

APPLICATION DE LA LOGIQUE FLOUE A L'AGREAGE DES CEREALES

M.N.Lakhoua*, J.Zrida†, A.Haddad‡, M.Annabi†

Résumé. - L'application de la logique floue à l'agrégation des céréales permet d'offrir une modélisation du système, d'aboutir à un système de diagnostic à base de méthodes floues, et de disposer d'un système expert ou décisionnel pour la détermination des prix des céréales.

Mots-clés : Agrégation des céréales, Critère d'évaluation, Logique floue.

1. Introduction

Le processus d'agrégation des céréales est un processus complexe et difficile à modéliser. En effet, c'est l'agrégation qui détermine les prix des transactions à l'achat et à la vente des céréales et par conséquent qui régit les relations aussi bien techniques que juridiques entre les différents intervenants : producteurs, stockeurs, minotiers, agriculteurs (semences) et industriels des céréales (boulangerie, pâtes alimentaires, nutrition animale...).

Il existe plusieurs paramètres d'agrégation intervenant lors de l'évaluation d'un produit céréalier. L'objet de cet article est de présenter, dans une première partie, le processus d'agrégation à l'Office des Céréales (OC) et, dans une deuxième partie, une application de la logique floue à l'agrégation des céréales.

* ENIT, B.P. 37, 1002 Tunis le Belvédère.

† ESSTT, 5 ave Taha Hussein Montfleury 1008 Tunis

‡ Office des Céréales, 30, rue Alain Savary, Tunis - Tunisie.

2. L'agréage des céréales

La détermination de la qualité des céréales, en transaction sur le marché organisé, est une opération indispensable pour l'évaluation du produit et la connaissance de son aptitude au stockage. Mais, malgré son importance, elle est encore effectuée d'une façon simpliste sur la base de l'appréciation visuelle et du bon sens du gérant, particulièrement au niveau de la collecte, sauf pour le critère relatif au poids spécifique et, dans certains cas, à l'humidité^[1].

D'autre part, les céréales, comme tout autre matériel biologique, s'altèrent au cours de leur stockage lorsqu'elles sont mal conservées, causant des dégradations de la qualité et des pertes en quantité. Au niveau de l'OC, les règles de sauvegarde des stocks sont encore mal maîtrisées et les consignes de sécurité sont peu respectées. Le circuit officiel emprunté par les céréales produites localement commence au niveau de la collecte et aboutit aux unités de transformation en passant par les Silos et les Centres de repli.

A chaque étape, la céréale est soumise à une évaluation qualitative permettant de vérifier sa loyauté et de déterminer sa valeur marchande. Toutefois, les procédures d'évaluation appliquées à présent ne sont pas toujours les mêmes à tous les niveaux du circuit et sont, de ce fait, loin d'être standardisées.

Cette opération d'évaluation de la qualité des céréales est régie par un barème d'agréage^[2] appliqué par les responsables des silos des Centres de Collecte lors de toute opération d'entrée ou de sortie de céréales.

3. Impact de l'agréage sur la détermination des prix

Le prix de la céréale réceptionnée est fixé sur la base de la mesure objective de son PS (poids spécifique) et d'une appréciation qui ne dépend que de l'expérience et du bon sens du gérant. La figure 1 illustre les différentes étapes franchies lors de l'agréage.

Au début de chaque campagne, l'Office des Céréales applique un barème d'agréage dont les principaux points sont :

- Prix de base (PB) pour les céréales,
- Bonification (à ajouter sur le prix de base si les céréales sont de haute qualité),
- Réfaction (à retrancher du prix de base si les céréales sont de qualité inférieure aux critères).

