



## Soutenance de Thèse de Doctorat

# Analyse Quantifiée de la Marche : extraction de connaissances à partir de données pour l'aide à l'interprétation clinique de la marche digitigrade

Spécialité  
**Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives**

Présentée à  
**l'Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis**

Par  
**Stéphane ARMAND**

*L.A.M.I.H., U.M.R. C.N.R.S. 8530*

1

## Problématique et objectif

### Problématique générale

Analyse de la marche humaine difficile

- Complexité du mouvement
- Augmentée avec les pathologies

Analyse Quantifiée de la Marche (AQM) aide à cette analyse

- Quantifie et identifie objectivement les défauts de marche

mais son interprétation est une tâche complexe :

- Quantité de données importante
- Difficile de lier les défauts de marche avec leurs causes cliniques

### Défaut de marche considéré

Marche digitigrade

### Objectif

Améliorer les connaissances actuelles sur la marche digitigrade

Aider à interpréter les données de l'AQM



2

# Plan de l'exposé

## 1. Contexte

1. L'Analyse Quantifiée de la Marche
2. La marche digitigrade

## 2. Méthode

1. Matériel et Population
2. Méthode générale

## 3. Exploration de la marche digitigrade

1. L'extraction de connaissances
2. Les patrons de marche digitigrade

## 4. Aide à l'interprétation

1. Identification des causes possibles de la marche digitigrade
2. Utilisation des résultats

## 5. Perspectives

1. Applications cliniques
2. Ouvertures

Conclusion

3

# AQM - Définition

## Définition

Quantification de variables biomécaniques et physiologiques permettant de caractériser de manière objective la marche d'un patient

## Pourquoi ?

Quantifier et identifier les défauts de marche  
Déterminer les causes cliniques de ces défauts pour choisir la thérapie la plus appropriée  
Evaluer l'effet d'un appareillage  
Evaluer l'effet d'un traitement

Analyse Quantifiée de la Marche

## Pour qui ?

Toute personne ayant une pathologie ou traumatisme affectant la marche (étant capable de marcher)  
Population de prédilection : enfant IMC

## Comment ?

Techniques et systèmes d'analyse du mouvement (Cinématique, cinétique, EMG, autres)  
Examen clinique et historique du patient

(Whittle, 1996; Davis, 1997; Veil, 2000, Diméglio et al., 2002)

Contexte

Méthode

Exploration

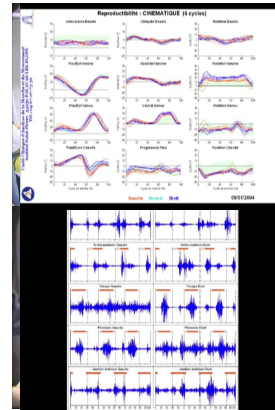
Aide à l'interprétation

Perspectives

4

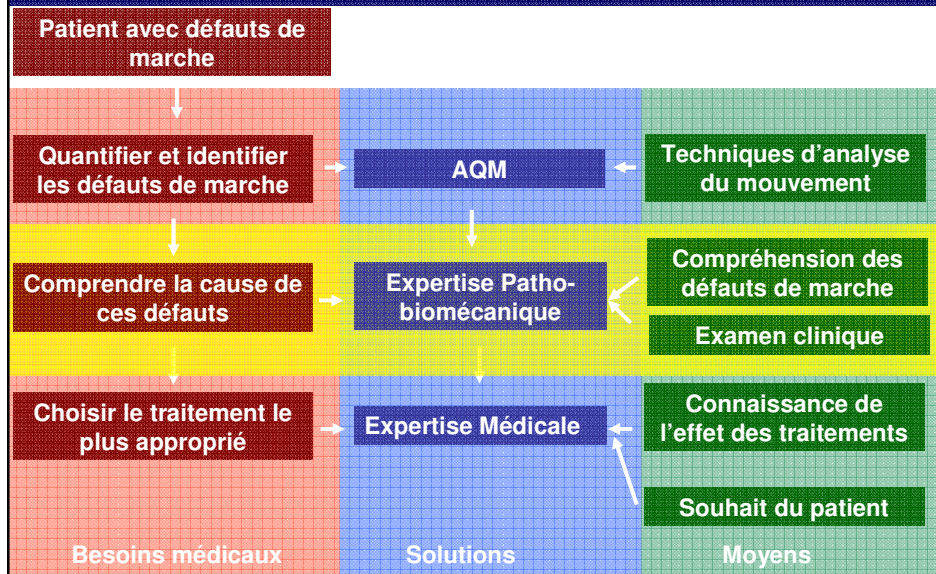
## AQM - Déroulement

- Préparation de la salle d'examen
- Accueil du patient
- Examen clinique
- Vidéo fonctionnelle
- Pose des marqueurs/électrodes
- Acquisition statique
- Acquisition dynamique
- Traitement des données
- Rapport des données
- Identification des défauts de marche
- Identification des causes de ces défauts



Contexte Méthode Exploration Aide à l'interprétation Perspectives 5

## AQM - Problématique



Contexte Méthode Exploration Aide à l'interprétation Perspectives 6

## Plan de l'exposé

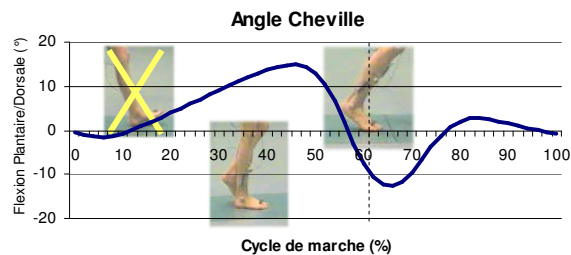
1. Contexte
    1. L'Analyse Quantifiée de la Marche
    2. La marche digitigrade
  2. Méthode
    1. Matériel et Population
    2. Méthode générale
  3. Exploration de la marche digitigrade
    1. L'extraction de connaissances
    2. Les patrons de marche digitigrade
  4. Aide à l'interprétation
    1. Identification des causes possibles de la marche digitigrade
    2. Utilisation des résultats
  5. Perspectives
    1. Applications cliniques
    2. Ouvertures
- Conclusion

7

## Marche digitigrade - Définition

### Définition

Absence de premier pivot (Perry, 1992)  
(Attaque du sol avec les orteils ou pied à plat)



### Contexte

Un défaut de marche des plus courants  
Associé avec de nombreuses pathologies  
IMC, Neuropathie, Myopathie...  
Parfois idiopathique

Contexte

Méthode

Exploration

Aide à l'interprétation

Perspectives

8

## Marche digitigrade - Littérature

### Distinction entre pathologies

But : trouver paramètres qui distinguent 2 pathologies  
Pathologies concernées : IMC/Idiopathique  
Mouvement : marche

Hicks, 1988; Kalen , 1986;  
Policy, 2001; Kelly, 1997;  
Rose, 1999

### Distinction clinique

But : trouver paramètres qui distinguent 2 signes cliniques  
Signes cliniques : Equin dynamique / Contracture (IMC)  
Mouvement : marche

Gardieu, 1989; Zwick, 2004

### Conséquences patho-biomécaniques

But : trouver avantages/inconvénients ou répercussion d'une marche digitigrade

Mouvement : marche

Kéngala, 2000; Kelly, 2003

### Déviation primaires/secondaires

But : identifier les déviations primaires et secondaires

Mouvement : marche

Dauids, 1999

### Conséquences d'un traitement

But : identifier conséquences d'un traitement

Mouvement : marche (avant et après traitement)

Plus de 50 refs.

Contexte

Méthode

Exploration

Aide à l'interprétation

Perspectives

9

## But

### Aide à l'interprétation clinique de la marche digitigrade

#### 1) Exploration

**Comment** marchent les patients digitigrades ?

->Recherche de patrons de marche

#### 2) Aide à l'interprétation

Quelles sont **les causes possibles** de la marche digitigrade ?

->Liens entre patrons de marche et examen clinique

Contexte

Méthode

Exploration

Aide à l'interprétation

Perspectives

10

## Plan de l'exposé

### 1. Contexte

1. L'Analyse Quantifiée de la Marche
2. La marche digitigrade

### 2. Méthode

1. Matériel et Population
2. Méthode générale

### 3. Exploration de la marche digitigrade

1. L'extraction de connaissances
2. Les patrons de marche digitigrade

### 4. Aide à l'interprétation

1. Identification des causes possibles de la marche digitigrade
2. Utilisation des résultats

### 5. Perspectives

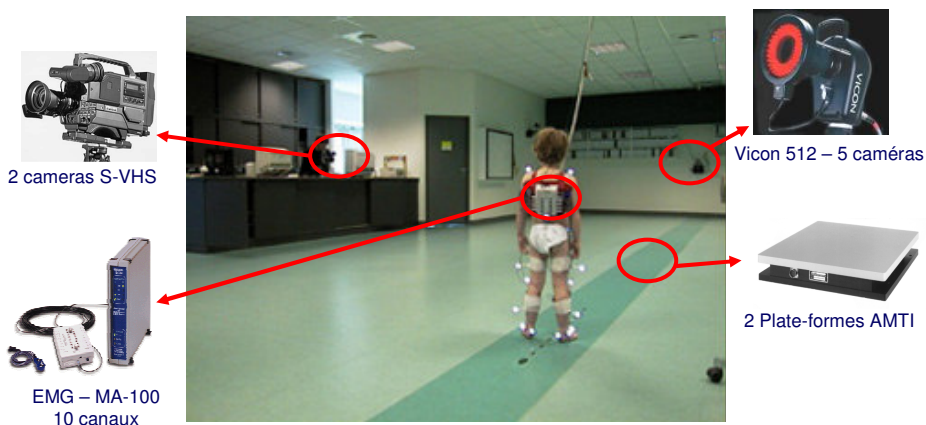
1. Applications cliniques
2. Ouvertures

Conclusion

11

## Méthode – Matériel

Laboratoire d'analyse du mouvement de l'Institut Saint-Pierre



Contexte

Méthode

Exploration

Aide à l'interprétation

Perspectives

12

## Méthode - Mesures

### AQM

#### Cinématique

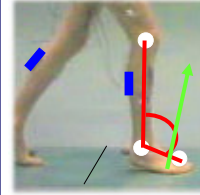
Angle dans les trois plans aux articulations du membre inférieur

#### Cinétique

Forces de réaction au sol et moments et puissances articulaires (dynamique inverse)

#### EMG de surface

Rectus Femoris, Semi-Menbranosus, Tibialis Anterior, Gastrocnemius, Gluteus, Vastus, Peroneus...



