

# INTEGRATION DE L'ELEVAGE DANS LES PETITES EXPLOITATIONS IRRIGUEES

NAZIHA DRIDI (\*) - SLIM ZEKRI (\*\*\*) - PABLO LARA (\*\*\*)

Les investissements durant la période 1987-1991 dans le secteur élevage ont atteint 10,7% du total des investissements agricoles. Malgré les efforts déployés dans ce secteur et particulièrement dans le secteur laitier, le déficit en lait et en viande reste encore élevé. Cette situation est expliquée, d'une part par la politique laitière mise en oeuvre à savoir un prix du lait à la production peu rémunérateur, le manque d'infrastructure de collecte, l'entrée en franchise douanière du lait en poudre importé et, d'autre part par des facteurs liés aux conditions de production locale (Ministère de l'Agriculture 1991).

Par ailleurs, l'analyse de l'insertion de l'élevage dans les structures d'exploitation montre qu'il y a une corrélation négative entre les effectifs détenus et la faible part des emblavures réservées aux fourrages surtout dans les petites et moyennes exploitations. Les vaches ont alors, en dépit de leur potentiel génétique élevé, une production faible due essentiellement au déséquilibre alimentaire aussi bien sur le plan quantitatif que qualitatif.

Devant cette situation et dans le contexte actuel des politiques économiques internationales (libre échange, compétitivité, une meilleure intégration de l'élevage laitier dans l'exploitation semble nécessaire pour rendre plus compétitive la production locale.

Le développement de l'élevage reste tributaire, cependant, de la place que peut occuper cet élevage dans le système de production et dans l'économie de l'exploitation et par conséquent de sa rentabilité relative.

A l'échelle d'un système de production, l'activité d'élevage doit être analysée comme partie intégrante du système car la filière laitière ne peut être étudiée isolément sans tenir compte des autres activités avec lesquelles elle entre en compétition. L'objectif de ce travail est de déterminer l'effectif optimal de vaches laitières (UZB) (1) dans une unité de production ainsi que l'allocation optimale des ressources disponibles compte tenu des contraintes agronomiques, des contraintes de trésorerie, des besoins alimentaires et des spéculations végétales destinées à la vente.

(\*) Ingénieur Spécialisé. Office de L'Elevage et des Paturages, Tunis.

(\*\*) Enseignant à L'Ecole Supérieure d'Agriculture de Mograne, Zaghouan, Tunisie.

(\*\*\*) Enseignant à la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes, Córdoba, Espagne.

## Abstract

The present paper tackles the integration of dairy production in an irrigated family farm in the North-West of Tunisia. A two step mixed linear multiobjective programming model is used. The first step allowed the determination of the optimal herd size taking into account both animal feed needs and alternative marketable crops. Three objectives have been considered: 1) maximisation of gross returns, 2) optimisation of labor, and 3) minimisation of risk. For the second step, additional capital constraints are introduced. A fourth objective consisting in the minimisation of deviational variables between animal needs and fourage supply and complementary ration is included. The results show that the complementary ration currently used does not meet the actual animal requirements. A further intensification of the production system could only be done by the introduction of fourage crops with shorter cycle.

## Résumé

Le présent article analyse l'intégration de l'activité laitière dans le système de production des petites exploitations irriguées dans le Nord-Ouest de la Tunisie. Un modèle de programmation linéaire multiobjectif en deux étapes est proposé. La première étape conduit à l'optimum de charge bovine compte tenu de la concurrence des besoins animaux et la vente sur le marché des productions végétales. Au cours de cette première étape trois objectifs ont été considérés: 1) maximisation de la marge brute, 2) optimisation de l'emploi familial, 3) minimisation du risque. Dans une deuxième étape, en plus des contraintes de trésorerie additionnelles, la méthode compromis permet d'obtenir les solutions les plus proches de l'idéal en considérant un quatrième objectif: minimisation des écarts entre les besoins des animaux et les apports en fourrages et concentré. Les résultats obtenus montrent l'adéquation de l'emploi du concentré destiné actuellement à combler le déficit de la ration de base et prouvent qu'une intensification plus poussée de l'exploitation ne peut se faire que via l'introduction d'espèces fourragères à cycle végétatif plus court que ceux cultivés.

## Méthodologie

Compte tenu des comportements et des objectifs affichés par les agriculteurs quant au développement de l'élevage bovin laitier, on recherche l'effectif optimal des vaches leur permettant d'atteindre leurs objectifs dans un climat de risque et d'incertitude. Pour cela, un modèle de programmation linéaire multi-objectif est construit pour une exploitation agricole située dans le périmètre irrigué de Bouhertma (Gouvernerat de Jendouba) dans le Nord Ouest de la Tunisie.

L'exploitation a une superficie agricole utile de 7,5 ha et dispose de 4 unités de travail humain (UTH) familial.

Elle fait l'objet d'un suivi régulier dans le cadre d'un projet d'élevage et est assez représentative quant aux caractéristiques des exploitations familiales de la région (Dridi, 1990).

Pour la mise en oeuvre du modèle, on procède en deux étapes successives. Dans la première étape, on détermine la charge bovine optimale, compatible avec les spéculations végétales, à maintenir dans l'exploitation. Dans la deuxième étape on considère quatre objectifs tout en introduisant comme contraintes le nombre d'unités zootechniques et la trésorerie mensuelle. Evidemment il n'est pas possible d'avoir comme variables le nombre d'unités zootechniques et les besoins en concentré simultanément, puisque cela con-

duirait à des équations de trésorerie mensuelles non linéaires. C'est pour cette raison qu'on procède à la résolution du modèle en deux étapes.