Le prix des céréales est calculé alors comme suit :

$$\text{Prix Céréales} = \text{PB} + \text{Bonification} - \text{Réfaction}$$

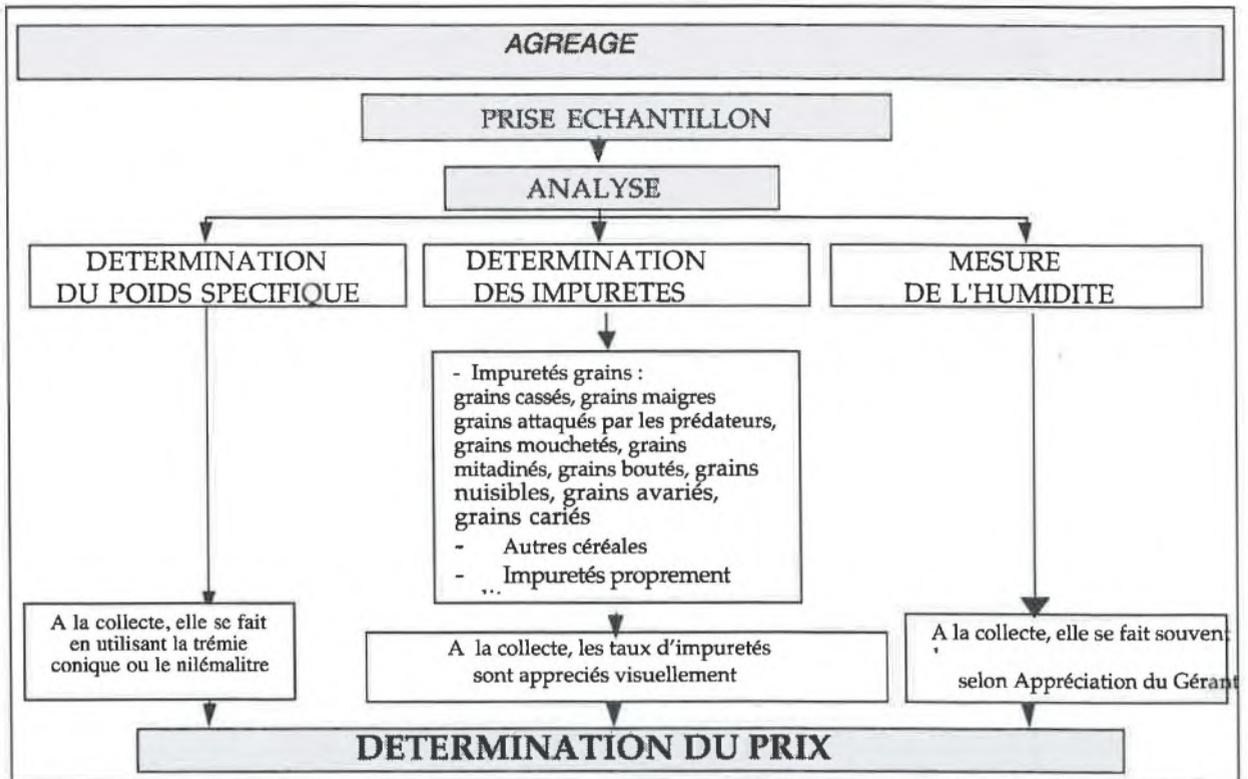


Fig.1- Processus d'agrégation pratiqué

4. Application de la logique floue à l'agrégation des céréales

Motivation : La détermination du prix lors des transactions est basée essentiellement sur le processus d'agrégation, particulièrement pour la bonification et la réfaction. Du fait de la dynamique des paramètres céréaliers conditionnant l'agrégation, ainsi que de la procédure et des conditions de prise de l'échantillon, d'une part, et des divers points de vue des différents acteurs concernés par la transaction, d'autre part, il est fréquent de se trouver dans des situations soit conflictuelles suite aux diverses appréciations, et interprétations soit non objectivement représentatives. C'est ainsi que l'approche Logique Floue pourrait contribuer à atténuer ces situations et à mettre en œuvre un support consensuel et plus objectif.

C'est ainsi que nous proposons :

- d'offrir une modélisation du système d'agrégation utilisant la technique de la logique floue,
- d'aboutir à un système de diagnostic à base de méthodes floues,

- de disposer d'un système expert ou décisionnel pour la détermination des prix des céréales.

4.1 Présentation de l'approche Logique Floue

La logique floue est un nouveau concept, que l'on peut légitimement considérer comme une petite révolution, au moins intellectuelle.

Comme tout nouveau concept, la logique floue nécessite un effort de compréhension ou plutôt une disponibilité d'esprit pour résoudre certains problèmes où les mathématiques peinent par impossibilité ou difficulté de modélisation. La logique floue apporte une étonnante efficacité.