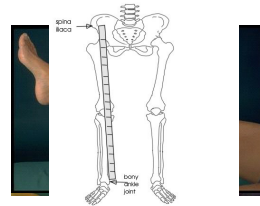
### Examen clinique

#### Anthropométrie

#### Amplitude articulaire

#### Spasticité

#### Force musculaire



Contexte

Méthode

Exploration

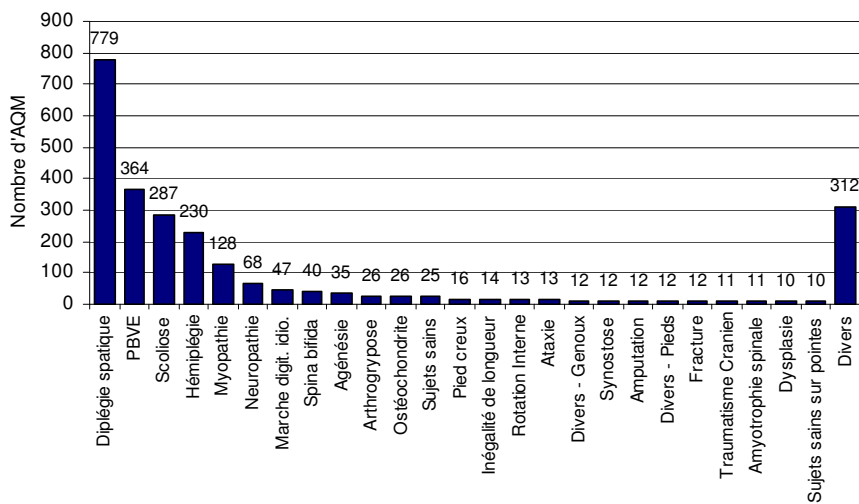
Aide à l'interprétation

Perspectives

13

## Méthode - Population

1752 patients – 2526 Examens – 12109 passages



Contexte

Méthode

Exploration

Aide à l'interprétation

Perspectives

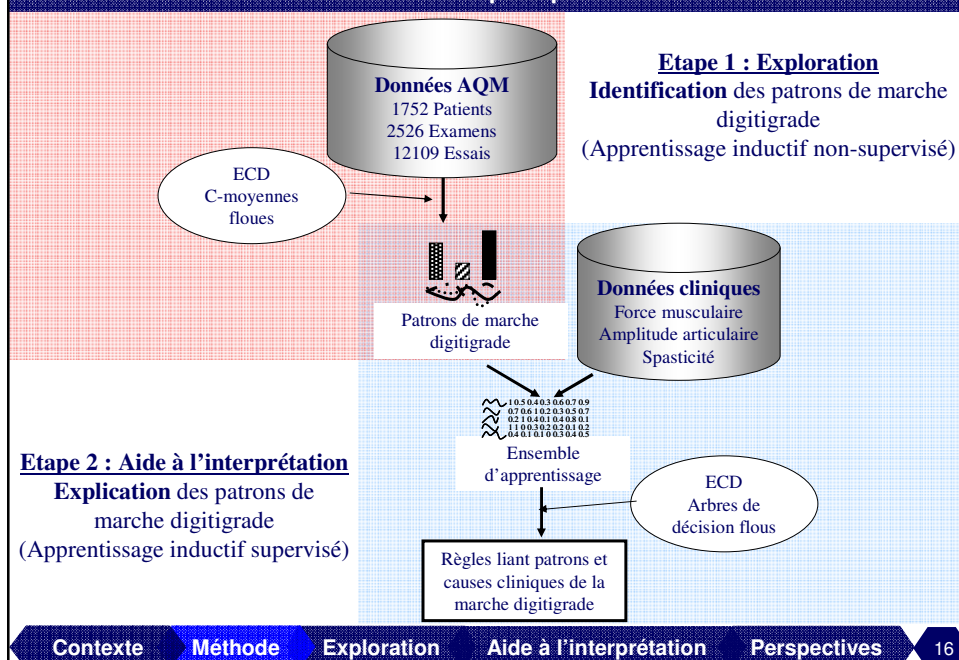
14

## Plan de l'exposé

1. Contexte
    1. L'Analyse Quantifiée de la Marche
    2. La marche digitigrade
  2. Méthode
    1. Matériel et Population
    2. Méthode générale
  3. Exploration de la marche digitigrade
    1. L'extraction de connaissances
    2. Les patrons de marche digitigrade
  4. Aide à l'interprétation
    1. Identification des causes possibles de la marche digitigrade
    2. Utilisation des résultats
  5. Perspectives
    1. Applications cliniques
    2. Ouvertures
- Conclusion

15

## Méthode proposée



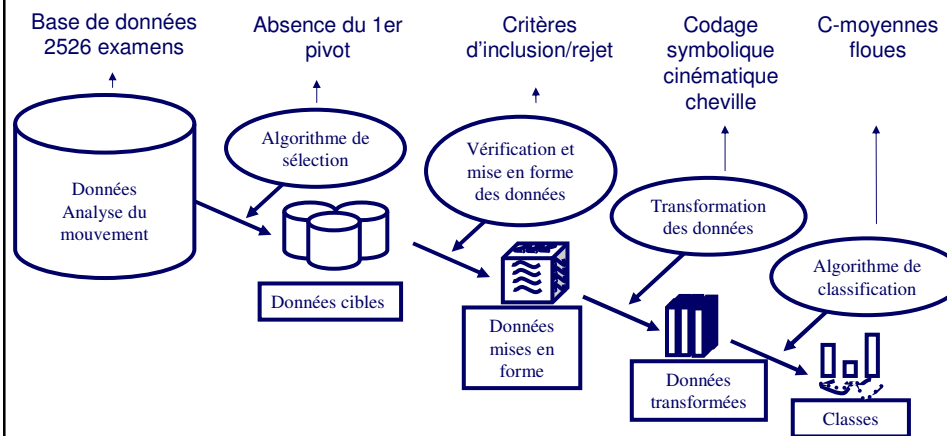


## Plan de l'exposé

1. Contexte
    1. L'Analyse Quantifiée de la Marche
    2. La marche digitigrade
  2. Méthode
    1. Matériel et Population
    2. Méthode générale
  3. Exploration de la marche digitigrade
    1. L'extraction de connaissances
    2. Les patrons de marche digitigrade
  4. Aide à l'interprétation
    1. Identification des causes possibles de la marche digitigrade
    2. Utilisation des résultats
  5. Perspectives
    1. Applications cliniques
    2. Ouvertures
- Conclusion

17

## Méthode – Exploration



Contexte Méthode **Exploration** Aide à l'interprétation Perspectives 18

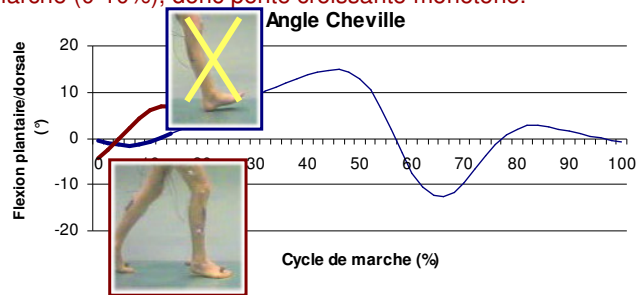
# Données et Sélection

## Base de données

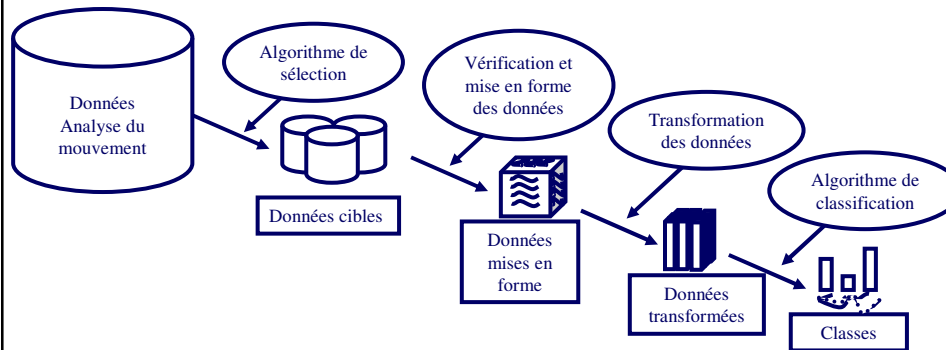
**Date** : AQM de 1993 à 2004  
1752 patients , 2526 examens, 12109 essais  
**Variabiles** : Cinématique, Cinétique, EMG  
**Matériel** : Vicon, AMTI, MA-100

## Sélection

**Critère** : Absence du premier pivot  
**Caractéristique** : Mouvement vers la flexion dorsale au début du cycle de marche (0-10%), donc pente croissante monotone.



# Vérification et mise en forme



# Vérification et mise en forme

## Critères exclusion

### Sur patients

Si toutes les sessions sont éliminées

### Sur sessions

Si session avec patient âgé de + 20 ans

Si - de 3 essais sélectionnés dans la session

### Sur essais

Élimination des extrêmes

sur chaque variable angulaire

$V < 3 \times \text{espace interquartile} - 1^{\text{er}} \text{ quartile}$

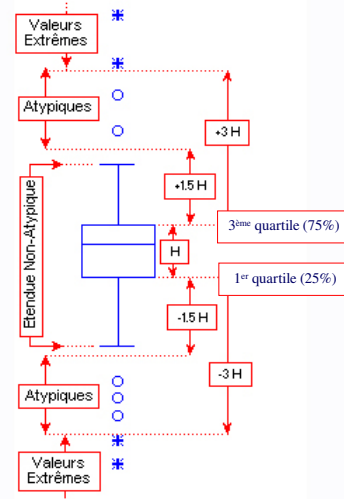
$V > 3 \times \text{espace interquartile} + 3^{\text{ème}} \text{ quartile}$

## Mise en forme

**Variable considérée** : allure de la courbe de cheville.

**Pourquoi** : allure de la courbe souvent citée p (double bosse) => Semble plus intéressant qu

**Comment** : Tableau avec vitesse angulaire d d'appui (Rééchantillonnage sur 30 points)



Steinwender et al. 2001; Zwick et al. 2004; Matjacic et al. Hooglas 1983; Aide de statistica

Contexte

Méthode

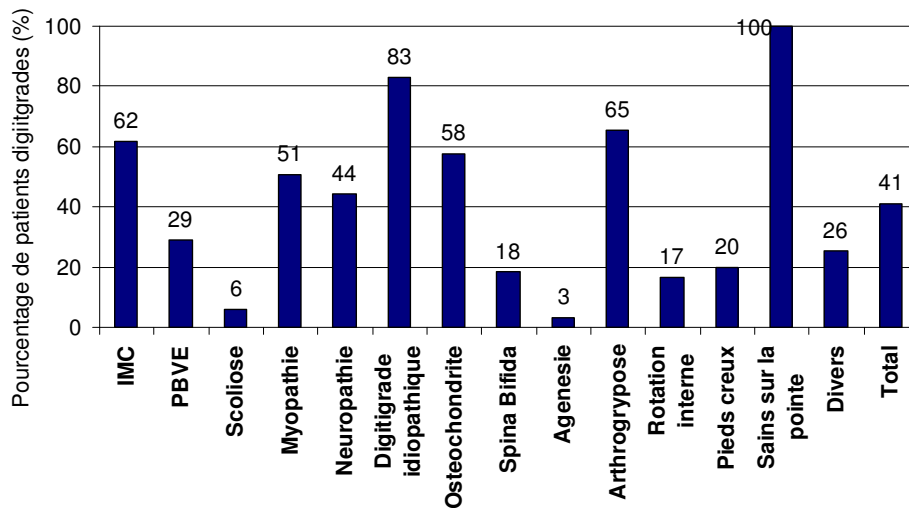
Exploration

Aide à l'interprétation

Perspectives

21

# Résultats : Proportion de patients digitigrades



Contexte

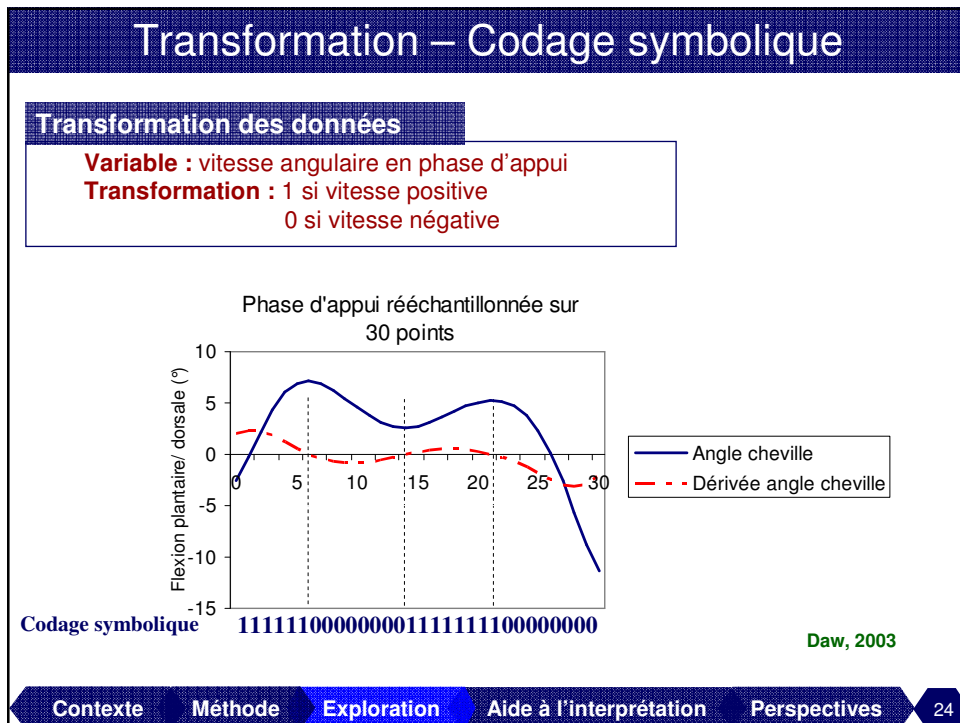
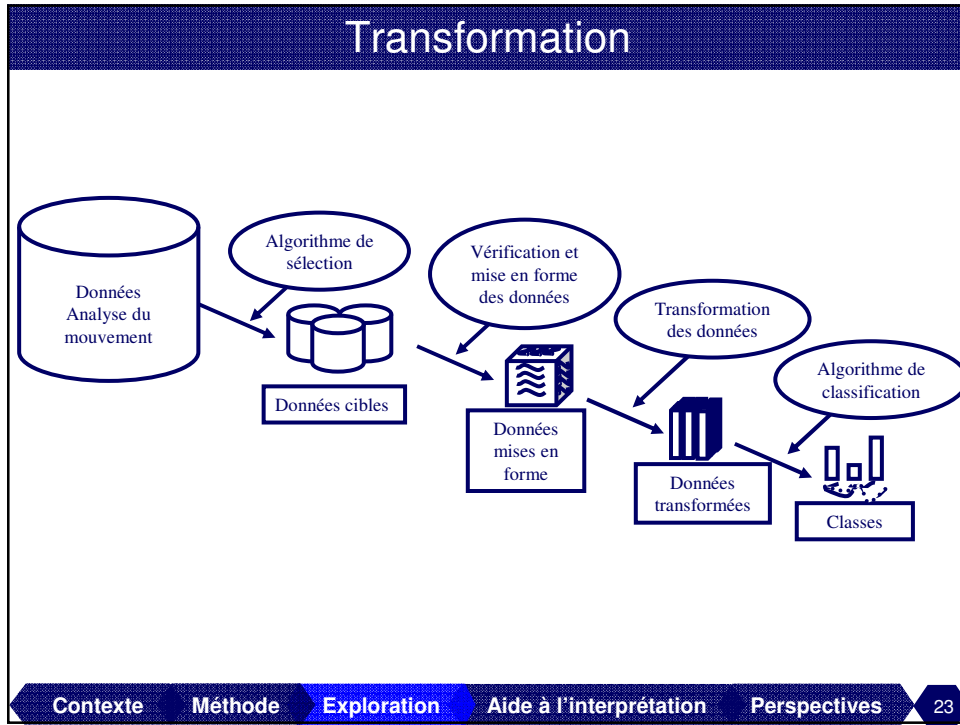
Méthode

