

Avant-propos

Le but de cet ouvrage est de présenter les principaux domaines d'application de la logique floue, avec une orientation méthodologique qui ne néglige cependant pas les fondements théoriques, mais tente de répondre aux questions de tous les étudiants, chercheurs et ingénieurs qui veulent mettre au point des réalisations dans des situations concrètes.

Afin de clarifier les notations et les définitions communes à tous les domaines, le premier chapitre sera consacré à la présentation des concepts de base de la théorie des sous-ensembles flous. Certains points spécifiques seront repris ou développés dans les autres chapitres de cet ouvrage, en fonction des connaissances qui y sont requises.

Les principes de l'arithmétique floue seront présentés d'abord, en raison de leur utilisation potentielle dans tous les domaines. Ils trouvent leur utilité dans la planification, la gestion de contraintes, en particulier temporelles, l'aide à la décision, par exemple la décision multicritère, l'analyse de données floues, les systèmes à base de connaissances, le traitement d'images, pour ne citer que quelques domaines.

Les méthodes d'agrégation multicritère dans un contexte flou sont ensuite décrites, elles peuvent s'appliquer à des problèmes de choix, de rangement, de classification, de décision. Elles font appel à des méthodes de comparaison et peuvent conduire à des schémas de modélisation des préférences d'agents.

On donne ensuite les bases des principaux moyens permettant de raisonner à partir de connaissances imprécises et incertaines, qui ne se réduisent pas à des schémas de raisonnement déductif flou comme c'était le cas il y a quelques années, mais qui étendent au cas de connaissances mal définies tous les modèles de raisonnement classiques en intelligence artificielle.

Des méthodes de classification et de diagnostic basées sur les ensembles flous sont ensuite présentées, elles autorisent plus de souplesse que les méthodes habituelles en acceptant des classes aux limites imprécises et des diagnostics possibles mais non certains.

Des éléments de statistiques et d'analyse des données floues sont également abordés. Des imprécisions apparaissent à plusieurs niveaux, les données expérimentales traitées peuvent être regardées comme des quantités floues, le paramètre d'une variable aléatoire ou de sa loi de probabilité peut être considéré comme flou. Les principaux concepts des statistiques trouvent ici leur contrepartie floue.

On montre ensuite comment on peut exploiter des bases de données dans un contexte flou. La première approche consiste à interroger, avec des requêtes souples, des bases de données conventionnelles. La deuxième autorise la gestion de données elles-mêmes imparfaitement connues. Enfin, les dépendances fonctionnelles peuvent être considérées comme floues.

Dans le domaine de la commande de processus, l'existence de variables difficiles à décrire précisément, la présence de connaissances sur le processus exprimées linguistiquement par des experts, la complexité des descriptions mathématiques de certains systèmes, la prise en compte d'éléments humains interagissant avec le processus, tels que des utilisateurs, sont autant de raisons d'utiliser des techniques floues. La notion de capteur flou pour la mesure est détaillée dans cet ouvrage et les principes de la commande floue sont présentés.

On introduit ensuite des facettes variées du traitement d'images, dans lequel le flou apparaît comme utile pour traiter différentes caractéristiques des images : les contours d'objets peuvent être imprécis, leurs mesures géométriques sont alors floues, la position relative d'objets est difficile à décrire précisément, le problème complexe de la fusion d'images trouve des solutions en logique floue.

Le dernier domaine présenté dans cet ouvrage est celui de l'apprentissage automatique. Les méthodes utilisant la théorie des sous-ensembles flous en apprentissage inductif sont détaillées. La problématique du domaine récent de l'extraction de connaissances en environnement flou est analysée ensuite.

Le dernier chapitre est consacré à la présentation de méthodes intégrant à la fois de la logique floue et d'autres techniques, telles que les réseaux de neurones et les algorithmes génétiques, dans une perspective de *soft computing*. Bien des réalisations du monde réel utilisent ainsi conjointement plusieurs techniques.

Le contenu de l'ouvrage recouvre l'ensemble des principaux axes dans lesquels l'utilisation de la logique floue peut fournir une solution à un problème pour lequel les méthodes classiques n'apportent pas de solution complètement satisfaisante en raison de l'existence de connaissances imparfaitement définies. Des compléments d'information peuvent être trouvés dans les nombreux travaux indiqués en bibliographie de chaque chapitre.

Bernadette BOUCHON-MEUNIER
Christophe MARSALA

Chapitre 1

Introduction

1.1. La théorie des sous-ensembles flous

Cette section a pour but d'introduire brièvement les concepts de base de la théorie des sous-ensembles flous. Pour de plus amples développements de cette théorie, outre les autres chapitres de ce livre, on peut consulter aussi les ouvrages de base suivants [BEZ 99, BOU 95, BOU 99, DUB 80, KAU 73, KLI 88, KLI 95, KOS 97, RUS 98].