Le concept de la logique floue vient de la constatation que la variable booléenne, qui ne peut prendre que deux valeurs (vrai ou faux) est mal adaptée à la représentation de la plupart des phénomènes courants.

La première étape du traitement d'un problème par la logique floue consiste à modéliser chacune des entrées du système par des courbes (fonctions d'appartenance) donnant les degrés d'appartenance à différents états identifiés pour ces entrées dont la valeur varie entre 0 et 1. Cette étape est aussi appelée fuzzyfication.

Les courbes d'appartenance prennent différentes formes (Fig.2) en fonction de la nature de la grandeur à modéliser. Le plus souvent, on utilise pour les fonctions d'appartenance des formes trapézoïdales ou triangulaires.

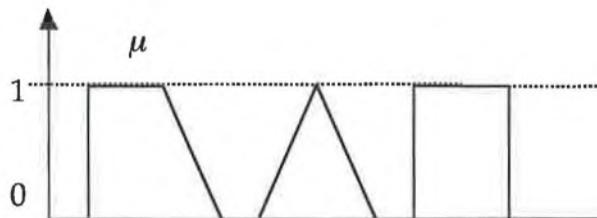


Fig.2 : Fonctions d'appartenance de forme trapézoïdale avec formes triangulaires ou rectangulaires comme cas spéciaux.

La notion d'ensemble flou a pour but de permettre des graduations dans l'appartenance d'un élément à une classe. Par exemple (Fig.3), un individu d'une taille donnée n'appartient pas du tout à l'ensemble des « grands » s'il mesure 1,50 m, il y appartient tout à fait s'il mesure 1,80 m et plus sa taille se rapproche de 1,80 m, plus son appartenance à la classe des « grands » est forte. Ainsi, si on note A l'ensemble des « grands », on définit une fonction d'appartenance notée $\mu_A(x)$ à valeurs comprises dans l'intervalle $[0,1]$ ^[14], où x est un élément appartenant à un univers de discours ; dans l'exemple précédent x représente la taille d'une personne.

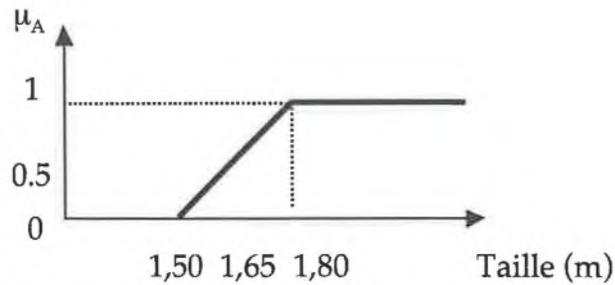


Fig.3. Fonction d'appartenance de l'ensemble de personnes « grands »

Après avoir « fuzzyfier » les variables d'entrée et de sortie, il faut établir les règles liant les entrées aux sorties. En effet, il ne faut pas perdre de vue le but que nous poursuivons, qui consiste, à chaque instant, à analyser l'état ou la valeur des entrées du système pour déterminer l'état ou la valeur de toutes les sorties.

La logique floue fonctionne suivant le principe :

Plus la condition sur les entrées est vraie, plus l'action préconisée pour les sorties doit être respectée. Les valeurs de variables linguistiques, convenablement définies par les fonctions d'appartenance, sont donc liées entre elles par des règles, afin de tirer des conclusions. On parle alors de déductions floues, ou inférences. Dans ce contexte, on peut distinguer deux genres de règles d'inférence :

- Inférence avec une seule règle,
- Inférence avec plusieurs règles.

Le cas d'inférence avec une seule règle se présente lorsqu'il faut comparer plusieurs concurrents (objets ou personnes) dans une certaine situation et en choisir l'optimum. On trouve cette problématique essentiellement dans les domaines non techniques, où il faut prendre une décision.

En effet, pour le cas de notre système, il existe plusieurs paramètres d'agrégage (physiques, dimensionnels, biologiques) pour chaque variété de céréales, paramètres qui doivent être appréciés lors d'une opération d'agrégage en tenant compte de la perception de chaque acteur (stockeurs, agriculteurs, utilisateurs) dans le processus d'agrégage. Ces paramètres d'agrégage sont alors les variables linguistiques pour évaluer les échantillons de céréales. On peut donc formuler un critère d'évaluation pour la prise de décision par :

Critère = Paramètres physiques ET Paramètres dimensionnels ET Paramètres biologiques.