Actuellement, il existe plusieurs techniques qui nous amènent à des solutions optimales, dans le sens de Pareto. Ceci implique que le nombre d'unités zootechniques, après avoir décidé la méthode à utiliser ne va pas être unique vu que les méthodes multicritères génèrent un ensemble de solutions optimales et non pas une solution optimale unique comme dans le cas de la programmation linéaire classique.

Les techniques multicritères interactives convergent vers une seule solution. Cependant, dans ce cas, le centre de décision doit entrer en interaction avec l'analyste et exprimer ses préférences par rapport à l'ensemble des objectifs afin d'obtenir une solution satisfaisante.

La méthode du compromis introduite par Zeleny (1973) peut être considérée comme un complément de la programmation multi-objectif. Etant donné qu'il existe un conflit entre les objectifs, le point idéal n'est pas réalisable. Ainsi, les solutions par compromis sont données par celle qui s'approche le plus du point idéal (Romero et Rehman, 1989).

Pour trouver la distance entre le point idéal et chaque point efficace, on utilise la famille de métriques qui sont des fonctions de distance qui s'expriment de la manière suivante:

$$L_p(w) = \left[ \sum_{j=1}^n w_j^p \left| \frac{Z_j^* - Z_j(x)}{Z_j^* - Z_{*j}} \right|^p \right]^{1/p}$$

où,  $Z_j^*$ : idéal de l'objectif j  
 $Z_{*j}$ : nadir de l'objectif j

A partir de l'utilisation des différentes métriques, on peut établir par compromis un sous ensemble de l'ensemble efficient appelé ensemble compromis.

Les fonctions de distance généralement utilisées sont la métrique  $L_1$  ( $p=1$ ) et la métrique  $L_\infty$  ( $p \rightarrow \infty$ ) et qui correspondent respectivement à la distance la plus longue au sens géométrique entre deux points (distance Chebycheff) et la distance la plus courte. YU (1973) a démontré que les métriques  $L_1$  et  $L_\infty$  définissent un sous ensemble de l'ensemble efficient auquel Zeleny (1974) a donné le nom d'ensemble compromis. Ballestero et Romero (1991) ont démontré que la programmation compromise (compromise programming) est un bon substitut à l'optimisation classique. En outre, ils affirment que la solution correspondant à la métrique  $p \rightarrow \infty$  est attractive en termes économiques. En effet, la solution  $L_\infty$  implique une allocation équilibrée des ressources entre les différents objectifs. Autrement dit, pour la limite  $L_\infty$  les déviations pondérées entre la valeur idéale et les réalisations pour chaque objectif sont égaux. Ceci implique que la solution  $L_\infty$  garantit un même degré de réalisation pour chacun des objectifs par rapport à l'idéal. Dans cette première étape on considérera comme solution optimale celle qui correspond à  $L_\infty$ .

Pour toute distance correspondante à p tel que  $1 < p < \infty$ ,  $L_p$  sera comprise entre  $L_1$  et  $L_\infty$ . En définitive, pour l'obtention de l'ensemble compromis on est conduit à résoudre deux problèmes de programmation mathématique.

Ainsi, quand  $p \rightarrow \infty$ , on procède à la minimisation des déviations maximales par rapport à l'idéal. La solution optimale, correspondant à  $L_\infty$ , s'obtient par la résolution du programme suivant:

Min D

Sous contraintes

$$w_1 \frac{MB^* - MB(x)}{MB^* - MB_*} \leq D$$

$$w_2 \frac{R(x) - R^*}{R_* - R^*} \leq D$$

$$w_3 \frac{L(x) - L^*}{w_* - w^*} \leq D$$

$X \in F(x)$

$L_\infty$  dépend des valeurs des coefficients de pondération ( $w_j$ ) à attribuer à chacun des objectifs considérés en fonction de leur importance relative. Pour résoudre cette difficulté, et en absence d'information concernant les préférences des agriculteurs, on a considéré que tous les  $w_j$  sont égaux, c'est

à dire que les trois objectifs en question ont la même importance.

Dans la deuxième étape le nombre d'unités zootechniques sera fixé et un quatrième objectif, consistant en la détermination du complément de ration, sera joint aux trois objectifs envisagés antérieurement. Cet objectif s'exprime en terme de minimisation des écarts entre les besoins des animaux d'une part et les apports d'aliments produits sur l'exploitation et du concentré acheté, d'autre part (Lara, 1993).

La formulation de l'objectif de rationnement est faite selon un modèle de goal programming comme suit:

Min E =

$$\sum_{j=1}^4 \sum_{p=1}^5 \sum_{k=1}^4 (n_{ipk} + p_{ipk}) \frac{1}{\left[ \sum_{l=1}^4 \sum_{p=1}^5 \sum_{k=1}^4 a_{ipkl} \right]^{1/2}}$$

sous contraintes

$$a_{ipk} x_{ipk} + n_{ipk} - p_{ipk} = \text{APPORT}_{ipk} \quad \forall i; p \text{ et } k$$

$$\sum_{k=1}^3 \text{APPORT}_{ipk} - \text{APPORT}_{\text{TOTAL}_{ip}} = 0 \quad \forall \begin{matrix} i=1; \dots; 4 \\ p=1; \dots; 5 \end{matrix}$$

$X \in F$

où

F: le reste des contraintes du modèle

$n_{ipk}$ : déviation négative pour la valeur alimentaire l durant la période p et l'animal k

$p_{ipk}$ : déviation positive pour la valeur alimentaire l durant la période p et l'animal k

$a_{ipk}$ : besoins en valeur alimentaire l durant la période p pour la catégorie animale k.

