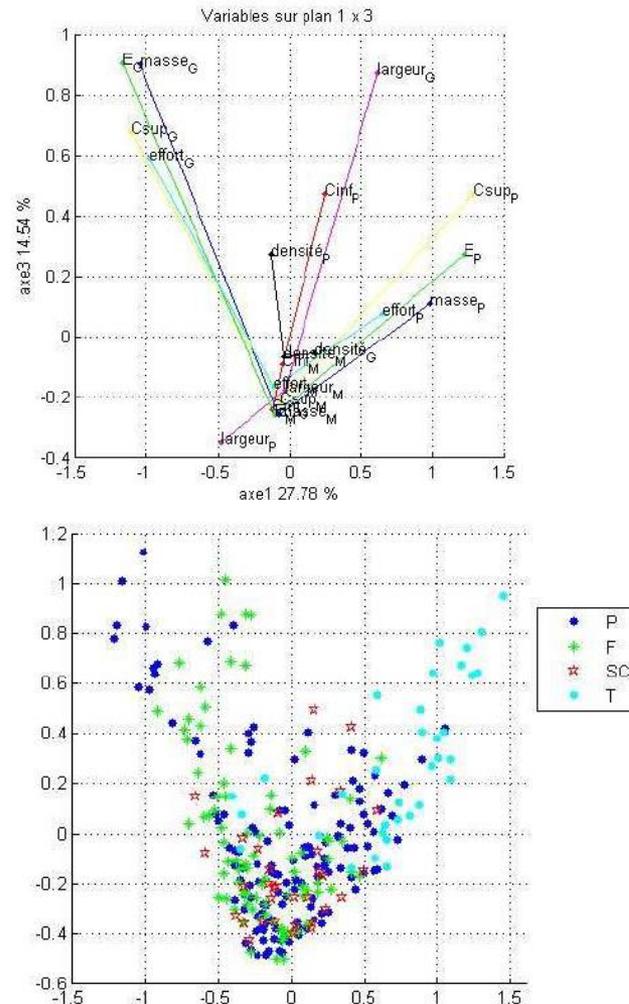
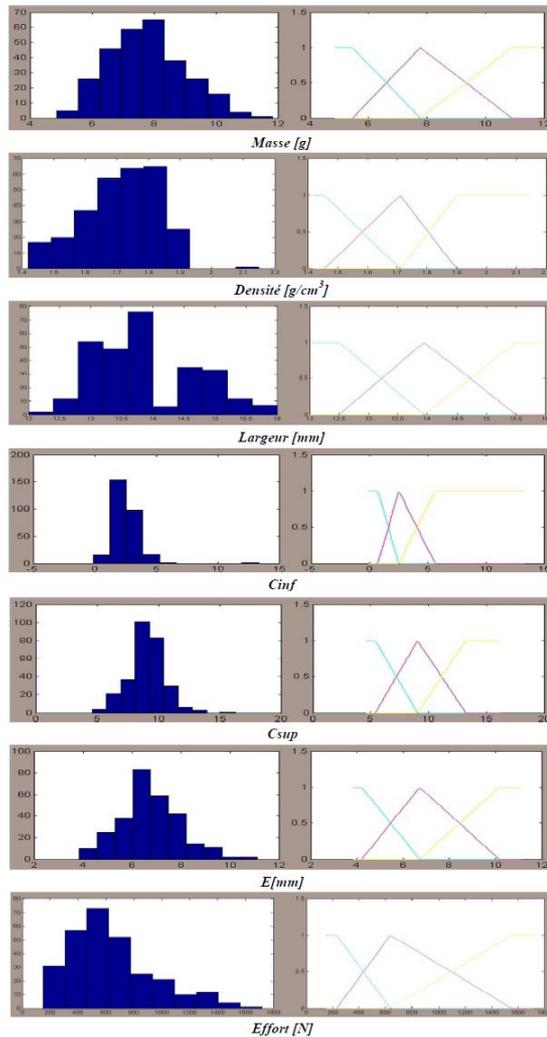
Traitement et analyse de données

- Analyse des os du crâne: problématique

Caractéristiques extraites sur les éprouvettes:

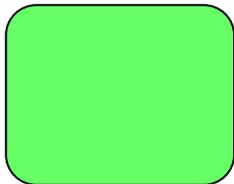
<i>NOM</i>	DESCRIPTION
Largeur	Largeur de l'éprouvette mesurée au point de rupture [mm]
Masse	Masse de l'éprouvette [g]
Densité	Densité de l'éprouvette [kg/m³]
E1, E2, E3, E4, E5	5 épaisseurs [mm]
C2, C3, C4	3 indices de courbures pris sur la face externe de l'éprouvette
C6, C7, C8	3 indices de courbures pris sur la face interne de l'éprouvette
<i>Effort</i>	Effort à la rupture de l'éprouvette [N]
<i>Déplacement</i>	Déplacement à la rupture de l'éprouvette [mm]
<i>Effort</i>	Raideur statique [N/mm]