4.2 Détermination des Variables d'agrégage

Selon la variété de céréale (blé dur, blé tendre, orge...), et selon le cas d'agrégage (à la production, à la vente aux minotiers, à l'importation,...), on peut identifier plusieurs variables

d'agrèage en se basant sur les barèmes de références utilisés par l'OC. Le tableau 1 représente le barème relatif à la production de l'orge.

Les variables d'agrèage pour la cas de l'orge à la production sont : Poids spécifique, Matières inertes, Graines étrangères et Grains charançonnés.

Le critère d'évaluation pour le cas de l'orge est :

Critère = Poids spécifique ET Matières inertes ET Graines étrangères ET Grains charançonnés.

Bonifications (à payer en plus)		Réfactions (à payer en moins)				
1/ Pour le Poids Spécifique		1/ Pour le poids Spécifique		2/ Pour impuretés :tolérance 1% pour matières inertes et 1% pour graines étrangères		
Tranches de poids (en Kg)	A payer en plus	Tranches de poids (en Kg)	A payer en plus			
59.000 à 59.499	3/1000 du prix de base/QI	58.499 à 58.000	3.5/1000 du prix de base/QI	Pourcentage d'impuretés	Matières inertes	Graines étrangères
59.500 à 59.999	6/1000	57.999 à 57.500	7/1000	1.01 à 1.50	3.5/1000	1.75/1000
60.000 à 60.499	9/1000	57.499 à 57.000	10.5/1000	1.51 à 2.00	7/1000	3.50/1000
60.500 à 60.999	12/1000	56.999 à 56.500	14/1000	2.01 à 2.50	10.5/1000	5.25/1000
61.000 à 61.499	15/1000	56.499 à 56.000	17.5/1000	2.51 à 3.00	14/1000	7.00/1000
61.500 à 61.999	18/1000	55.999 à 55.500	21/1000	3.01 à 3.50	17.5/1000	8.75/1000
62.000 à 62.499	21/1000	Et ainsi de suite réfaction de 3,5/1000 du prix de base par tranche ou fraction de tranche de 500g /QI.		3.51 à 4.00	21/1000	10.50/1000
62.500 à 62.999	24/1000			4.01 à 4.50	24.5/1000	12.25/1000
63.000 à 63.499	27/1000	3/ Pour grains charançonnés: Réfaction de 3,5/1000 du prix de base par tranche de 500g.		4.51 à 5.00	28/1000	14.00/1000
63.500 à 63.999	30/1000			5.01 à 5.50	35/1000	17.50/1000
64.000 à 64.499	33/1000			5.51 à 6.00	42/1000	21.00/1000
64.500 à 64.999	36/1000			6.01 à 6.50	49/1000	24.50/1000
65.000 à 65.499	39/1000			6.51 à 7.00	56/1000	28.00/1000
65.500 à 65.999	42/1000			Au delà de 7%, la réfaction à appliquer sera fixée d'un commun accord entre acheteur et vendeur.		
Au delà, bonification progressive de 2/1000 du prix de base par tranche ou fraction de tranche de 500g /QI.						

Tableau 1 : Barème d'agrèage relatif à la production de l'orge

4.3 Détermination des valeurs pour les fonctions d'appartenance

Afin d'apprécier l'effet des quatre variables v_1 , v_2 , v_3 , v_4 correspondant respectivement aux Poids spécifique, Matières inertes, Graines étrangères et Grains charançonnés sur le barème, on définit une fonction d'appartenance μ_{v_i} ($i=1,..4$) indiquant la valeur de bonification ou

réfaction selon la tranche considérée. Cette fonction est normée par rapport à une valeur maximum estimée. Les figures 4, 5, 6 et 7 représentent les fonctions d'appartenance μ_{v1} , μ_{v2} , μ_{v3} et μ_{v4} de l'exemple d'agrégation de l'orge.