Les variables d'écart sont introduites pour les besoins en UFL, UFV, PDIE et PDIN. Les objectifs sont exprimés en unités différentes (UFL, UFV, PDIN), les variables d'écart le sont aussi. Pour cette raison, la normalisation des écarts devient nécessaire et est réalisée en divisant chaque variable de déviation dans chaque objectif par la norme euclidienne (Romero, 1991).

Dans cette deuxième étape, la méthode des pondérations pour approcher l'ensemble des solutions extrêmes efficientes est utilisée. De même la méthode compromis est utilisée afin de trouver l'ensemble des solutions les plus proches au point idéal. Autrement dit, on cherche l'obtention de l'intervalle  $L_1$   $L_\infty$ . Pour obtenir la solution  $L_1$  ( $p=1$ ) le modèle suivant sera résolu.

$$\text{Min } L_1 = w_1 \frac{MB^* - MB(x)}{MB^* - MB_*} + w_2 \frac{R(x) - R^*}{R_* - R^*} + w_3 \frac{L(x) - L^*}{L_* - L^*} + w_4 \frac{E(x) - E^*}{E_* - E^*}$$

Sous contraintes

$X \in F(x)$

où

$w_j$ : coefficients de pondération

MB(x): objectif marge brute

R(x): objectif emploi

L(x): objectif risque

E(X): objectif minimisation des écarts entre les apports (fourrages + concentré) et les besoins des animaux.

## Présentation du modèle

### Les activités

Les activités qui sont introduites dans le modèle sont celles pratiquées par les agriculteurs de la région de Bouhertma. Ces activités sont présentées dans le tableau 1 avec les symboles utilisés dans le modèle ( $X_1$  à  $X_{22}$ ).

Les variables  $X_{23}$  à  $X_{44}$  sont des cultures saisonnières successives dans une même année. Il s'agit des combinaisons des cultures qui se succèdent sur la même parcelle durant la même année (**tableau 1**).

### Spéculation animale

L'unité technique bovine moyenne retenue se définit par l'unité zootechnique de race brune des Alpes représentée par:

\* une vache produisant 4500 L de lait /an  
 \* 0,9 veau et velle de 0 à 3 mois allaités artificiellement avec du lait en poudre.

\* 0,9 veau et velle de 3 à 6 mois

\* 0,45 veau de 6 à 12 mois

\* 0,45 velle de 6 à 18 mois

\* 0,2 génisse de 18 à 27 mois

Les veaux sont vendus à 12 mois, une partie des génisses à 18 mois une fois le choix pour le remplacement effectué est vendue d'où les génisses de 18 à 27 mois.

### Les autres activités

Il s'agit principalement des activités mettant l'agriculteur en contact avec son environnement. Ainsi on a les activités vente, achat, crédit, etc...

### Objectifs

En réalité, l'agriculteur n'a pas un objectif unique à optimiser mais il est plutôt intéressé par un équilibre entre plusieurs objectifs en conflit.

Trois principaux objectifs sont considérés dans cette analyse, il s'agit de:

#### La maximisation de la marge brute

La maximisation de la marge brute implique la maximisation du revenu étant donné que la fixité du reste des charges pour l'exploitation.

#### La maximisation du plein-emploi de la main d'oeuvre familiale

Assurer le plein emploi de la main d'oeuvre disponible est un objectif recherché dans les petites et moyennes exploitations, étant donné que le taux de chômage est très élevé au niveau du pays (26%) et essentiellement dans le secteur agricole. Cet objectif est exprimé en terme de minimisation des

**Tableau 1 Les activités considérées dans le modèle.**

Variables utilisées ds le modèle	Activité	Variables utilisés ds le modèle	Activité
X <sub>1</sub>	Blé dur en irrigué	X <sub>23</sub>	P D T arr. sais. + sorgho
X <sub>2</sub>	Blé dur en sec	X <sub>24</sub>	Bersim + sorgho
X <sub>3</sub>	Blé tendre irrigué	X <sub>25</sub>	Bersim + tomate
X <sub>4</sub>	Blé tendre en sec	X <sub>26</sub>	Bersim + piment
X <sub>5</sub>	Orge en irrigué	X <sub>27</sub>	Bersim + pastèque
X <sub>6</sub>	Orge en sec	X <sub>28</sub>	Bersim + melon
X <sub>7</sub>	Bersim	X <sub>29</sub>	Bersim + P D T saison
X <sub>8</sub>	Foin de vesce avoine	X <sub>30</sub>	Foin + sorgho
X <sub>9</sub>	Luzerne	X <sub>31</sub>	Foin + tomate
X <sub>10</sub>	Orge en vert	X <sub>32</sub>	Foin + piment
X <sub>11</sub>	Sorgho	X <sub>33</sub>	Foin + pastèque
X <sub>12</sub>	Betterave	X <sub>34</sub>	Foin + melon
X <sub>13</sub>	Tomate	X <sub>35</sub>	P. pois sais + sorgho
X <sub>14</sub>	Piment	X <sub>36</sub>	P. pois sais + tomate
X <sub>15</sub>	Pastèque	X <sub>37</sub>	P. pois sais + piment
X <sub>16</sub>	Melon	X <sub>38</sub>	P. pois sais + pastèque
X <sub>17</sub>	Petit pois saison	X <sub>39</sub>	P. pois sais + melon
X <sub>18</sub>	Petit pois primeur	X <sub>40</sub>	P. pois prim + sorgho
X <sub>19</sub>	P D T (!) de saison	X <sub>41</sub>	P. pois prim + tomate
X <sub>20</sub>	P D T arr. saison	X <sub>42</sub>	P. pois prim + piment
X <sub>21</sub>	Fève en irrigué	X <sub>43</sub>	P. pois prim + pastèque
X <sub>22</sub>	Fève en sec	X <sub>44</sub>	P. pois prim + melon

(!) Pomme de terre.