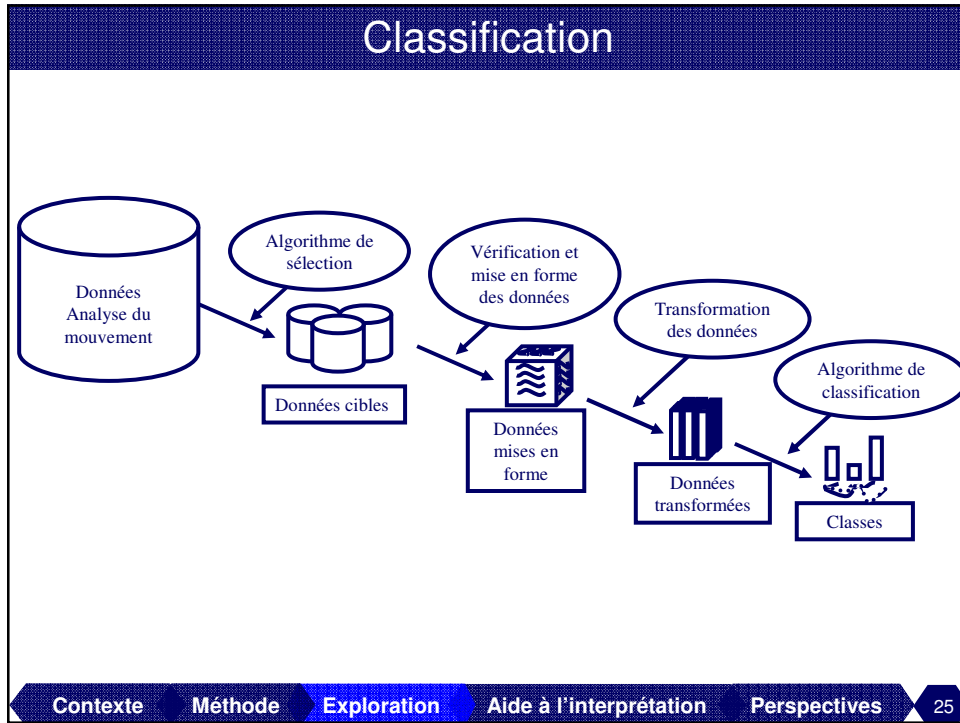
Exploration

Aide à l'interprétation

Perspectives

22





## Classification - Définition

**Définition**  
 Organiser les données de manière à regrouper les objets les plus similaires et à séparer ceux qui se ressemblent le moins

**Classification dure**  
 Chaque objet appartient à une seule classe  
 - Hiérarchique  
 - Agrégation autour des centres mobiles (k-moyennes)

**Classification floue**  
 Chaque objet appartient à toutes les classes avec un certain degré  
 - c-moyennes floues

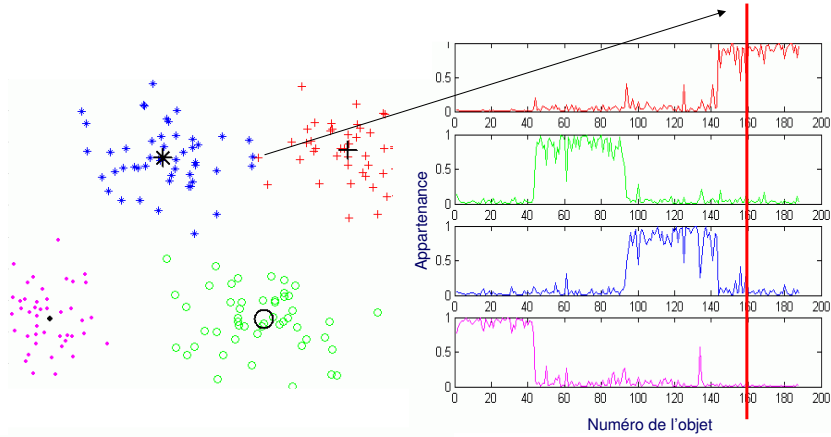
**Avantages :** grande quantité de données  
 degré d'appartenance

Contexte
Méthode
Exploration
Aide à l'interprétation
Perspectives
26

# Classification Floue

## But

Pour chaque objet, trouver le degré d'appartenance aux classes considérées



Contexte

Méthode

Exploration

Aide à l'interprétation

Perspectives

27

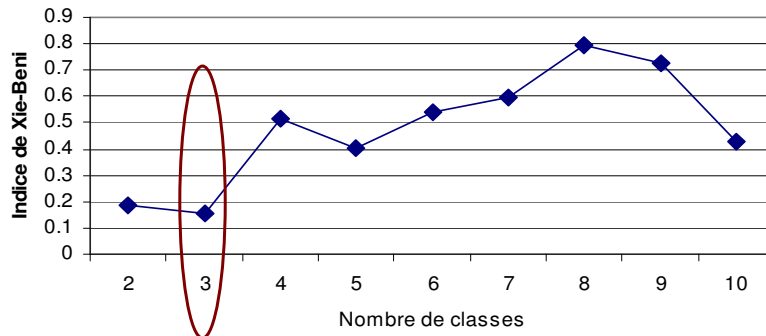
# Choix du nombre de classes

## Validation du nombre de classes

**But :** Trouver un indice permettant de choisir le nombre de classes le plus approprié

**Indice utilisé :** Indice de Xie-Beni (1991)

**Choix :** défini comme le meilleur indice (Pal et Bezdec, 1995; Guillaume, 2001)



Contexte

Méthode

Exploration

Aide à l'interprétation

Perspectives

28

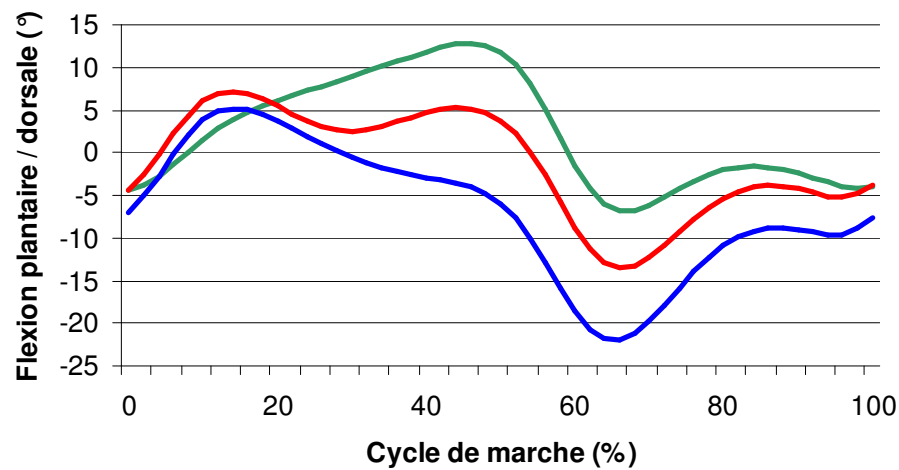
## Plan de l'exposé

1. Contexte
    1. L'Analyse Quantifiée de la Marche
    2. La marche digitigrade
  2. Méthode
    1. Matériel et Population
    2. Méthode générale
  3. Exploration de la marche digitigrade
    1. L'extraction de connaissances
    2. Les patrons de marche digitigrade
  4. Aide à l'interprétation
    1. Identification des causes possibles de la marche digitigrade
    2. Utilisation des résultats
  5. Perspectives
    1. Applications cliniques
    2. Ouvertures
- Conclusion

29

## Résultats : Patrons de marche digitigrade

### 3 patrons cinématiques de cheville



Contexte

Méthode

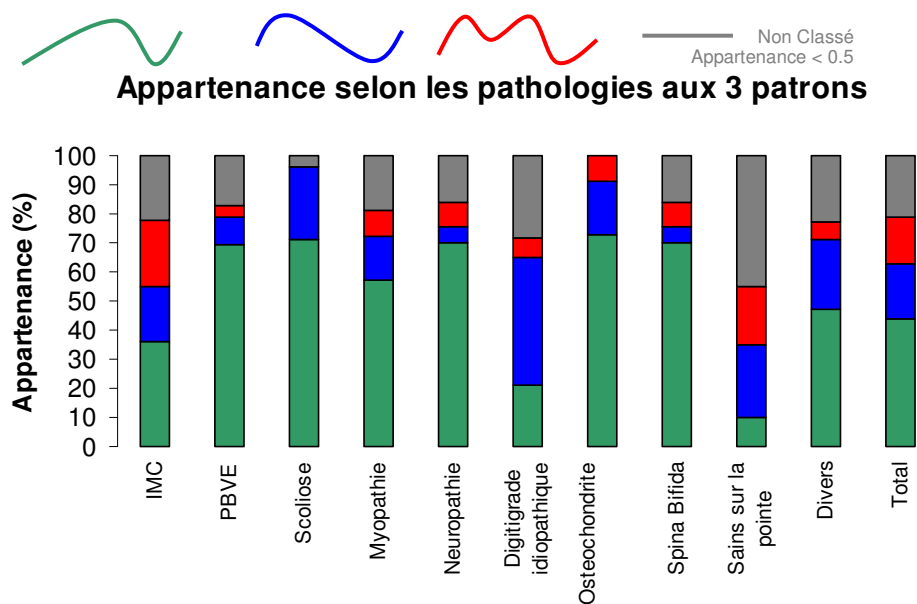
Exploration

Aide à l'interprétation

Perspectives




30

## Résultats : Appartenance des pathologies



Contexte Méthode Exploration Aide à l'interprétation Perspectives 31

## Discussion - Patrons

	 Groupe 1	 Groupe 2	 Groupe 3
<b>IMC</b>	Winters et al. 1987 Hicks et al. 1988 Rodda et al. 2004	Winters et al. 1987 Rodda et al. 2004	Winters et al. 1987 O'Byrne et al. 1998 Rodda et al. 2004
<b>Neuropathie</b>	Kwon et al. 2003		
<b>Myopathie</b>	Sutherland al. 1981 Patte et al. 2000 Armand et al. 2005		
<b>Amyotrophie spinale</b>	Armand et al. 2005		
<b>Idiopathique</b>		Hicks et al. 1988	
<b>Sujets sains sur la pointe</b>			Perry et al. 2003 Davids et al. 1999