La forme choisie des fonctions d'appartenance est rectangulaire. Par exemple, la tranche n°10 du Poids Spécifique a une forme rectangulaire et un facteur d'appartenance de 0,32. Cette tranche correspond dans le barème d'agrégation à l'intervalle [58, 58,499] et à la réfaction 3,5 % du Prix de base. Par contre, la tranche n° 20 correspond dans le barème d'agrégation à l'intervalle [63, 63,499] et à la bonification 27 % du Prix de base.

4.4 Détermination du facteur d'appartenance pour le critère d'évaluation

Le système étudié présente une situation où plusieurs échantillons doivent être comparés. Evidemment, les variables qui déterminent la situation sont des variables linguistiques (variables floues). On trouve cette problématique essentiellement dans les domaines non techniques, où il faut prendre une décision.

Les variables linguistiques pour évaluer des échantillons de céréales (par exemple de l'orge) étant identifiées, on peut formuler le critère γ pour la prise de décision par une règle comme celle qui suit :

$$\gamma = v1 \text{ ET } v2 \text{ ET } v3 \text{ ET } v4$$

Les variables linguistiques sont liées entre elles au niveau des inférences par un opérateur ET. Il s'agit donc d'un opérateur de la logique floue qui intervient sur les fonctions d'appartenance représentant les variables linguistiques.

Un opérateur ET est réalisé par la règle « min » qui tient compte du caractère particulier de la logique floue. L'opérateur ET flou est un opérateur combiné entre l'opérateur minimum et la moyenne arithmétique.

Le critère d'évaluation est défini par :

$$\mu_{cr} = \gamma \min [\mu_{v1}, \mu_{v2}, \mu_{v3}, \mu_{v4}] + (1-\gamma) [\mu_{v1} + \mu_{v2} + \mu_{v3} + \mu_{v4}] / 4$$

Avec $\gamma \in [0,1]$, il est possible de pondérer l'influence des deux termes. Pour $\gamma = 1$, on aboutit à l'opérateur minimal. Par contre, pour $\gamma = 0$, on obtient la moyenne arithmétique correspondant à l'opérateur somme.

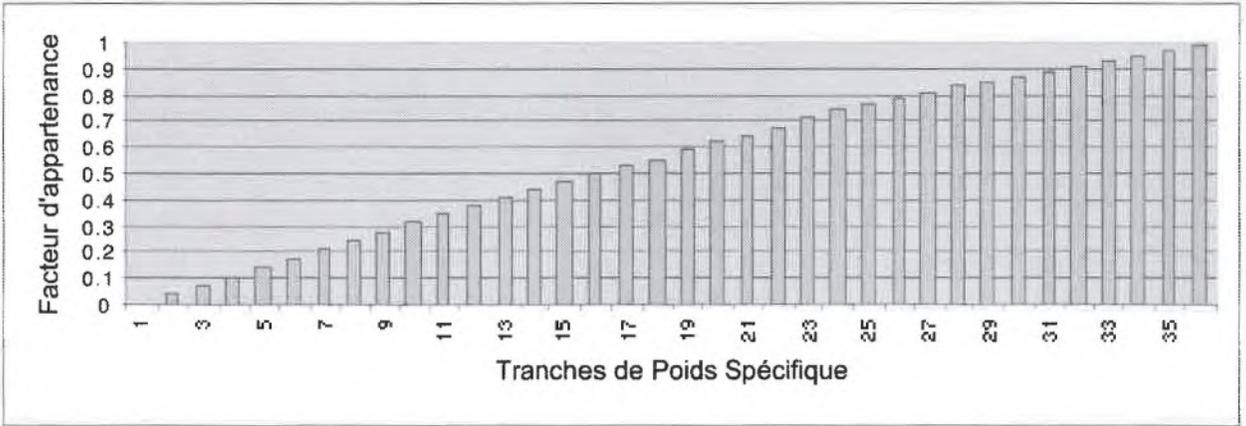


Figure 4 : Fonction d'appartenance de la variable poids spécifique

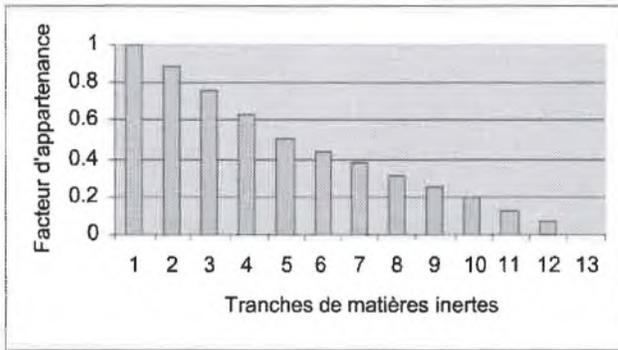


Figure 5 : Fonction d'appartenance de la variable Impuretés (matières inertes)

