

# COMPARAISON DE PLUSIEURS MÉTHODES D'ESTIMATION DE L'ÉNERGIE MÉTABOLISABLE D'ALIMENTS COMPOSÉS POUR POULETS DE CHAIR ET POULES PONDEUSES

I. CAUDRON

ITAVI - 28, rue du Rocher - 75008 Paris

Cette étude a été réalisée en 1988 par le groupe Volaille de la Commission Permanente de Concertation en Alimentation Animale : M. CARRE et M. CONAN (INRA), Mlle COLLEVILLE (CCPA), M. GOLLIER et ZWICK (UCAAB), M. LUCBERT (ITCF), M. KASZAS (UNICOPA) et Mme Maître (ITAVI) avec la collaboration de Mlle FOURNIER (MST TOURS).

L'énergie est la composante la plus onéreuse des aliments composés pour volailles et est généralement le facteur limitant principal des régimes alimentaires. Il est donc important de disposer de techniques fiables, rapides et peu coûteuses pour estimer l'énergie métabolisable des aliments. Les performances zootechniques dépendent en grande partie de la teneur énergétique des aliments. La vitesse de croissance des animaux ainsi que leur indice de consommation sont en particulier fortement liés à ce facteur.

Malheureusement, l'énergie métabolisable n'est pas une caractéristique aisée à déterminer et difficilement contrôlable au niveau d'un laboratoire. Plusieurs méthodes d'estimation de l'énergie métabolisable d'un aliment se présentent au formulateur, selon qu'il désire :

**- estimer à priori la valeur énergétique d'un aliment qu'il formule :**

Le formulateur applique alors la méthode additive, d'après les tables de valeurs énergétiques des différentes matières premières introduites dans l'aliment ;

**- contrôler a posteriori la valeur énergétique d'un aliment :**

Dans ce cas, deux procédés sont envisageables :

- la mesure in-vivo de la valeur énergétique, mesure fiable mais lourde et onéreuse, hors de portée des laboratoires de routine ;
- l'application d'une équation de prédiction basée sur des mesures chimiques.

Nous avons comparé ces procédés à l'aide de 20 aliments destinés à la volaille.

## I MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1. les aliments

Vingt aliments destinés aux volailles ont été examinés pour leur énergie métabolisable apparente corrigée pour un bilan azoté nul (EMAn). Dix régimes ont été formulés pour des poulets en croissance (dont 3 pour des poulets label) et dix pour des poules pondeuses. Les matières premières et les limites d'emploi utilisées correspondent aux pratiques du terrain.

La formulation est effectuée de manière à obtenir une gamme variée d'aliments, selon différents critères = EMAn, matières premières et présentation (tableau 1). Elle se base sur des critères chimiques mesurés pour chaque matière première. Les EMAn ont été mesurées in vivo pour les céréales et le pois. Pour les autres matières premières, les valeurs énergétiques des tables INRA (1984) ont été utilisées.

Trois niveaux de concentration énergétique ont été choisis pour les régimes de type poulets standard : 2 900, 3 050 et 3 200 kcal/kg, un niveau pour les régimes de type poulets label : 2 700 kcal/kg et 4 niveaux pour les régimes de type poules pondeuses : 2 500, 2 600, 2 700 et 2 800 kcal/kg.

La moitié des régimes se présente sous forme de farine, le reste sous forme de granulés. Les régimes pour poulets de chair sont présentés uniquement sous forme de granulés.

Le taux d'incorporation des céréales varie de 5 à 69,5 %. Le nombre de matières premières incorporées dans les régimes (hors minéraux et acides aminés) varie de 5 à 14 (tableaux 2 et 3).

**Tableau 1**  
**PRÉSENTATION DES 20 RÉGIMES**

| Régime | Production                   | EMAn<br>calculée<br>(en kcal/kg) | Présentation |
|--------|------------------------------|----------------------------------|--------------|
| 1      | POULETS DE CHAIR<br>STANDARD | 2 900                            | granulés     |
| 2      |                              | 2 902                            | granulés     |
| 3      |                              | 3 050                            | granulés     |
| 4      |                              | 3 051                            | granulés     |
| 5      |                              | 3 050                            | granulés     |
| 6      |                              | 3 200                            | granulés     |
| 7      |                              | 3 200                            | granulés     |
| 8      | POULETS DE CHAIR<br>LABEL    | 2 700                            | farine       |
| 9      |                              | 2 700                            | granulés     |
| 10 *   |                              | 2 700                            | farine       |
| 11     | POULES PONDEUSES             | 2 505                            | granulés     |
| 12     |                              | 2 478                            | granulés     |
| 13     |                              | 2 609                            | farine       |
| 14     |                              | 2 600                            | granulés     |
| 15     |                              | 2 600                            | farine       |
| 16     |                              | 2 703                            | granulés     |
| 17     |                              | 2 700                            | farine       |
| 18     |                              | 2 800                            | farine       |
| 19     |                              | 2 800                            | farine       |
| 20     |                              | 2 800                            | farine       |

\* Même régime que le n° 9 mais sous forme de farine.

## 2. méthodes de mesures

### 2.1. mesures in vivo de l'EMAn

Les mesures in vivo ont été effectuées à l'INRA du Magneraud sur coqs adultes de souche Warren. Un bilan alimentaire est obtenu sur 3 jours entre 2 jeûnes de 24 heures. Les coqs sont nourris ad libitum. Le même régime est testé simultanément sur 8 coqs.