écarts mensuels entre les besoins et les disponibilités en main d'oeuvre familiale.

**La minimisation du risque**

Les fluctuations des conditions climatiques d'une part et l'instabilité de la politique agricole, quant à la politique des prix, d'autre part, obligent à tenir compte de l'aspect risque dans toute prise de décision. Cet objectif fait appel à la théorie des jeux. Dans ce travail la méthode de minimax est adoptée (Hazell et Norton, 1986 ; Thiriez, 1987). Le minimax s'exprime par la minimisation du regret.

**Contraintes**

Les contraintes considérées sont de trois types:

- \* Les contraintes relatives à l'élevage et aux ressources fourragères.
- \* Les contraintes agronomiques.
- \* Les contraintes des facteurs de production.

**Les contraintes relatives à l'élevage et aux ressources fourragères**

Le développement des activités animales est étroitement lié aux ressources fourragères de l'exploitation réparties sur quatre périodes saisonnières selon le calendrier fourrager.

Les ressources fourragères sont à déterminer par le plan de production en rapport avec leur compétitivité avec les autres spéculations. Les besoins des animaux (UFL, UFV, PDIN, PDIE, Ca, Phosphore) et la quantité de matière sèche imposée par la capacité d'ingestion, sont évalués pour chaque catégorie d'animal en fonction de la définition de l'unité zootechnique retenue (INRAT, 1988).

On note que seulement les vaches et les velles de plus de 6 mois sont alimentées à partir des fourrages verts. Pour cela et pour chaque catégorie, quatre périodes d'affouragement sont distinguées selon le calendrier fourrager comme le montre le **tableau 2**.

Les autre catégories c'est à dire les velles (3-6 mois); les veaux (3-6 mois), et (6-12 mois) sont alimentés à partir du foin de vesce-avoine, de la paille, de la pulpe de betterave et du concentré n. 5. Vu que tous ces aliments sont disponibles durant tout l'année, une seule période à savoir l'année est retenue pour cette catégorie d'animaux.

**Structure mathématique du modèle**

**OBJECTIFS**

Maximisation de la marge brute

$$\text{Max } \sum_{i=1}^{44} \overline{MB}_i X_i - \sum_{j=1}^{12} LT_j \cdot CLT - \sum_{j=10}^{11} LB_j \cdot CB - \sum_{j=1}^{12} MO_j \cdot CMO$$

**Tableau 2 Périodes d'affouragement.**

Période	Disponibilité en aliments
Décembre à Mars: P <sub>1</sub>	Foin, Paille, Pulpe de betterave, Bersim, Orge en vert et concentré n. 7
Novembre et Avril P <sub>2</sub>	Foin, Paille, Pulpe, Bersim et concentré n. 7
Mai à Juin: P <sub>3</sub>	Foin, Paille, Pulpe, Luzerne et concentré n. 7
Juillet à Octobre: P <sub>4</sub>	Foin, Paille, Pulpe, Luzerne, Sorgho et concentré n. 7

Assurer le plein emploi de la main-d'oeuvre familiale

$$\text{Min } \sum_{j=1}^{12} R_j$$

Risque (Minimax)

$$\text{Min L}$$

**CONTRAINTES**

**Agronomiques**

— Occupation du sol

$$\sum_{i=1}^{44} X_i = 7,5 \text{ ha.}$$

- Succession des cultures (230 équations)
- Fréquence des cultures (44 équations)

**Facteurs de production**

— Location de traction

$$\sum_{i=1}^{44} Tr_{ij} X_i - LT_j = 0$$

j = 1: Septembre...; 12 = Août

— Location de moissonneuse batteuse

$$\sum_{i=1}^6 B_{ij} X_i - LB_j = 0$$

j = Juin, Juillet

— Main d'oeuvre

$$\sum_{i=1}^{44} MO_{ij} + R_j - MOC_j = MOF_j$$

j = 1 Septembre...; 12 = Août

— Fertilisation

**Ammonitres**

$$\sum_{i=1}^{44} Am_{ij} - AA_j = 0$$

j = 1: Septembre...; 12 = Août

**Phosphate**

$$\sum_{i=1}^{44} Ph_{ij} - AP_j = 0$$

j = 1: Septembre...; 12 = Août

**Potasse**

$$\sum_{i=1}^{44} PO_{ij} - APO_j = 0$$

J = 1: Septembre...; 12 = Août

**Fumier organique**

$$\sum_{i=1}^{44} f_i - qX_{35} - AF = 0$$

Eau d'irrigation

$$\sum_{i=1}^{44} e_{ij} X_i \leq e_j$$

j = 1: Septembre...; 12 = Août

**Contraintes d'alimentation**

$$\sum_{k=1}^3 UFL_{PK} X_{45} - UFL_d \sum_{d=1}^6 ALD_p = 0 \quad P = 1, 2, 3, 4$$

$$\sum_{k=1}^3 PDIN_{PK} X_{45} - PDIN_d \sum_{d=1}^6 ALD_p = 0 \quad P = 1, \dots, 4$$

$$\sum_{k=1}^3 PDIE_{PK} X_{45} - PDIE_d \sum_{d=1}^6 ALD_p = 0 \quad P = 1, \dots, 4$$

$$\sum_{k=1}^3 MS_{PK} X_{45} - MS_d \sum_{d=1}^6 ALD_p = 0 \quad P = 1, \dots, 4$$