Seuls trois grands patrons de marche digitigrade

Contexte Méthode Exploration Aide à l'interprétation Perspectives 32



## Contribution scientifique

**Stéphane Armand**, Eric Watelain, Moïse Mercier, Ghislaine Lensele, François-Xavier Lepoutre

**Identification and classification of toe-walkers based on ankle kinematics, using a data-mining method**

**Gait & Posture**

**Sous presse**

Facteur d'impact 2003 : 1.585



Contexte

Méthode

Exploration

Aide à l'interprétation

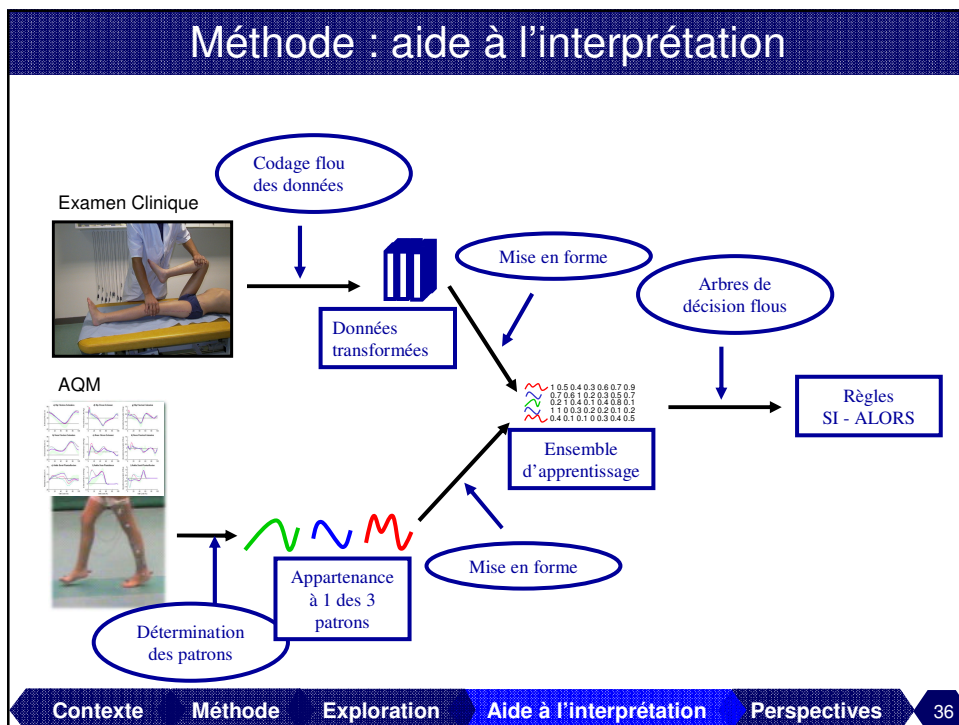
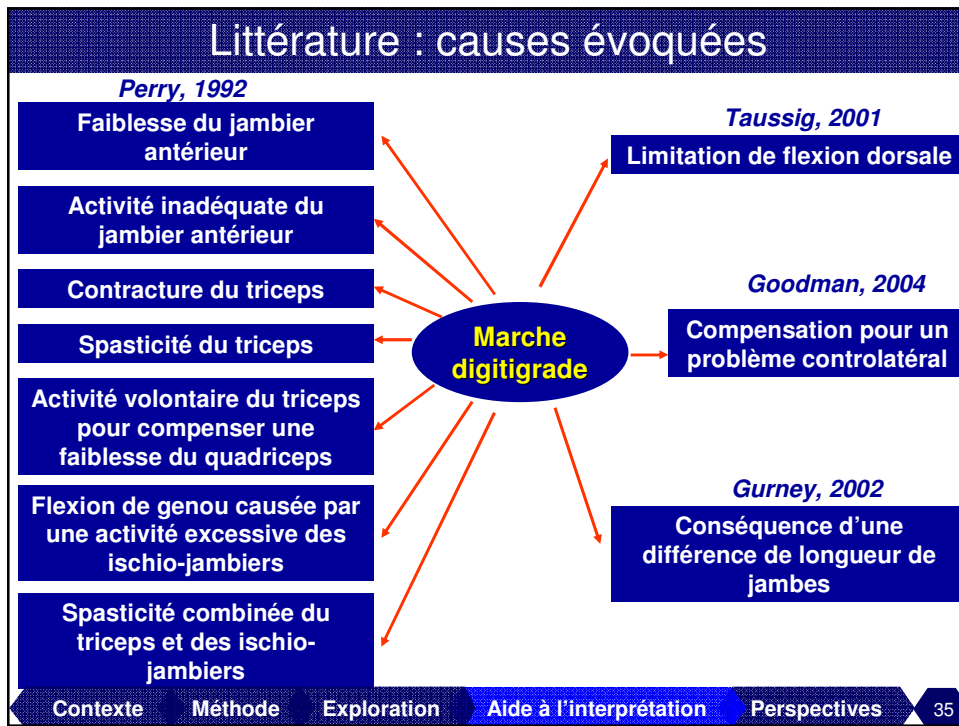
Perspectives

33

## Plan de l'exposé

1. Contexte
    1. L'Analyse Quantifiée de la Marche
    2. La marche digitigrade
  2. Méthode
    1. Matériel et Population
    2. Méthode générale
  3. Exploration de la marche digitigrade
    1. L'extraction de connaissances
    2. Les patrons de marche digitigrade
  4. Aide à l'interprétation
    1. Identification des causes possibles de la marche digitigrade
    2. Utilisation des résultats
  5. Perspectives
    1. Applications cliniques
    2. Ouvertures
- Conclusion

34



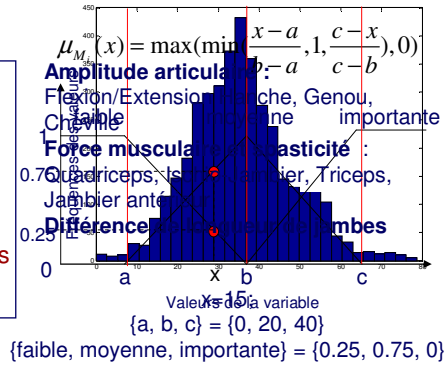
# Examen clinique et codage flou

## Examen clinique

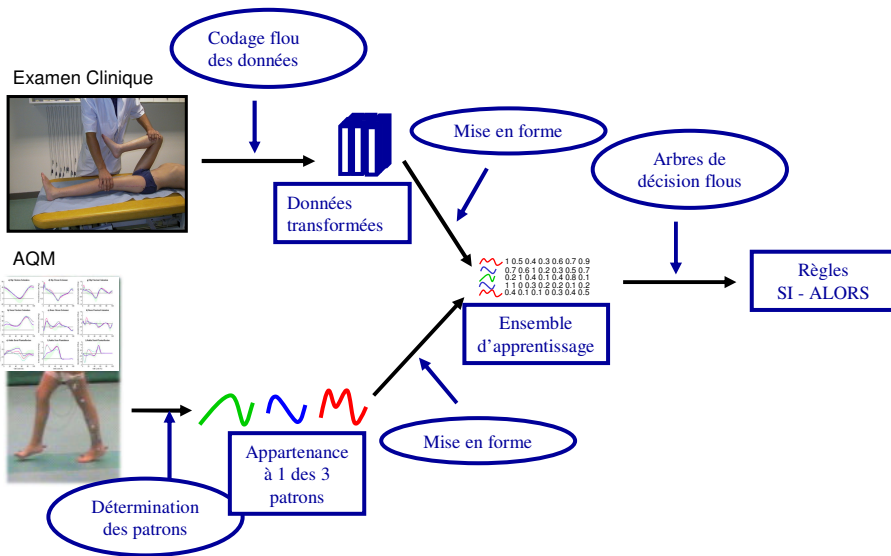
**De 2002 à 2004 : 358 examens**  
**Mesures :** Amplitude articulaire  
 Force musculaire (0 à 5)  
 Spasticité (0 à 4, échelle d'Ashworth)  
 Anthropométrie

## Codage flou

**Variabiles :** mesures cliniques concernant directement le plan sagittal  
 Coté latéral de la déviation  
 (Corrélation supérieure à 0.8 entre les 2 côtés,  $p < 0.0001$ )  
**Modalités :** faible, moyenne, importante  
**Bornes :** histogramme d'amplitudes/experts  
**Codage :** fenêtres triangulaires



# Détermination des patrons



# Détermination des patrons




## Détermination des patrons

**358 AQM avec examen clinique dont 169 digitigrades**

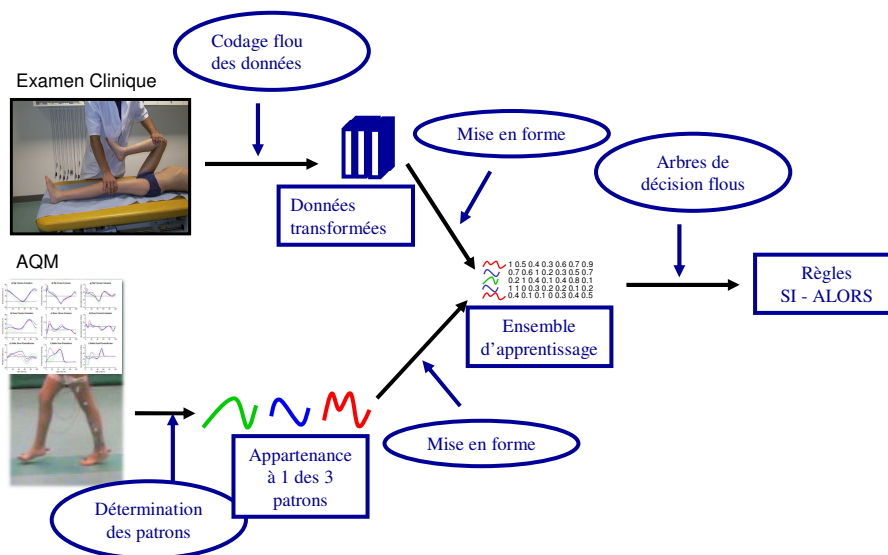
**Visualisation** : Cinématique + vidéo

**Appartenance** : stricte à 1 des 3 patrons

**Exclusion** : patrons non reproductibles  
patrons différents  
classement différent test 1 et 2


	Groupe 1 	Groupe 2 	Groupe 3 	Autre patron	Non reproductible
1 <sup>ère</sup> évaluation	60	35	49	43	53
2 <sup>de</sup> évaluation	63	35	48	42	52
Résultat	<b>60</b>	<b>35</b>	<b>48</b>	-	-




# Ensemble d'apprentissage



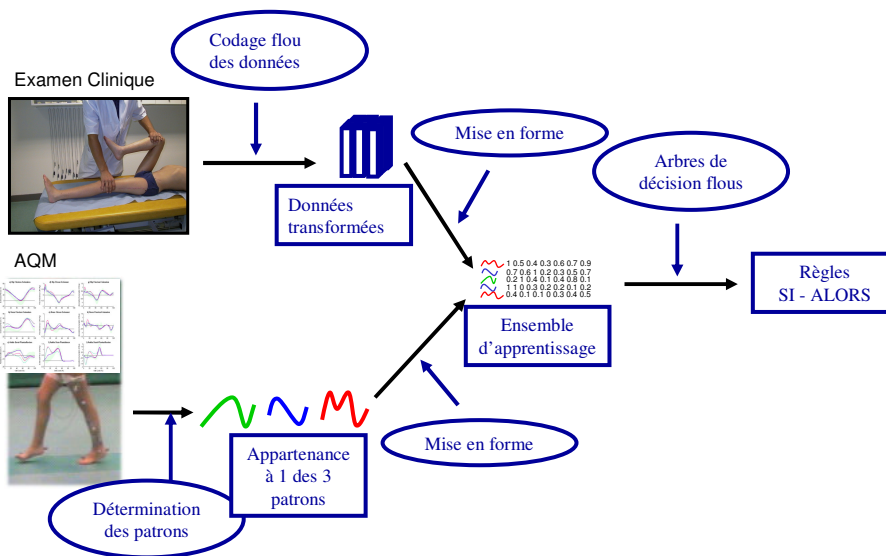
# Ensemble d'apprentissage

## Ensemble d'apprentissage

- 60 Groupe 1 
- 35 Groupe 2 
- 48 Groupe 3 
- 15 variables cliniques (45 modalités)

	Caractéristiques cliniques						patrons			
	AdM Flexion cheville			Force Triceps						
	Faible	Moyen	Important	Faible	Moyen	Important				
Sujet 1	0,53	0,47	0,00	0,00	0,70	0,30	...	0	1	0
Sujet 2	...									