Traitement et analyse de données



Traitement et analyse de données

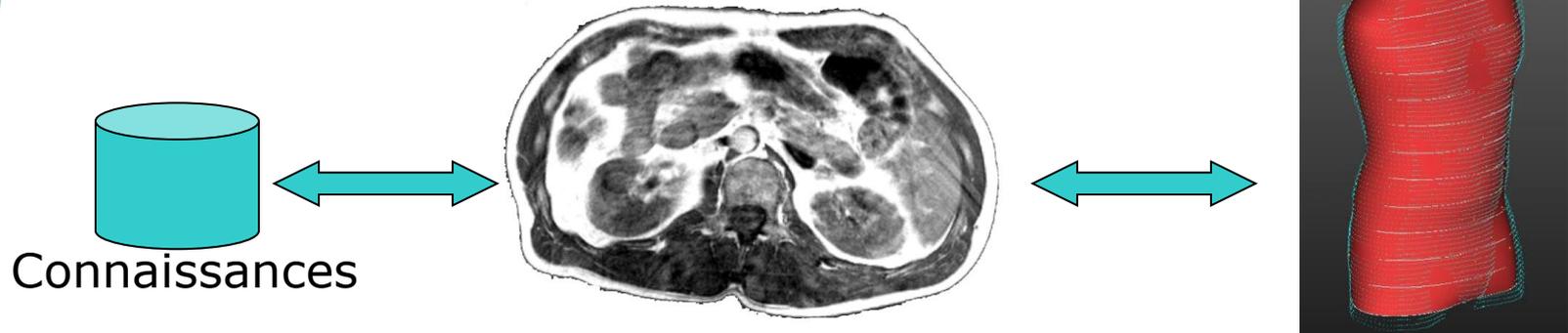
- Résultats :
 - Les variables Csup (Indices de courbure de la face externe), masse, E (moyenne des épaisseurs), et effort sont corrélées entre elles.
 - Les fragments prélevés sur les os temporaux présentent des valeurs de densité élevées, et des valeurs d'effort à la rupture, de masse, d'épaisseurs et d'indices de courbure faibles.
 - Les zones frontales présentent des caractéristiques inverses (petites), ainsi que les éprouvettes issues de la suture coronale.



TRAVAUX DE RECHERCHE
Perspectives

Perspectives

- Fusion de données multimodales

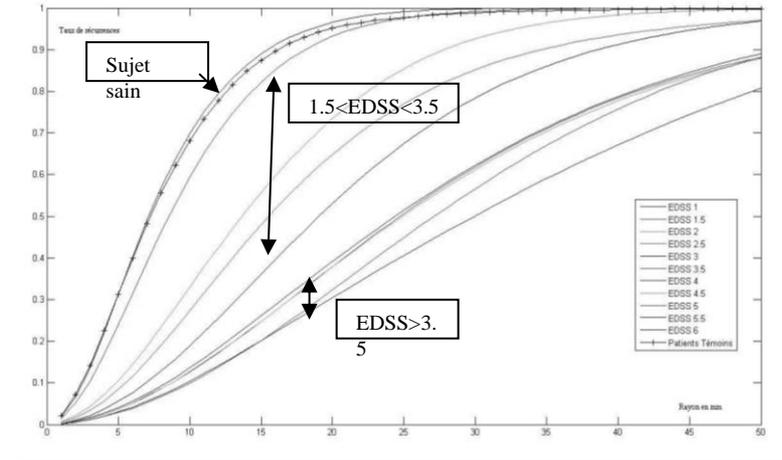
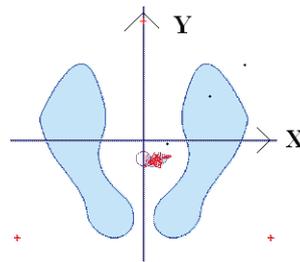


- Calcul de paramètres géométriques et inertiels personnalisés



PROJET CAPE-H

Calcul automatique de l'EDSS à partir de données posturologiques
Preuve de concept



$$X_i = (x_i, x_{(i+\tau)}, x_{(i+2\times\tau)}, \dots, x_{(i+(m-1)\times\tau)})$$

$$\forall (i, j) \leq N : |X_i - Y_j| \leq R$$



CONCLUSION
Axes de recherche

Conclusion générale

- Bilan de mon activité depuis ma thèse (1993)
 - Synthèse des travaux de recherche
 - Projets de recherche
-

De manière générale, et depuis une dizaine d'année, la question est :

Comment intégrer des connaissances expertes
en modélisation pour la santé et le handicap

→ Définir une méthode pour spécifier les connaissances

→ Automatiser l'intégration des connaissances

Outils et méthodes pour la modélisation géométrique et inertielle du corps humain. Application au handicap physique



MERCI POUR VOTRE ATTENTION