$$\sum_{k=1}^3 P_K X_{45} - P_d \sum_{d=1}^6 ALD_p = 0 \quad P = 1, \dots, 4$$

$$\sum_{k=1}^3 UFV_{PK} X_{45} - UFV_d \sum_{d=1}^6 ALD_p = 0 \quad P = 5$$

$$\sum_{k=1}^3 Ca_k X_{45} - Ca_d \sum_{d=1}^6 ALD_p = 0 \quad P = 1, \dots, 4$$

— Production fourragère

$$\sum_{p=1}^5 FVA_{PK} - RFVA X_8 - \sum_{i=30}^{34} RFVA X_i - AVA = 0$$

$$\sum_{p=1}^5 PA_{PK} - RPA_i \sum_{i=1}^6 X_i - APA = 0$$

$$\sum_{p=1}^5 LUZ_{PK} - RLUZ X_9 = 0$$

$$\sum_{p=1}^5 OV_{PK} - ROV X_{10} = 0$$

$$\sum_{p=1}^5 B_{PK} - RB X_7 - \sum_{i=24}^{28} RB X_i = 0$$

$$\sum_{p=1}^5 PUL_{PK} - RPUL X_{12} = 0$$

$$\sum_{p=1}^5 S_{PK} - RSOR(X_{11} + X_{23} + X_{24} + X_{30} + 35 + X_{40}) = 0$$

— Concentré

$$\sum_{p=1}^4 C7_{PK} - AC7 = 0 \quad K = 1, 2, 3$$

$$\sum C5_{5K} - AC5 = 0 \quad K = 4, 5, 6$$

**Contraintes de trésorerie**

$$\sum_{i=1}^{44} CV_{ij} X_i - \sum_{i=1}^{44} RE_{ij} X_i - C_j + T_{j-1} \leq 2000 \quad j = 1$$

$$\sum_{i=1}^{44} CV_{ij} X_i - \sum_{i=1}^{44} RE_{ij} X_i - C_j + T_{j-1} \leq 0 \quad \forall j = 2 \dots j = 12$$

— Risque Min Max

$$\sum_{i=1}^{45} MB_{ia} X_i + L \geq \text{Max } a_n \quad n = 1, 2, \dots, 5$$

n = 1, 1986, \dots, 1990

où

$\overline{MB}_i$ : Marge brute moyenne (1986-1990) de l'activité i

CLT: Coût de location du tracteur

CB: Coût de location de la moissonneuse batteuse

CMO: Coût de la journée de main d'oeuvre occasionnelle

R: Excès de la main d'oeuvre familiale

L: Min (max)

Tr<sub>ij</sub>: Besoins en heure de traction de l'activité i durant le mois j, j = 1: Janvier... J = 12: Décembre

LT<sub>j</sub>: Traction louée durant le mois i

B<sub>ij</sub>: Besoins en heure de moissonneuse batteuse de l'activité i durant le mois j

LB<sub>j</sub>: Location de moissonneuse batteuse durant le mois j

MO<sub>ij</sub>: Besoins en jours de travail de l'activité i durant le mois j

MOC<sub>j</sub>: Mains d'oeuvre occasionnelle durant le mois j

MOF<sub>j</sub>: Main d'oeuvre familiale durant le mois j

A<sub>mj</sub>: Besoins en quintaux d'ammonitrate de l'activité i durant le mois j

AA: Quantité d'ammonitrate utilisée durant le mois j

Ph<sub>ij</sub>: Besoins en quintaux de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de l'activité i durant le mois j

APh<sub>j</sub>: Quantité de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> utilisée durant le mois j

P0<sub>j</sub>: Quantité de potasse utilisée durant le mois j

f<sub>ij</sub>: Besoins en tonnes de fumier de l'activité i

qx: Quantité de fumier en quintaux produite par l'unité Zootechnique par an

AF: Quantité de fumier acheté par an

e<sub>ij</sub>: Besoins en eau d'irrigation de l'activité i durant le mois j

e<sub>j</sub>: Quantité d'eau d'irrigation disponible durant le mois j

RFVA: Rendement/ha en tonnes de foin de vesce avoine

AVA: Quantité achetée de foin de vesce avoine en tonnes

FVA<sub>PK</sub>: Alimentation en foin de vesce avoine de l'animal catégorie K durant la période P

K = 1: Vache laitière

K = 2: Velle (6-18 mois)

K = 3: Génisse (18-27 mois)

K = 4: Velle (3-6 mois)

K = 5: Veau (3-6 mois)

K = 6: Veau (6-12 mois)

RPA<sub>j</sub>: Rendement/ha en Paille de l'activité i

APA: Quantité de paille achetée

PA<sub>PK</sub>: Alimentation en paille de l'animal catégorie K durant la période P

RLUZ: Rendement en tonne d'une ha de Luzerne

LUZ<sub>PK</sub>: Alimentation en Luzerne de l'animal catégorie K durant la période P pour tout P = 1, 2, 3, 4 et K = 1, 2, 3

ROV: Rendement en tonnes d'un ha. d'orge en vert

OV<sub>PK</sub>: Alimentation en orge en vert de

l'animal catégorie K durant la période P pour tout K = 1, 2, 3 et P = 3

RB: Rendement en tonnes d'un ha. de Bersim

B<sub>PK</sub>: Alimentation en Bersim de l'animal catégorie K durant la période P pour tout P = 2, 3, 4 et K = 1, 2, 3

RPUL: Rendement en tonnes de pulpe d'un ha. de betterave

PUL<sub>KP</sub>: Alimentation en pulpe de l'animal K durant la période P pour tout P = 1, 2, 3, 4, 5 et K = 1, 2, 3, 4, 5, 6

RSOR: Rendement en tonnes d'un ha de sorgho fourrager

S<sub>PK</sub>: Alimentation en sorgho de l'animal catégorie K durant la période P pour tout K = 1, 2, 3 et P = 1