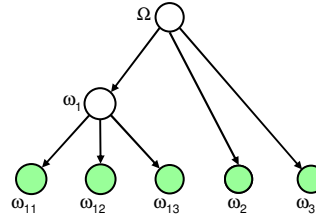
# Arbres de décision



# Arbres de décision

## Objectif

A partir de l'ensemble d'apprentissage, générer des règles de types :  
**SI** telles *caractéristiques cliniques* **ALORS** tel *patron de marche digitigrade*



## Avantages

- Multivariable
- Reproduit un raisonnement naturel
- Induit des relations non linéaires entre les données
- Fournit un modèle d'interprétation aisée
  - Règles de type « **SI-ALORS** »
  - Règles en langage courant

# Forêt d'arbres de décision

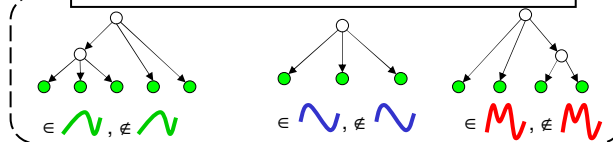
Classification considérée :

## Ensemble d'apprentissage

	1 0.5 0.4 0.3 0.6 0.7 0.9
	0.7 0.6 1 0.2 0.3 0.5 0.7
	0.2 1 0.4 0.1 0.4 0.8 0.1
	1 1 0 0.3 0.2 0.2 0.1 0.2
	0.4 0.1 0.1 0 0.3 0.4 0.5

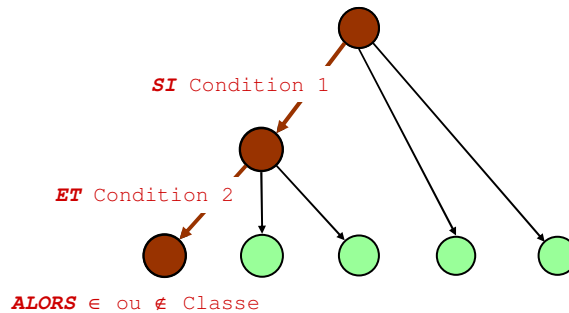
Induction

## "Forêt" d'arbres de décision : 1 arbre / classe



(Marsala, 1998)  
(Roux, 2002)

## Création des règles



**SI** Telle variable a telle valeur (Condition 1)  
**ET** Telle autre variable a telle valeur (Condition 2)  
**ET** ...  
**ALORS** Le patient ∈ ou ∉ à la classe

Contexte

Méthode

Exploration

Aide à l'interprétation

Perspectives

45




## Résultats - Validation

### Base de règles

83 règles : 31 règles OUI et 52 règles NON

### Base de connaissances

12 règles OUI avec  $n > 3$  et  $\text{nb cond.} \leq 5$

	Général			
Précision	81%	83%	77%	80%
Sensibilité	65%	60%	67%	67%
Spécificité	84%	95%	73%	78%

Validation croisée stratifiée (Kohavi, 1995)

Contexte

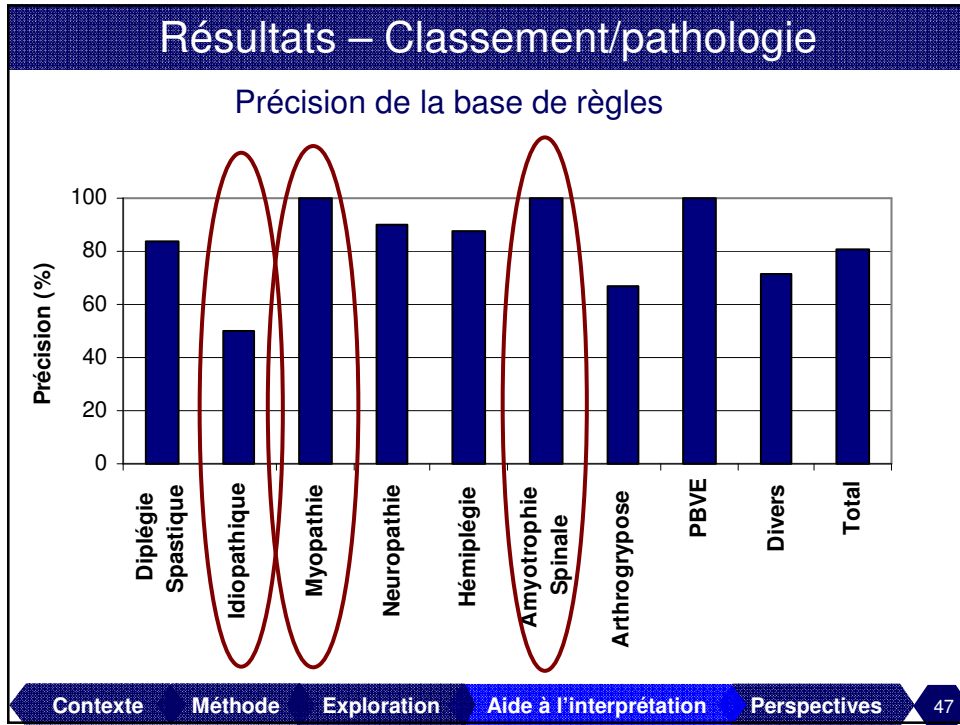
Méthode

Exploration

Aide à l'interprétation

Perspectives

46

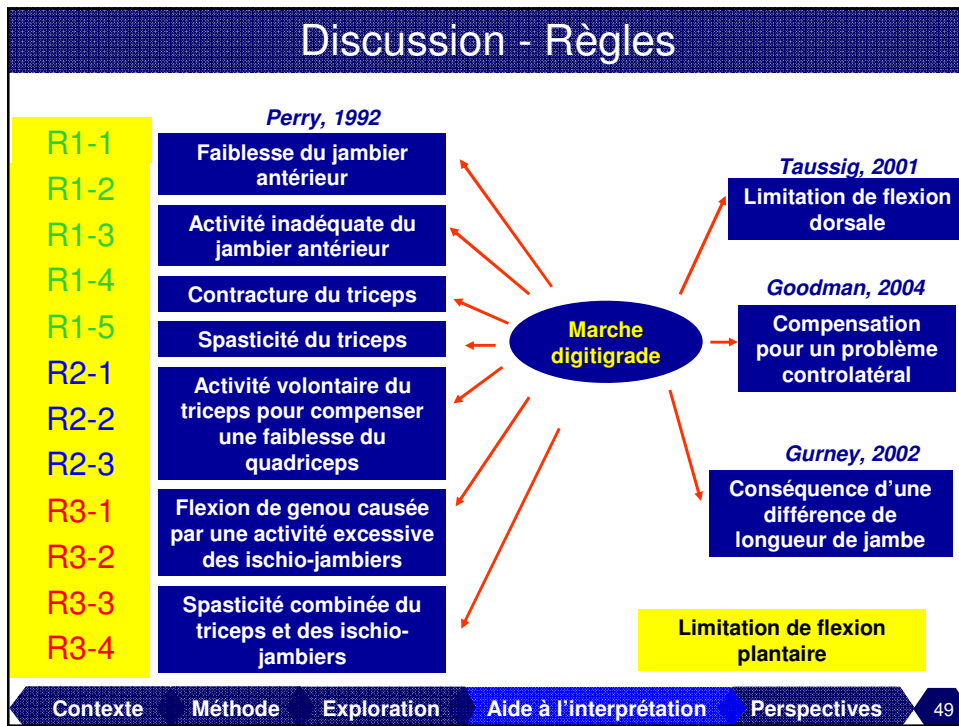


## Résultats – Base de connaissances

Règles	p	n	Condition 1	Condition 2	Condition 3	Condition 4	Condition 5
R1-1	1.00	22	Faible Triceps SPA	Moyen Quadriceps FOR			
R1-2	1.00	3	Faible Triceps SPA	Haute Quadriceps FOR	Faible Flex. Plant. ADM		
R1-3	0.95	8	Faible Triceps SPA	Moyen Flex. Plant. ADM			
R1-4	0.97	9	Faible Triceps SPA	Moyen Tibialis Anterior FOR			
R1-5	0.77	4	Moyen Triceps SPA	Haute Genou Extension ADM	Moyen Hanche Extension ADM	Moyen Quadriceps SPA	
R2-1	0.77	6	Haute Triceps SPA	Faible Flex. Dors. ADM	Moyen Quadriceps SPA		
R2-2	1	4	Haute Triceps SPA	Faible Flex. Dors. ADM	Haute Quadriceps SPA		
R2-3	0.75	5	Haute Triceps SPA	Moyen Flex. Dors. ADM	Faible Genou Extension ADM	Moyen Tibialis Anterior FOR	Moyen Flex. Plant. ADM
R3-1	0.75	4	Moyen Ischio SPA	Moyen Flex. Dors. ADM	Faible Quadriceps SPA	Haute Hanche Extension ADM	
R3-2	1.00	13	Moyen Ischio SPA	Moyen Flex. Dors. ADM	Moyen Quadriceps SPA	Haute Hanche Extension ADM	Haute Genou Extension ADM
R3-3	0.81	5	Haute Ischio SPA	Moyen Genou Extension ADM	Moyen Flex. Plant. ADM		
R3-4	0.76	15	Haute Ischio SPA	Moyen Hanche Extension ADM	Haute Flex. Dors. ADM	Moyen Triceps FOR	Moyen Genou Extension ADM

Contexte Méthode Exploration Aide à l'interprétation Perspectives 48



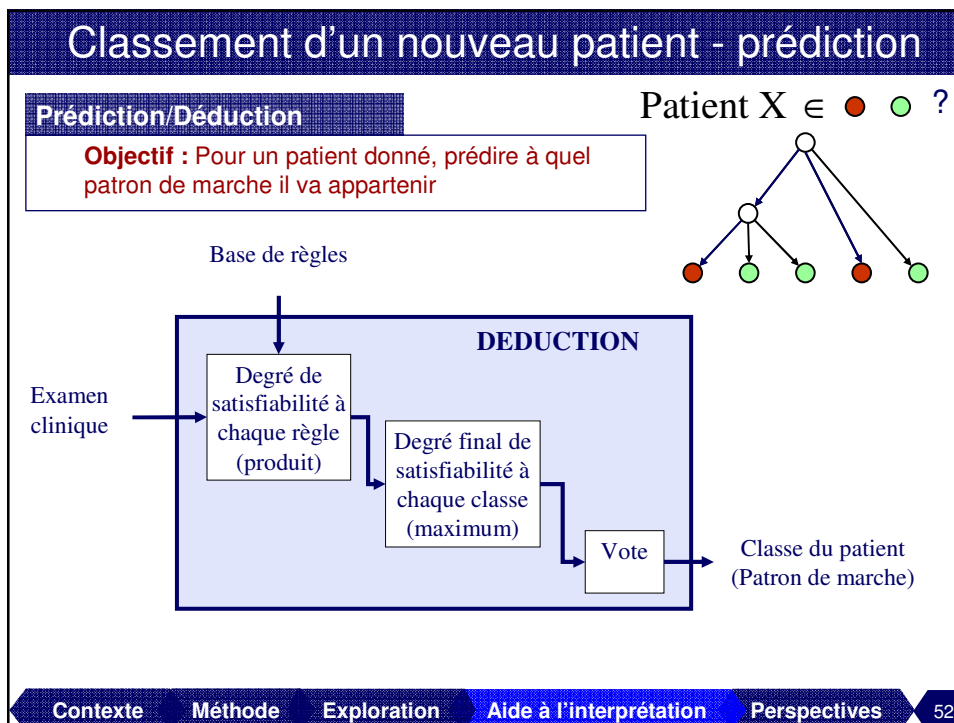
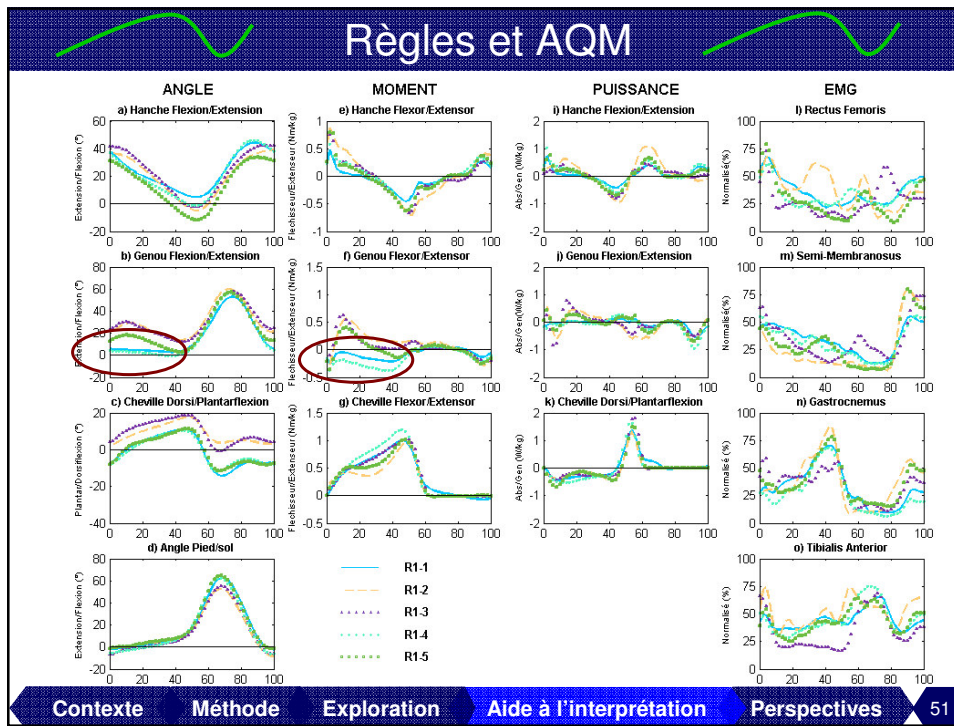


## Plan de l'exposé

1. Contexte
  1. L'Analyse Quantifiée de la Marche
  2. La marche digitigrade
2. Méthode
  1. Matériel et Population
  2. Méthode générale
3. Exploration de la marche digitigrade
  1. L'extraction de connaissances
  2. Les patrons de marche digitigrade
4. Aide à l'interprétation
  1. Identification des causes possibles de la marche digitigrade
  2. Utilisation des résultats
5. Perspectives
  1. Applications cliniques
  2. Ouvertures

Conclusion

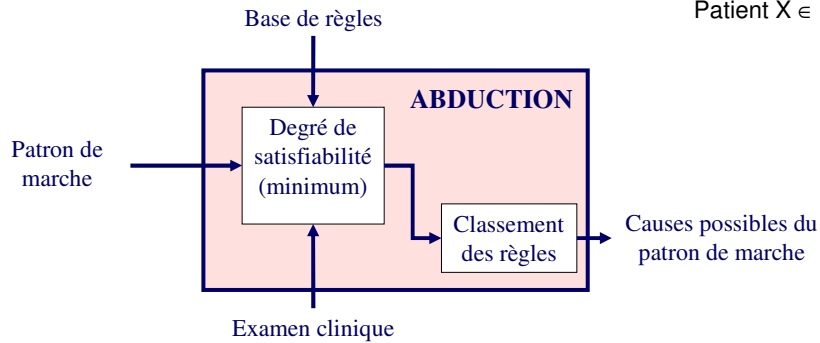
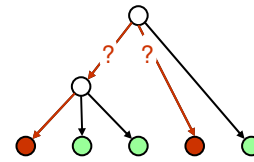
50



## Explication d'un patron de marche

### Raisonnement abductif

Pour un patient donné, trouver les causes cliniques les plus susceptibles d'expliquer son appartenance à un patron donné.