1.1.1. Définition d'un sous-ensemble flou

Un ensemble classique possède des éléments qui satisfont l'ensemble des propriétés précises. Des éléments qui ne satisfont pas ces propriétés ne peuvent appartenir à l'ensemble que celles-ci décrivent. Plus formellement, un sous-ensemble A d'un ensemble de référence X peut être décrit à partir de sa *fonction caractéristique* $\chi_A : X \longrightarrow \{0, 1\}$ de la manière suivante :

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x \in A \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Par exemple, le sous-ensemble A des âges compris entre 20 et 40 ans a pour fonction caractéristique :

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } 20 \leq x \leq 40 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Le graphe de cette fonction est donné dans la figure 1.1.

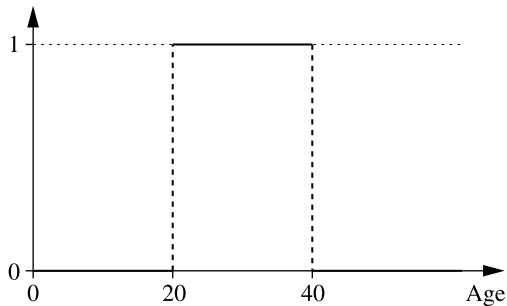


Figure 1.1. Fonction caractéristique de l'ensemble A

Considérons maintenant un ensemble B des âges avoisinant les 30 ans. La propriété *avoisinant les 30 ans* n'est pas précise. B ne peut être caractérisé par une fonction caractéristique qui scinderait en deux les âges : ceux qui avoisinent les 30 ans et ceux qui ne les avoisinent pas. On est alors amené à introduire une généralisation de cette fonction caractéristique en une *fonction d'appartenance* afin de considérer des âges qui ne sont pas trop éloignés sans être vraiment proches de 30 ans.

Ainsi, une fonction d'appartenance permet de mettre en évidence les nuances d'appartenance pour les éléments de l'ensemble de référence X et de définir un sous-ensemble flou de X .

DÉFINITION 1.1.— Un sous-ensemble flou F de X est défini par une fonction d'appartenance μ_F qui associe à tout élément x de X une valeur réelle $\mu_F(x)$ dans l'intervalle $[0, 1]$.

Ainsi, un sous-ensemble flou est toujours (et seulement) une fonction de X dans $[0, 1]$. Par exemple, le graphe d'une fonction d'appartenance possible pour l'ensemble B est donné dans la figure 1.2.

Commentaires

Ainsi définie, toute fonction à valeurs dans $[0, 1]$ est un sous-ensemble flou (on dit aussi *ensemble flou* pour simplifier). Par contre, toute fonction de ce type ne peut pas toujours s'interpréter conceptuellement par un ensemble flou. Une telle fonction devient pleinement un ensemble flou lorsqu'elle coïncide avec une description sémantique plausible [BEZ 93].

Un autre commentaire mérite d'être porté sur une des premières questions posées par un débutant, à savoir : quelle est la différence avec les probabilités ?

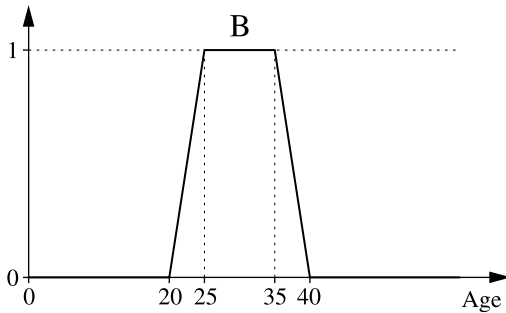


Figure 1.2. Une fonction d'appartenance de l'ensemble B

La théorie des sous-ensembles flous n'est pas une « théorie bis » des modèles statistiques. Pour montrer la différence entre ces deux modèles, Bezdek [BEZ 93] utilise l'exemple suivant :

EXEMPLE 1.1.– Supposons que l'univers de discours soit l'ensemble de tous les liquides et L le sous-ensemble flou des liquides potables. Supposons maintenant que vous êtes dans un désert sans rien à boire. Vous tombez sur deux bouteilles A et B . Sur la bouteille A , vous pouvez lire sur l'étiquette : *degré d'appartenance de A à L = 0.9*, tandis que sur l'étiquette de B , vous lisez : *probabilité que A appartienne à L = 0.9*. Quelle bouteille boirez-vous pour vous hydrater ?

Le *degré d'appartenance de A à L = 0.9* signifie que le liquide contenu dans la bouteille A est proche d'un liquide pur (disons une eau dans une bouteille ouverte depuis 3 jours). La *probabilité que A appartienne à L = 0.9* veut dire qu'après un grand nombre d'expériences, le liquide contenu dans la bouteille B est potable pour 90 % des expériences. Dans les autres cas, le liquide est dangereux (voire mortel).

Ceci implique que si vous choisissez B , vous aimez le risque (une chance sur 10 d'être mortellement atteint) alors que si vous choisissez A vous risquez au pire d'être un peu barbouillé.

Cet exemple montre la différence d'information apportée par un degré d'appartenance ou une probabilité. Le premier donne une information plus qualitative. La deuxième donne une information plus quantitative puisqu'elle se réfère à une fréquence.

Pour une étude plus approfondie sur les fonctions d'appartenance, leur sémantique ainsi que pour des exemples de méthodes de construction de telles fonctions, voir [ALA 97] ou [BIL 00].