C7<sub>PK</sub>: Alimentation en concentré n. 7 de l'animal catégorie K durant la période P pour tout P = 1, 2, 3, 4 et K = 1, 2, 3

AC7: Quantité de concentré n. 7 achetée

C5<sub>PK</sub>: Alimentation en concentré n. 5 de l'animal catégorie K durant la période P pour tout K = 4, 5, 6 et P = 5

AC5: Quantité de concentré n. 5 acheté

UFL<sub>PK</sub>: Besoins en UFL de l'animal catégorie K durant la période P pour tout K = 1, 2, 3, 4 et P = 1, 2, 3, 4, 5

UFL<sub>d</sub>: L'apport en UFL d'une tonne de fourrage disponible durant la période P

ALD<sub>p</sub>: Aliment disponible durant la période P

PDIN<sub>PK</sub>: Besoins en PDIN de l'animal catégorie K durant la période P pour tout K = 1, 2, 3, 4, 5, 6 et P = 1, 2, 3, 4, 5

PDIE<sub>PK</sub>: Besoins en PDIE de l'animal catégorie K durant la période P pour tout K = 1, 2, 3, 4, 5, 6 et P = 1, 2, 3, 4

MS<sub>PK</sub>: Quantité totale de MS imposée par la capacité d'ingestion de l'animal catégorie K durant la période P pour tout K = 1, 2, 3, 4, 5, 6 et P = 1, 2, 3, 4

Ca<sub>PK</sub>: Besoins en Ca de l'animal catégorie K durant la période P pour tout K = 1, 2, 3, 4, 5 et P = 1, 2, 3, 4

P<sub>PK</sub>: Besoins en phosphore de l'animal catégorie K durant la période P pour tout P = 1, 2, 3, 4, 5 et K = 1, 2, 3, 4

UFV<sub>PK</sub>: Besoins en UFV de l'animal catégorie K durant la période P pour P = 5 et K = 5, 6

UFV<sub>d</sub>: L'apport en UFV d'une tonne de fourrage disponible durant la période P pour la catégorie K

CV<sub>i</sub>: Charges variables de l'activité i durant le mois j

RE<sub>ij</sub>: Recettes de l'activité i durant le mois j

T<sub>j-1</sub>: Transfert de l'excédent du capital circulant

C<sub>j</sub>: Déficit en capital circulant durant le mois j

**Résultats**

La solution L<sub>∞</sub> obtenue durant la première étape est la suivante:

Nombre d'unités zootechniques: 5  
Marge brute (DT): 15.645  
Plein emploi (journées): 188  
Minimax (DT): 52.520

Il est à noter que la variable correspondante au nombre d'unités zootechniques ( $x_{45}$ ) est incluse dans le modèle comme variable entière. Dans cette solution,  $x_{45} = 5$  est à considérer comme taille optimale du cheptel (unités zootechniques) à maintenir sur une exploitation de 7,5 ha ayant les caractéristiques mentionnées, soit une charge de 0,6 UZB/ha. D'autre part la maximisation de la charge animale/ha coïncide exactement avec cette solution. Autrement dit en maximisant la fonction objectif  $\text{Max } f(x) = X_{45}$ , sujet à l'ensemble de contraintes, on obtient comme solution  $X_{45} = 5$  UZB.

Pour pouvoir analyser les résultats de la deuxième étape on procède par le calcul de la matrice de pay-off. Cette étape consiste à optimiser chacun des objectifs séparément tout en calculant les valeurs que prennent les autres objectifs dans chacune des solutions optimales.

Ainsi, on obtient une matrice carrée dont la dimension est donnée par le nombre d'objectifs considérés (Romero et Rehman, 1989). Cette matrice appelée aussi matrice de gain permet de connaître l'idéal et l'anti-idéal de chaque objectif. Elle permet aussi de connaître avec facilité le degré de conflit qui caractérise les objectifs considérés. A partir de la matrice de Pay-off (**tableau 3**), on peut voir que la marge brute de l'exploitation peut varier entre 16437 DT et 14746 DT. Le minimax varie entre 52648 DT et 39807 DT.

Un conflit important existe entre les objectifs marge brute et alimentation. En effet, la marge brute prend sa valeur anti-idéale (ou nadir) lorsqu'on cherche à optimiser l'objectif alimentation et vice versa.

Par ailleurs, le risque et la minimisation de l'objectif alimentation sont en conflit puisque le risque prend sa valeur anti-idéale (ou nadir) quand l'objectif alimentation prend sa valeur idéale.

La diagonale de la matrice de pay-off représente les coordonnées du point idéal.

### Méthode de pondération

L'application de la méthode de pondération permet de générer un ensemble de solution optimales dans le sens de Pareto. La méthode de pondération consiste en une combinaison linéaire de tous les objectifs en les affectant avec des coefficients de pondération ( $w_i$ ) qui reflètent leur importance relative.

Ainsi la fonction à optimiser est la suivante:

$$\text{Max: } w_1 \text{MB}(x) - w_2 \text{R}(x) - w_3 \text{L}(x) - w_4 \text{E}(x)$$

sujet à

$$X \in F$$

Par la suite, les différents coefficients de pondération sont soumis à un traitement paramétrique dans le but de générer des solutions efficaces (**tableau 4**).

Les coefficients de pondération  $w_i$  sont généralement fixés arbitrairement dans l'intervalle  $(0, \infty)$  et ne correspondent pas à des valeurs ayant une signification déterminée mais servent simplement à la génération de l'ensemble efficient à travers un paramétrage. Afin de faciliter la procédure de paramétrage, les coefficients  $w_i$  sont standardisés, c'est à dire on prend  $\sum w_i = 100$ .