Contexte Méthode Exploration Aide à l'interprétation Perspectives 53

## Contribution scientifique

**Stéphane Armand**, Eric Watelain, Moïse Mercier, Emmanuel Roux, François-Xavier Lepoutre

**The identification of toe-walking causes using fuzzy decision trees**

**Gait & Posture**

**Soumis le 21 Février 2005**

Facteur d'impact 2003 : 1.585



Contexte Méthode Exploration Aide à l'interprétation Perspectives 54

# Plan de l'exposé

1. Contexte
    1. L'Analyse Quantifiée de la Marche
    2. La marche digitigrade
  2. Méthode
    1. Matériel et Population
    2. Méthode générale
  3. Exploration de la marche digitigrade
    1. L'extraction de connaissances
    2. Les patrons de marche digitigrade
  4. Aide à l'interprétation
    1. Identification des causes possibles de la marche digitigrade
    2. Utilisation des résultats
  5. Perspectives
    1. Applications cliniques
    2. Ouvertures
- Conclusion

55

# Application clinique directe - Système d'aide

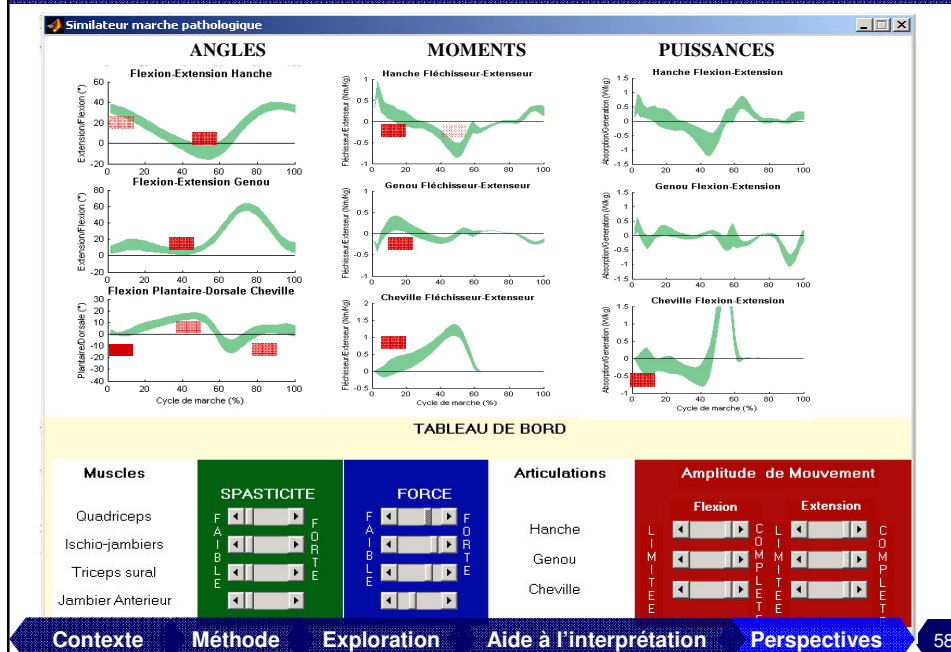
The screenshot displays a software interface with a menu bar (Fichiers, Calcul, Exporter, Extra, Base Donnée, Statistique) and a toolbar (TOUT EFFACER, AFFICHAGE, INTERPRÉTATION). The main area is divided into two panels: 'Liste Fichiers GCD Chargés' and 'Liste Fichiers C3D Chargés'. The GCD list includes files like DAMENI16.GCD, DAMENI07.GCD, etc., with checkboxes and numerical values. The C3D list includes DAMENI16, DAMENI07, etc. A central window titled 'Aide à l'interprétation' shows a prediction for a 'Défaut de marche digitigrade'. It features a 'Prédiction' button, a graph of a gait pattern, and an 'Explication' button. The explanation text reads: 'Spasticité du triceps IMPORTANTE ET Amplitude de flexion dorsale FAIBLE ET Spasticité du quadriceps MOYENNE'. A 'Degré de satisfaisabilité' of 0.78 is shown. At the bottom, a navigation bar contains buttons for 'Contexte', 'Méthode', 'Exploration', 'Aide à l'interprétation', and 'Perspectives', with a page number '56' on the right.

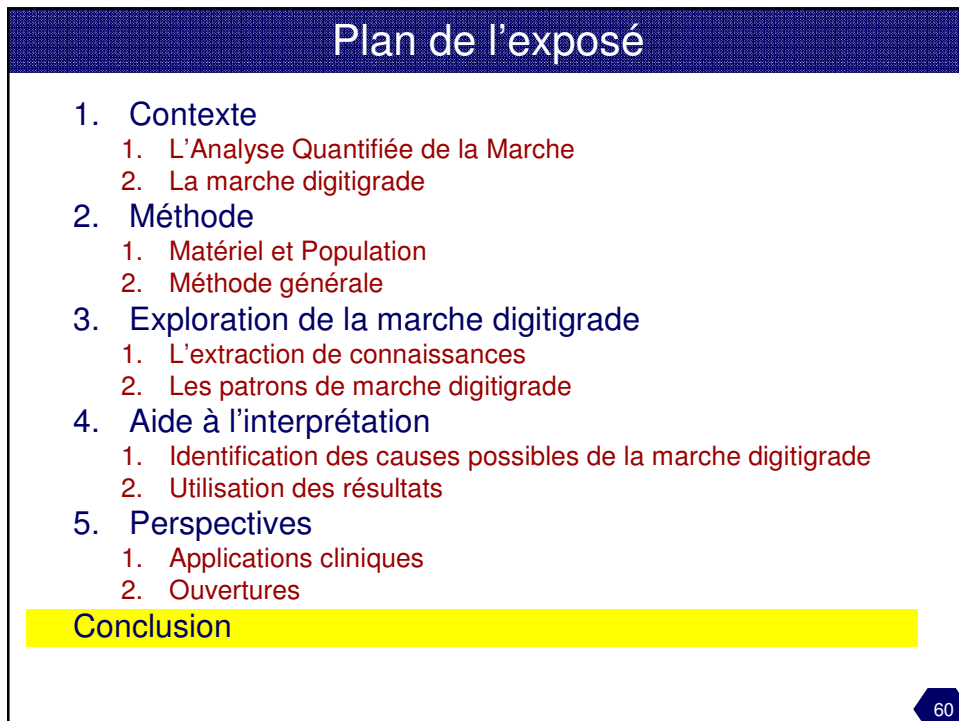
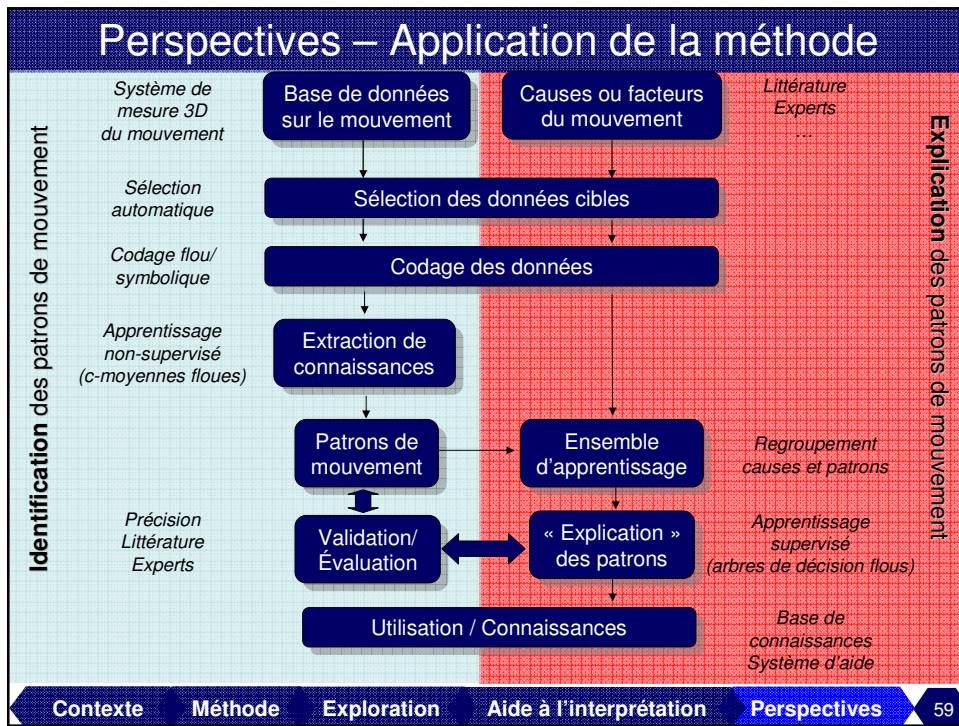
## Plan de l'exposé

1. Contexte
    1. L'Analyse Quantifiée de la Marche
    2. La marche digitigrade
  2. Méthode
    1. Matériel et Population
    2. Méthode générale
  3. Exploration de la marche digitigrade
    1. L'extraction de connaissances
    2. Les patrons de marche digitigrade
  4. Aide à l'interprétation
    1. Identification des causes possibles de la marche digitigrade
    2. Utilisation des résultats
  5. Perspectives
    1. Applications cliniques
    2. Ouvertures
- Conclusion

57

## Perspectives - Simulateur





## Conclusion

### Marche digitigrade et AQM

#### Défaut de marche important

Proportion totale de 41%

#### 3 grands patrons multi-pathologies



#### Patrons et pathologies

Prépondérance de certaines pathologies pour un des patrons

#### Explication clinique des patrons digitigrades

Liens entre patrons et éléments cliniques sous forme de règles  
Adéquation de la base de connaissances avec littérature et experts  
Utilisable dans un système d'aide à l'interprétation de l'AQM

61

## Conclusion

### Méthode

#### Originale dans le cadre de l'analyse du mouvement

Combinaison apprentissage non-supervisé et supervisé  
Application sur grande population (> 2500 AQM)

#### Permet l'explication d'un mouvement

Règles explicatives aisément compréhensibles et interprétables

#### Aide à l'interprétation

Base de règles et de connaissances  
Utilisable dans un système d'aide automatisé ou « manuellement »

**Les bases de données sur le mouvement semblent être sous exploitées**

**De nombreuses connaissances sont à découvrir sur le mouvement...**

62

## Contributions scientifiques

**Armand S, Watelain E, Mercier M, Roux E et Lepoutre FX. (Soumis)**  
The identification of toe-walking causes using fuzzy decision trees  
*Gait & Posture*

**Armand S, Watelain E, Mercier M, Lense G et Lepoutre FX. (Sous presse)**  
Identification and classification of toe-walkers based on ankle kinematics using data-mining method.  
*Gait & Posture*

**Armand S, Mercier M, Watelain E, Patte K, Pelissier J et Rivier F. (2005)**  
A biomechanical gait comparison of spinal muscular atrophy, type II and duchenne muscular dystrophy  
*Gait & Posture*, 21(4), pp. 369-378.