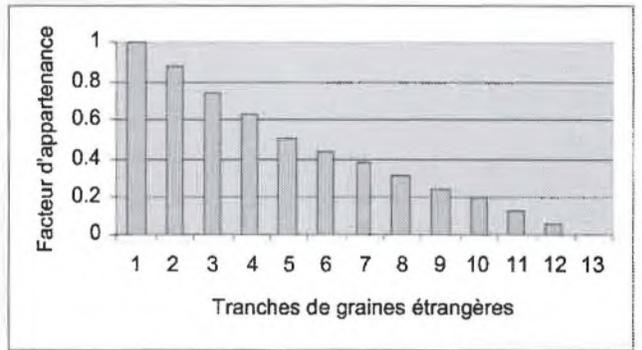


Figure 6 : Fonction d'appartenance de la variable Impuretés (Graines étrangères)

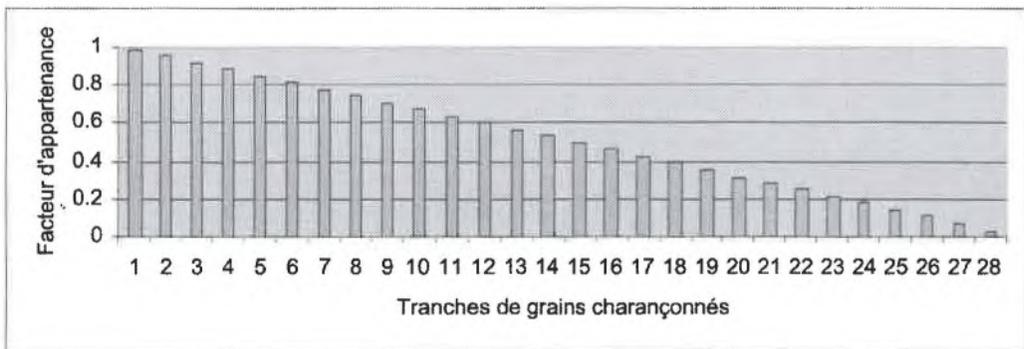


Figure 7 : Fonction d'appartenance de la variable Grains charançonnés

5. Résultats

Le tableau 2 représente les valeurs des variables d'agrégation pour cinq échantillons différents.

Le résultat numérique de la classification des échantillons est résumé dans le tableau 3 pour cinq valeurs du facteur γ .

Pour $\gamma = 1$, l'échantillon 3 avec $\gamma_{cr} = 0,5$ est le meilleur, et les deux échantillons 2 et 4 sont équivalents. Si γ diminue, le critère d'évaluation change. Pour $\gamma = 0$, l'échantillon 5 avec $\gamma_{cr} = 0,39$ est moins pénalisé que l'échantillon 1. Par contre, il devient très faible lorsque $\gamma > 0,75$. L'échantillon 3, pour toutes les valeurs de γ , est le moins pénalisé.

Comme on le voit, la logique floue permet d'influencer le critère d'évaluation avec certains opérateurs. On peut ainsi tenir compte du fait que beaucoup de décisions humaines ne sont pas rigidement objectives, mais sujettes à des critères subjectifs. C'est surtout souhaitable dans le cas d'inférences avec une seule règle qui conduisent à une prise de décision pondérée, comme dans l'exemple traité.