Il ressort du **tableau 4** que la marge brute prend une valeur proche de sa valeur idéale lorsqu'on l'affecte d'un coefficient  $w_1 = 90\%$  alors qu'on affecte son objectif antagoniste (E) de 1% et une valeur proche de son nadir dans le cas contraire.

Pondérant tous les objectifs avec le même coefficient,  $w_1 = w_2 = w_3 = w_4 = 25\%$ , c'est-à-dire en donnant la même importance aux divers objectifs, on remarque que la valeur prise par la marge brute est presque égale à son nadir.

La méthode du compromis permet de réduire l'espace des solutions et par conséquent d'aider le centr de décision à choisir des solutions optimales. Cette méthode part

du concept de distance entre l'objectif et l'idéal en considérant comme hypothèse que le centre de décision essaye de s'approcher au maximum du point idéal.

En considérant que tous les  $w_i$  sont égaux, c'est à dire en accordant la même importance à tous les objectifs, on obtient les solutions indiquées dans le **tableau 5**.

Dans ce tableau, il ressort que la marge brute dans l'ensemble compromis peut varier entre 15599 et 15767 DT. Le minimax varie entre 44042 et 44898 DT.

La somme des déviations pour l'alimentation varie entre 168564 et 174964; l'analyse de ces déviations montre que les variables positives sont importantes. Les valeurs les plus grandes sont enregistrées au niveau de l'objectif de satisfaction des besoins de la vache laitière en PDIN pour les quatre périodes considérées. En ce qui concerne les variables d'écart négatives, les déviations les plus importantes sont, signalées au niveau des besoins de la vache laitière en UFL durant toute l'année. Ceci implique un déséquilibre de la ration de la vache laitière, vu

**Tableau 3** Matrice de pay-off.

Objectif	Maximiser la marge brute	Minimiser «R» emploi	Minimiser Risque	Min E (varia. alimentaire)
Marge brute DT	<b>16437,41</b>	15314,16	15371,84	14746,44
Plein-emploi Journées	220,0138	<b>145,2476</b>	178,994	16378,76
Risque DT	51945,4	52648,6	<b>39807,43</b>	52565,81
Alimentation	205268,3	199255,3	194937,4	<b>155061,1</b>

**Tableau 4** Solutions générées par la méthode de pondération.

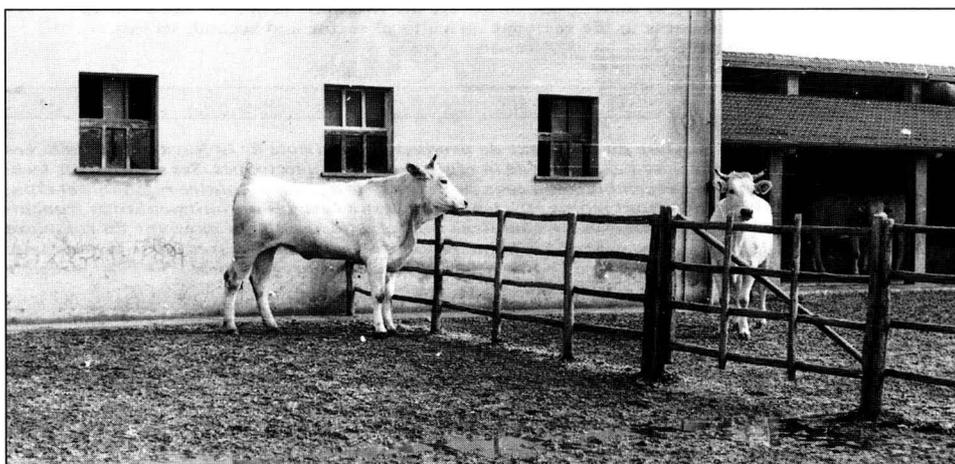
Objectif Coefficient	Marge brute DT	Emploi (journée)	Risque DT	Variab. d'écart $\sum \sum \sum (n_{pk} + p_{pk})$
$w_1=90, w_2=8$ $w_3=1, w_4=1$	16334	220	51996	183658
$w_1=80, w_2=10$ $w_3=5, w_4=5$	15518	197	47005	162811
$w_1=30, w_2=20$ $w_1=40, w_4=10$	15230	180	44818	161800
$w_1=25, w_2=25$ $w_3=25, w_4=25$	15130	176	42380	160875
$w_1=1, w_2=5$ $w_3=4, w_4=90$	15885	164	40200	155604

**Tableau 5** Solutions générées par la méthode de compromis.

	Marge brute DT	Plein-emploi (journées)	Minimax DT	Variable d'alimentation
Solution $L_1$	15599	170	44043	168564
Solution $L_\infty$	15767	175	44,898	174964

**Tableau 6 Occupation du sol correspondante aux solutions  $L_1$  et  $L_\infty$  et pratique actuelle.**

Culture	Taux d'occupation du sol (% SAU)		
	Solution $L_1$	Solution $L_\infty$	Pratique actuelle
Céréales	0,64	13,48	21
Fourrages	26,45	26,05	32
Maraichage	40,05	41,17	30
Betterave	13,8	12,9	25
Légumineuses	24,42	25,49	7
Total	105,36	119,09	115



que d'une part il y a un gaspillage en PDIN et, d'autre part, un déficit en UFL. Le type de concentré actuellement utilisé ne permet pas de combler le déficit réel de la ration de base. Un concentré d'une composition plus adéquate devra être apporté afin de réduire le déséquilibre existant à court terme. A long terme, l'amélioration de la qualité des fourrages et/ou l'introduction de nouvelles espèces est à étudier. Pour  $L_1$  et  $L_\infty$ , la part des différentes spéculations végétales retenues respectivement par les solutions se résume dans le **tableau 6**.