Gillet C, Duboy J, Barbier F, **Armand S**, Jeddi R, Lepoutre FX et Allard P. (2003)  
Contribution of accelerated body masses to able-bodied gait, *Am J Phys Med Rehabil*, 82(2), pp.101-9.

**Congrès :** 9 congrès internationaux et 4 congrès nationaux

63

## Remerciements

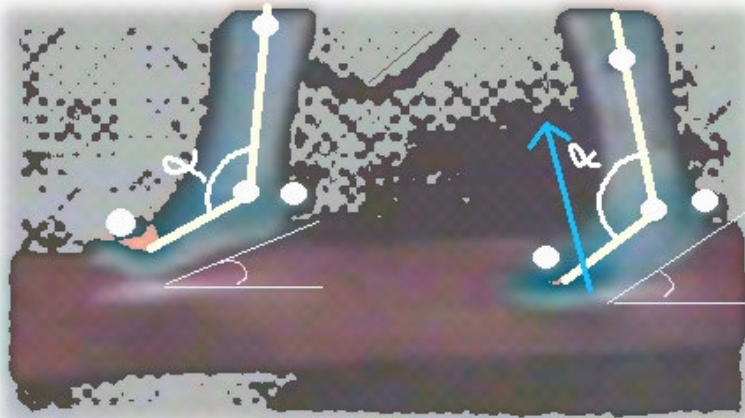
The acknowledgments slide features a central map of France with five red dots. Arrows point from these dots to the following individuals and institutions:

- G. Lense G**: Accompanied by a logo for CFMH.
- F.X. Lepoutre** and **E. Watelain**: Accompanied by a logo for LAMIH (LABORATOIRE D'ANATOMIE FONCTIONNELLE EN MICROSCOPIE ET D'ÉVALUATION INDUSTRIELLE ET BIOMÉCANIQUE).
- E. Roux**: Accompanied by a logo for LTSI.
- M. Mercier**: Accompanied by a logo for CHU MONTPELLIER (CENTRE HOSPITALIER UNIVERSITAIRE).
- Institut Saint-Pierre**: Accompanied by a logo featuring a stylized figure.

64






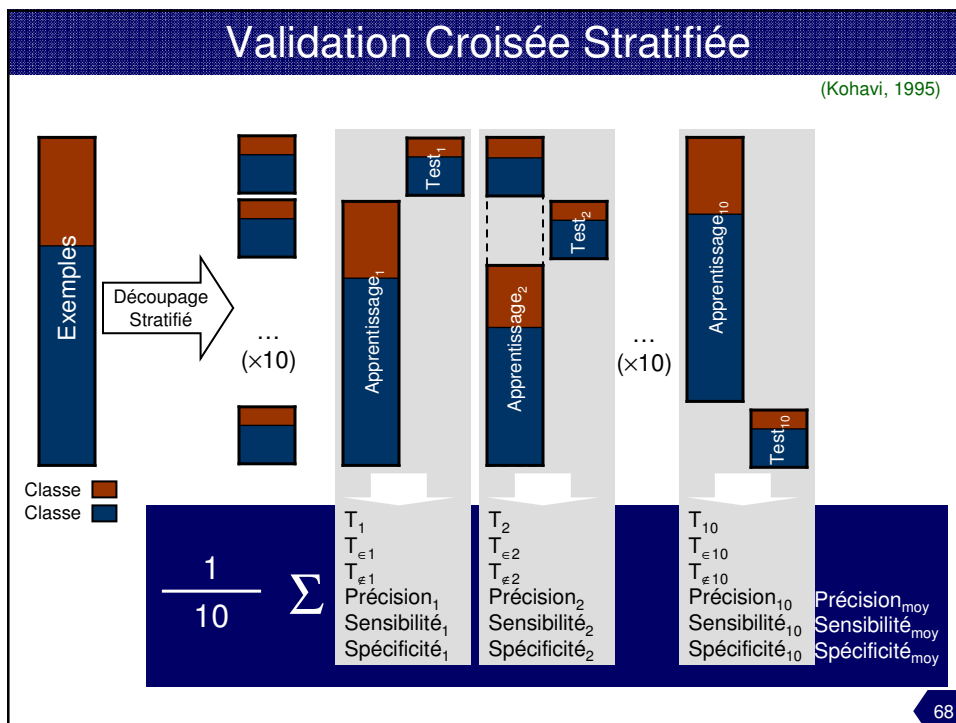
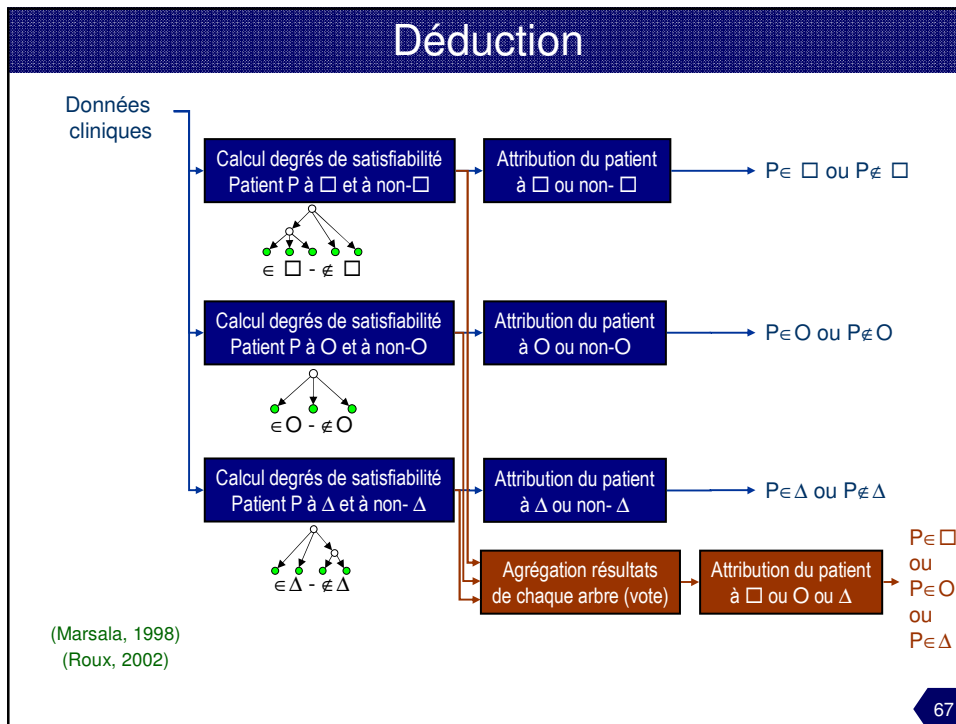
Merci de votre attention



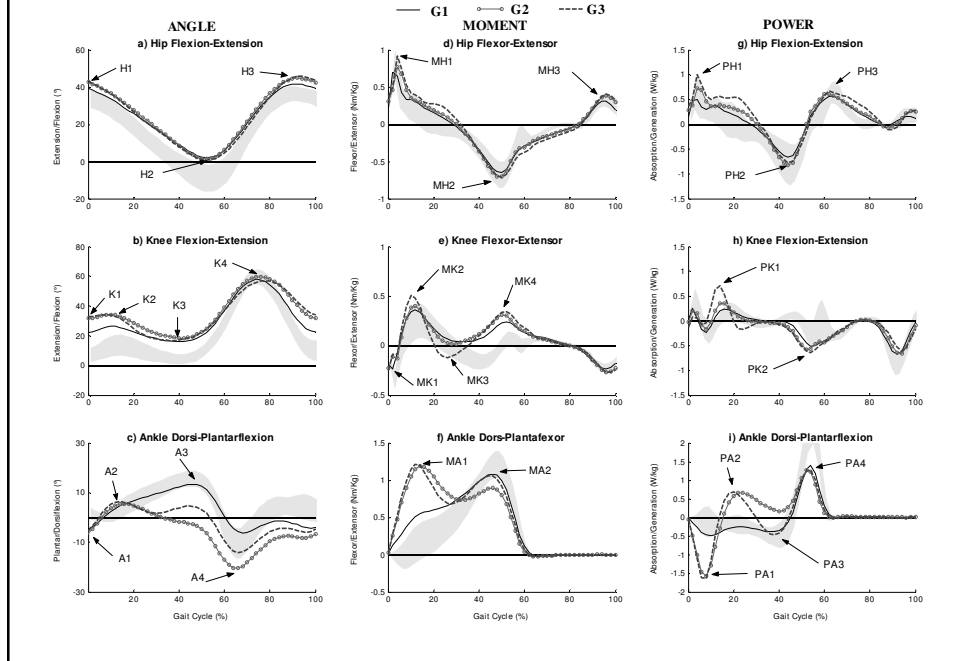
### Détermination patrons - Solutions essayées

- Solution 1 : valeur d'appartenance floue des patrons
  - Nombreuses règles & nombreuses conditions
- Solution 2 : appartenance stricte à partir d'un seuil
  - Seuil à 0.5 : Nombreuses règles & nombreuses conditions
  - Seuil > 0.6 : Problème avec groupe 2

	Groupe 1 	Groupe 2 	Groupe 3 	Autre patron	Non reproductible
Evaluation visuelle	60	35	48	43	53
Seuil à 0.5	85	45	66	43	
Seuil à 0.6	80	23	55	61	
Seuil à 0.7	63	5	30	141	



## Résultats : AQM liée aux 3 patrons



## Classement d'un nouveau patient

### Classement

**Objectif :** Pour un patient donné, trouver à quelle classe il appartient et déterminer quelle règle le caractérise

### Méthode :

1) calcul du degré de satisfiabilité à toutes les règles d'un arbre:  
 $S(r)$  = minimum des valeurs d'appartenances des données cliniques aux conditions de la règle

2) Détermination de la classe du patient : vote

$$V_c = \max(S(r(c))) + \frac{1}{\text{NbC}-1} \times \sum_{i=1}^{\text{NbC}-1} \max(S(r(c_i \neq c)))$$

**Classe du sujet** = classe qui a le vote le plus élevé

3) Détermination de la règle explicative

**Règle explicative** = celle de la classe du sujet qui a le degré de satisfiabilité le plus élevé

## Règles et hypothèses

### Hypothèses

  
**Faiblesse musculaire**



**Causes trouvés**  
**Faiblesse musculaire**  
**OU**  
**Limitation de flexion plantaire**  
**OU**  
**Spasticité faible du triceps**

  
**Contracture du triceps**



**Contracture triceps**  
**ET**  
**spasticité triceps**

  
**Spasticité du triceps**



**Spasticité des ischio-jambiers**  
**+**  
**Limitation de flexion dorsale**  
**OU**  
**Limitation de flexion de genou**