Variables	Echantillons				
	1	2	3	4	5
V1- Poids spécifique	56 kg	70 kg	65 kg	59 kg	57 kg
V2- Matières inertes	6%	4%	2%	5%	7%
V3- Graines étrangères	6%	5%	3%	2%	4%
V4- Grains charançonnés	4.5%	3%	2%	1.5%	5%

Tableau 2 : Tableau des valeurs des variables d'agrégation pour cinq échantillons d'orge

Variables	Echantillons				
	1	2	3	4	5
V1- Poids spécifique	0,18	0,95	0,7	0,38	0,45
V2- Matières inertes	0,13	0,37	0,75	0,25	0,06
V3- Graines étrangères	0,13	0,25	0,5	0,75	0,37
V4- Grains charançonnés	0,7	0,78	0,88	0,91	0,67
$\gamma = 1$	0,13	0,25	0,5	0,25	0
$\gamma = 0,75$	0,17	0,33	0,55	0,33	0,14
$\gamma = 0,5$	0,21	0,42	0,6	0,41	0,22
$\gamma = 0,25$	0,25	0,5	0,66	0,49	0,31
$\gamma = 0$	0,29	0,59	0,71	0,57	0,39
rang	5	2	1	3	4

Tableau 3 : Résultat de la classification des échantillons d'orge.

Sachant que le prix maximum de l'orge, en se référant au barème d'agrèage et aux connaissances des experts du secteur céréalier, est égal à $PB + 60/1000$ et que le prix minimum est égal à $PB - 330/1000$, nous donnons dans la tableau 4 les prix des cinq échantillons d'orge.

Echantillons	1	2	3	4	5
Critère d'évaluation	0,21	0,4	0,6	0,4	0,2
Prix (Classification par logique floue)	PB-117	PB-31	PB+39	PB-35	PB-109
Prix (Barème d'agrèage)	PB-112	PB-35	PB+8	PB-39	PB-85

Tableau 4 : Prix des échantillons d'orge.

6. Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté d'une part le système d'agrèage des céréales en Tunisie, et appliqué la logique floue qui, à la différence de la logique binaire, définit un degré de vérité pour toute proposition, présente un cadre formel capable de travailler sur les notions imprécises, et permet d'aboutir à une classification de plusieurs échantillons.

L'application de la logique floue au système d'agrèage des céréales peut donner naissance à un nouveau système d'agrèage tenant compte des diverses catégories de paramètres (physiques, dimensionnels, et biologiques) et de la perception de chacun des acteurs (stockeurs, agriculteurs, utilisateurs) dans ce système.

7. Références

- [1] Direction de la promotion du secteur - Rapport d'activité de l'Office des Céréales - Tunis - Mars 98.
- [2] JORT n° 4 du 14-1-97 - décret n° 2549 - Prix et modalités de paiement du stockage et rétrocession de céréales et coupage - 30/12/96.
- [3] S.Jlidi - Démarche et résumé du Plan Directeur de Stockage (2ème phase 1998-2003) - Etude CNEA - Tunis - 1998.
- [4] M. Annabi - Plan Directeur de Stockage des Céréales - Atelier PIPO, 2ème phase du Plan - Office des Céréales - Sept 98.
- [5] INNORPI - Catalogue des normes tunisiennes - 1997.
- [6] NT 51.61 ENR - Céréales : détermination de la masse volumique - 1993.
- [7] NT 51.02 - Céréales - Définition des impuretés - Paris - 1983.
- [8] NT 51.21 ISO 712-1985 - Céréales et produits céréaliers : détermination de la teneur en eau - méthode de référence pratique - 1989.
- [9] NT 51.27 ISO 950-1979 - Céréales : échantillonnage des grains - 1990.
- [10] Norme internationale ISO 950 - Céréales : échantillonnage des grains - Bordeaux - 1979.
- [11] Norme internationale ISO 7970 - Blé tendre : spécifications - Bordeaux - 1989.
- [12] H. Bühler - Réglage par logique floue - Presses Polytechniques et Universitaires Romandes - 1994.
- [13] P.P. Wang, C.Y. Tyan - Fuzzy Dynamic System and Fuzzy Linguistic Controller Classification - Automatica - vol.30 No.11 pp.1769-1774 - 1994.
- [14] Bouchon.M.B - La logique floue - presses universitaires de France - Paris 1993.
- [15] M. Souissi, M. Annabi - Commande par logique floue du climat d'une serre agricole - Entropie No229 p24-30 - 2000.
- [16] B. Fustier - Evaluation, prise de décision et logique floue - Economie appliquée - N°1 - 2000.
- [17] N. Belacel - Une approche du choix flou pour les problèmes de classification multicritère - LFA'2000 - La Rochelle.