On remarque, tout d'abord, que les agriculteurs sont en train d'allouer une part plus importante de la superficie disponible aux cultures céréalières par rapport aux solutions  $L_1$  et  $L_\infty$ . Ceci s'explique par le fait que les céréales sont stockables et se vendent favorablement à la vente échelonnée pour alimenter la trésorerie de l'exploitation. D'autre part, la différence entre les solutions  $L_1$  et  $L_\infty$  (13% environ) peut être due au fait que les céréales bénéficient d'un prix fixé par le gouvernement, au début de la campagne, avec un écoulement garanti. En plus, l'irrigation d'appoint a contribué à la réduction de la fluctuation des rendements, et par conséquent une atténuation du risque pour ces cultures.

En ce qui concerne les fourrages et les produits du maraichage on observe une stabilité entre les solutions  $L_1$  et  $L_\infty$ ; les différen-

ces par rapport à la pratique actuelle ne sont que de l'ordre de 10%.

Les solutions  $L_1$  et  $L_\infty$  pour la betterave sucrière sont presque identiques. Cependant il y a une différence très importante (50%) par rapport à la part actuelle allouée à cette culture. Actuellement les pouvoirs publics imposent aux agriculteurs de réserver au moins 25% de la SAU à la culture de betterave et ce dans le but de faire tourner le complexe industriel sucrier de la région. Cette imposition administrative est soutenue par un différentiel du prix de l'eau d'irrigation. En réalité, les agriculteurs qui ne respectent pas cette imposition paieront l'eau 60% plus chère.

Concernant les légumineuses il y a ressemblance totale entre les solutions  $L_1$  et  $L_\infty$ . Actuellement les agriculteurs ne réservent que 7% de la superficie à ces cultures, ceci au dépend du non respect des contraintes agronomiques.

Quant à la trésorerie il faut signaler qu'actuellement ce type d'exploitations bénéficient de crédits en nature pour la production betteravière. En partant d'un fond de roulement de deux mille dinars, pour la totalité de l'exploitation, on observe que les besoins en crédits sont faibles, oscillant entre 50 et 150 dinars. Ce résultat est obtenu en considérant que les recettes d'une période servent à financer les besoins de l'exploitation, après déduction des salaires pour les membres de la famille.

## Conclusions

L'utilisation de la programmation linéaire multiobjectif en deux étapes pour la planification intégrée des activités de production végétale et animale dans une exploitation s'est avérée efficace. Le nombre de vaches laitières proposé par cette méthode est presque le même que celui détenu actuellement, soit une charge de 0,64 UZB/ha. Il est intéressant de mentionner que cette charge optimale coïncide avec la charge maximale possible pour ce type d'exploitation. On observe donc, qu'en moyenne il n'y a pas de surcharge animale et que le niveau maximum est déjà atteint.

Le taux d'occupation actuel de la terre, 115%, est inclus dans l'intervalle  $L_1$   $L_\infty$  et est légèrement inférieur au taux d'occupation  $L_\infty$ , 119%. Une intensification majeure de la ressource terre implique l'introduction d'autres cultures à cycle végétatif court.

Cependant, malgré cet équilibre apparent, on a constaté qu'il y a un déséquilibre important au niveau de la ration. Ce déséquilibre touche essentiellement à un déficit en UFL et un excès en PDIN, pour la vache laitière. On recommande donc la formulation d'un concentré adéquat qui tienne compte en même temps de la ration de base et des besoins spécifiques des animaux pour la production laitière. Le concentré actuellement utilisé ne répond pas à ces objectifs. Afin d'y remédier les agriculteurs doivent ainsi recourir à l'achat de concentré «sur mesure» et non pas d'adopter des formules préconçues. L'amélioration de la qualité de l'alimentation ainsi que de la conduite du troupeau sont de nature à contribuer à l'augmentation de la productivité. ●

## Bibliographie

- Ballester E. et Romero C. (1991): A Theorem Connecting Utility Function Optimization and Compromise Programming. *Operations Research Letters*. vol. 10:421-427.
- Dridi N. (1990): *Impact de l'Élevage Bovin Laitier sur l'Économie des Petites et Moyennes Exploitations: Cas du Projet Intégré d'Élevage Tuniso-Autrichien*. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle. INAT. Tunis.
- INRAT (1988): *Valeur Alimentaire des Fourrages Cultivés en Tunisie*. INRAT. Tunis.
- Lara P. (1993): Multiple Objective Programming and Livestock Ration Formulation: a Case Study for Dairy Cow Diets in Spain. *Agricultural Systems*. Vol. 41 N. 3.
- Hazel P., Norton R. (1986): *Mathematical Programming for Economic Analysis in Agriculture*. Macmillan Publishing Company. London.
- Ministère de l'Agriculture (1991): *Note de Synthèse sur la Stratégie de Développement du Secteur Laitier*. DGPDIA. Tunis.
- Romer C. (1991): *Handbook of Critical Issues in Goal Programming*. Pergamon Press. Oxford.
- Romer C. et Rehman T. (1989): *Multiple Criteria Analysis for Agricultural Decisions*. Elsevier. Amsterdam.
- Thiriez, H. (1987): *Initiation au Calcul Economique*. Dunod. Paris.
- Yu P.L. (1973): A Class of Solutions for Group Decisions Problems. *Management Science*, Vol. (19), N. 8.
- Zeleny M. (1973): Compromise Programming. Dans: *Multiple Criteria Decision Making*. Cochrane J.L. et Zeleny M. (editors). University of South Carolina Press, Columbia, p. 262-301.
- Zeleny M. (1974): *Linear Multiobjective Programming*. Springer-Verlag. Berlin.