71

## Hypothèses

  
**Faiblesse musculaire**



**Traitements**  
**Renforcement musculaire**

  
**Contracture du triceps**



**Chirurgie triceps**

  
**Spasticité du triceps**



**Botox ou plâtre**

72

## Synthèse – contributions AQM

### Vers quoi ?

Efficacité  
Précision  
Interprétation  
Prédiction  
Standardisation

### Orientations AQM

### Sources

Simon, 2004  
Kaufman, 1998  
Sutherland, 2002

### Comment ?

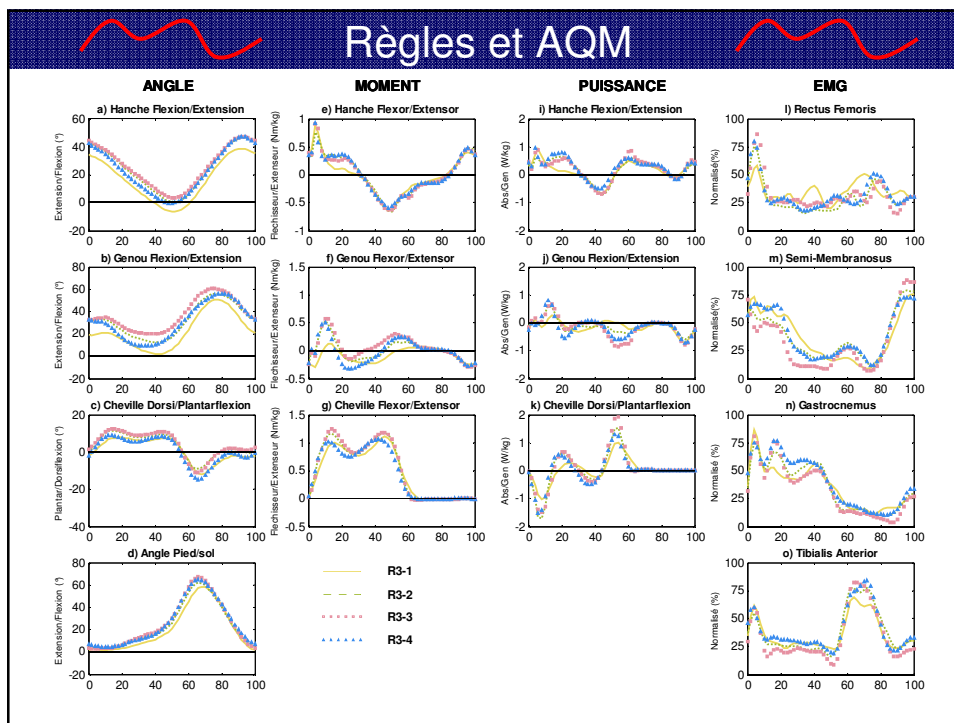
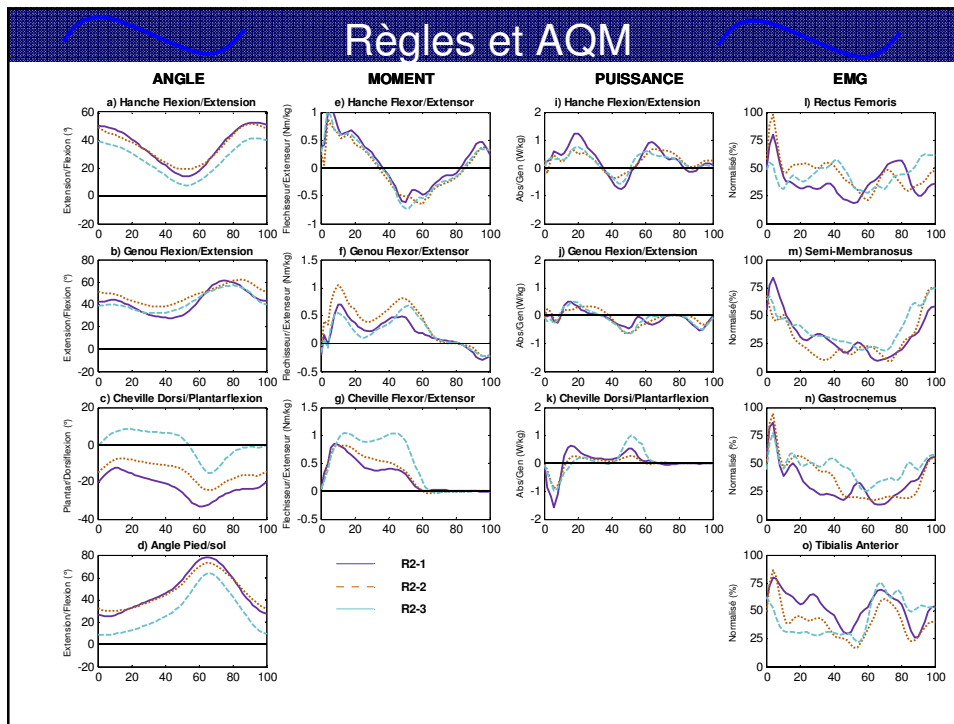
Automatisation  
sans marqueurs  
aide à l'indentification  
aide à l'interprétation  
Techniques d'analyse  
Statique multivariée  
Intelligence artificielle  
Communication  
Visualisation/Interactivité  
Informatisation/Internet  
Extraction de connaissance  
Etude sur AQM et autre champs  
Etude des défauts de marche  
Etude des pathologies  
Modélisation/Simulation  
calcul  
Effet d'un traitement  
Individualisation  
Anthropométrie/centre articulaire  
Comité/Organisation  
CAMARC  
ESMAC/GAMEA

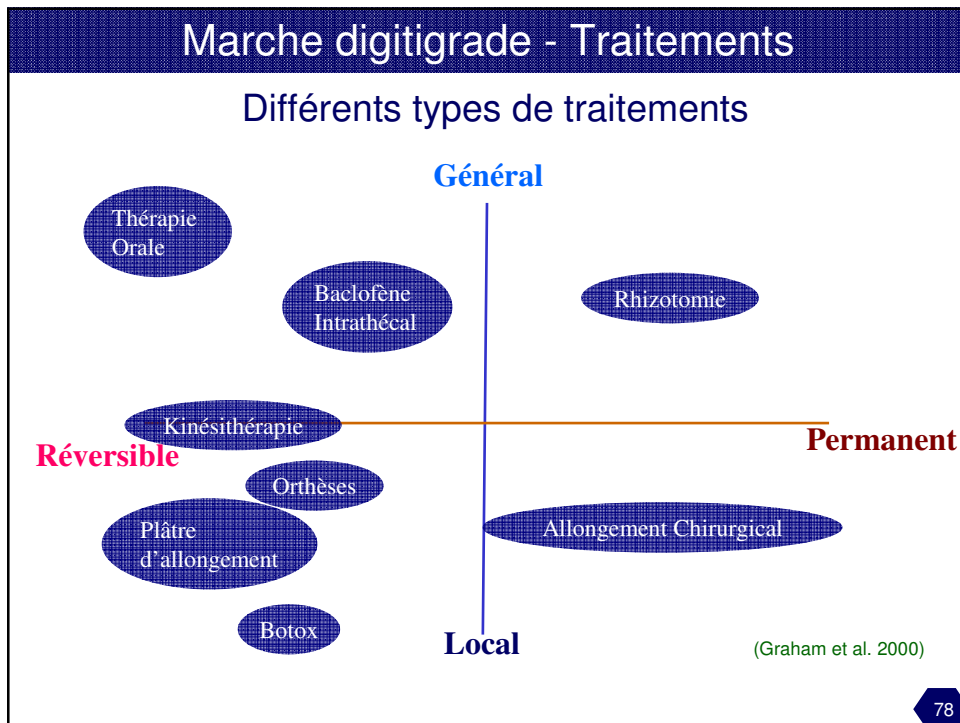
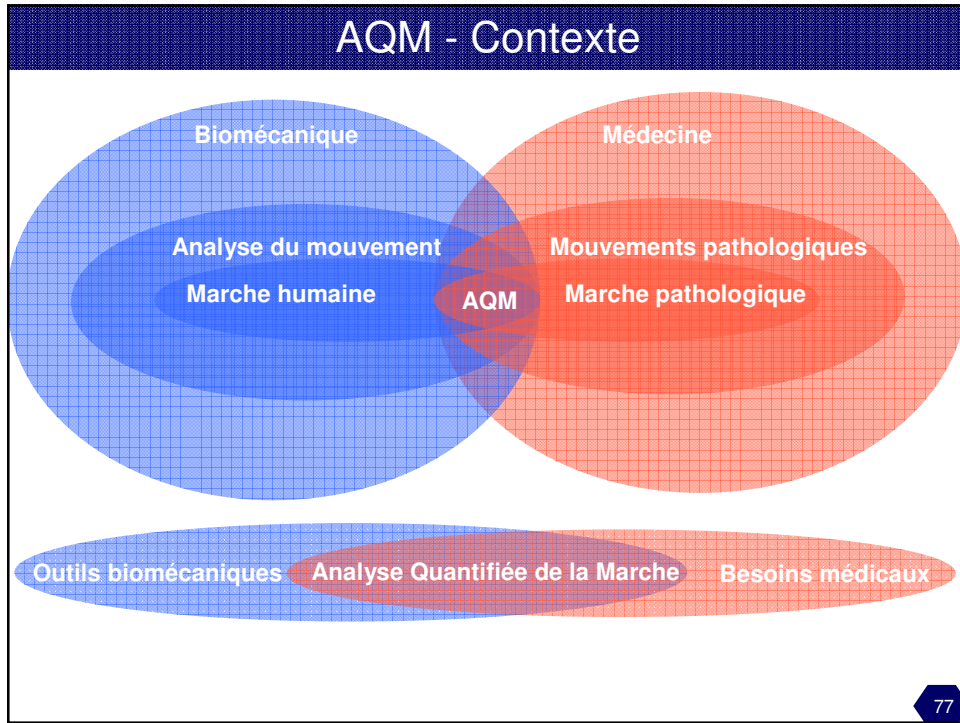
73

## Règles et traitements

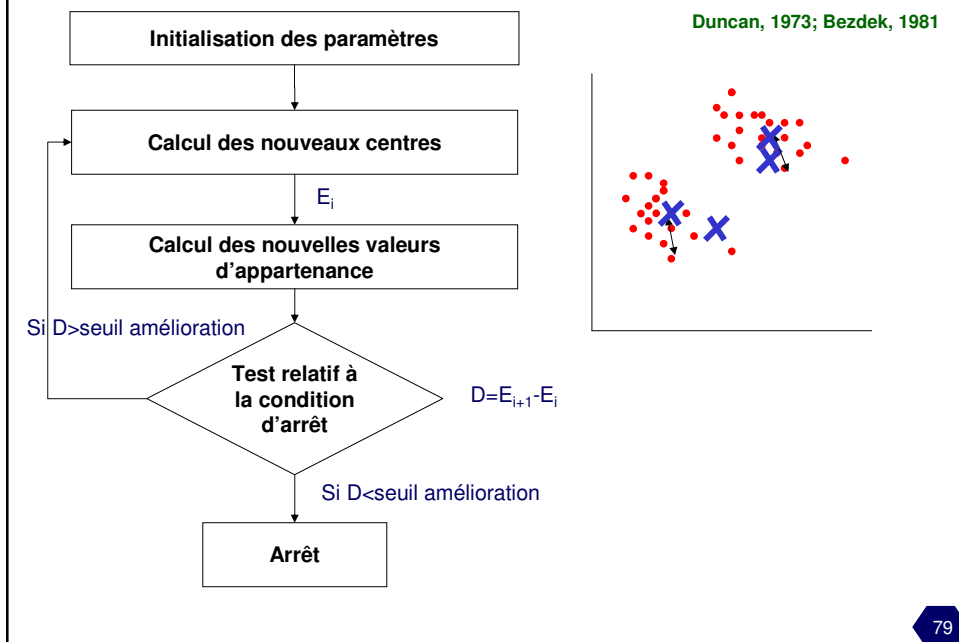
<b>Faiblesse musculaire</b>	⇒	Renforcement musculaire
OU		
<b>Limitation de flexion plantaire</b>	⇒	?
OU		
<b>Spasticité faible du triceps</b>	⇒	Toxine
<b>Contracture triceps</b>	⇒	Chirurgie
ET		
<b>spasticité triceps</b>		
<b>Spasticité des ischio-jambiers</b>	⇒	Toxine + Plâtre
ET		
<b>Limitation de flexion dorsale</b>	⇒	
OU		
<b>Limitation de flexion de genou</b>	⇒	Toxine

74



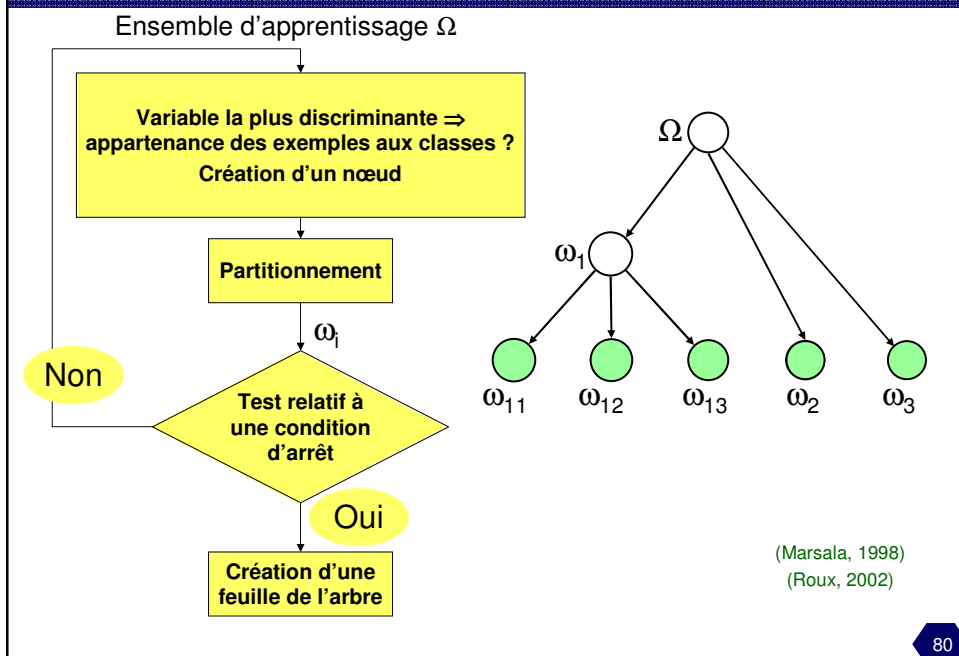


## C-moyennes floues - principe



79

## Arbres de décision - Principe



80