### 2.2. analyses chimiques

Quatre laboratoires (CCPA, ITCF, UCAAB et UNICOPA) ont procédé aux analyses chimiques des aliments selon les méthodes préconisées par la CEE (tableau 4).

**Tableau 2**  
**COMPOSITION DES RÉGIMES POUR POULETS DE CHAIR (%)**

| Régime<br>Matières premières | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Maïs                         | 8,7  | 8,0  |      | 49,0 | 20,0 | 20,1 | 29,2 | 19,5 | 31,6 | 31,6 |
| Blé                          | 50,0 | 25,0 | 42,1 |      |      | 3,3  | 10,0 | 50,0 | 26,5 | 26,5 |
| Manioc chips                 | 2,1  | 15,0 | 15,0 |      | 2,7  | 15,0 | 15,0 |      |      |      |
| Corn Gluten                  |      |      |      |      | 3,0  |      |      | 1,1  |      |      |
| Son fin                      |      |      |      |      | 3,8  | 10,0 | 5,0  |      | 2,0  | 2,0  |
| Gluten                       |      |      | 1,2  |      | 3,0  |      |      |      |      |      |
| Luzerne                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Pois                         | 10,0 | 15,0 | 10,0 | 10,0 |      | 5,0  |      |      | 25,0 | 25,0 |
| Soja extrudé                 |      |      | 10,0 | 15,5 | 16,0 |      |      |      |      |      |
| Tourteau de soja 48          | 9,7  | 27,0 | 1,2  | 13,6 | 10,0 | 5,0  | 10,0 |      | 5,8  | 5,8  |
| Tourteau de tournesol        | 8,8  |      | 7,8  |      | 7,0  |      | 13,0 |      |      |      |
| Tourteau de colza            | 4,0  |      | 3,0  |      | 3,0  | 1,6  | 3,2  | 16,7 | 5,0  | 5,0  |
| Farine viande 55 G           |      | 1,5  | 4,0  | 5,0  | 7,0  | 2,0  |      | 10,0 |      |      |
| Huile de soja                | 4,0  | 4,4  | 4,0  | 2,0  | 1,0  | 2,0  | 4,0  |      |      |      |
| Sorgho                       |      |      |      |      | 10,0 | 30,0 | 4,0  |      |      |      |
| Graisse                      |      |      |      |      | 5,0  | 2,5  | 4,0  |      |      |      |
| Corn distillers              |      |      |      | 2,0  | 5,0  |      |      |      |      |      |
| Ca CO <sub>3</sub>           | 0,7  | 0,7  | 0,2  | 0,4  |      |      | 0,2  | 0,7  | 0,9  | 0,9  |
| Phosphate bicalcique         | 0,9  | 2,3  | 0,4  | 1,4  |      |      | 0,9  | 0,9  | 2,1  | 2,1  |
| Prémix                       | 1,0  | 1,1  | 1,0  | 1,1  | 3,5  | 3,5  | 1,0  | 1,0  | 1,1  | 1,1  |
| Met DL                       | 0,1  |      | 0,1  |      |      |      | 0,5  | 0,1  |      |      |

**Tableau 3**  
**COMPOSITION DES RÉGIMES POUR POULETS PONDEUSES (%)**

| <b>Matières premières</b> | <b>Régime</b> | <b>11</b> | <b>12</b> | <b>13</b> | <b>14</b> | <b>15</b> | <b>16</b> | <b>17</b> | <b>18</b> | <b>19</b> | <b>20</b> |
|---------------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Maïs                      |               |           | 16,5      | 51,0      |           | 35,6      | 40,0      | 37,6      | 22,6      | 40,2      | 17,1      |
| Blé                       |               | 5,8       |           | 10,7      | 5,0       | 25,0      |           | 25,0      |           | 25,0      |           |
| Manioc chips              |               | 51,0      | 15,0      |           | 37,0      |           |           | 8,0       |           |           | 9,0       |
| Corn Gluten               |               |           | 10,0      | 3,2       | 13,0      |           | 2,7       |           | 5,0       |           |           |
| Son fin                   |               |           |           |           |           | 2,2       | 12,0      | 1,2       |           |           |           |
| Gluten                    |               |           |           |           |           | 3,5       | 3,6       | 3,4       | 12,4      | 1,4       | 0,6       |
| Luzerne                   |               | 4,0       | 2,1       | 3,0       |           |           | 2,5       |           | 5,0       |           |           |
| PX 1                      |               | 0,5       |           |           | 1,2       |           |           |           |           | 0,6       | 2,0       |
| Pois                      |               |           | 15,0      | 6,5       | 10,0      | 10,0      | 10,0      |           | 8,0       | 10,0      |           |
| Soja extrudé              |               | 2,0       |           |           |           |           |           |           |           |           | 12,0      |
| Tourteau de soja 48       |               | 16,0      | 10,0      | 4,7       | 10,0      | 1,3       |           | 12,0      | 5,0       | 5,0       |           |
| Tourteau de tournesol     |               |           |           | 5,0       |           | 10,0      | 13,0      |           |           | 3,1       | 6,1       |
| Tourteau de colza         |               |           | 7,0       | 5,0       |           |           |           |           |           |           |           |
| Farine viande 55 G        |               |           |           |           |           | 4,0       |           | 4,0       |           | 4,0       | 6,7       |
| Huile de soja             |               | 1,0       | 0,5       | 1,0       | 4,0       |           | 6,2       |           | 2,5       | 2,0       |           |
| Sorgho                    |               |           | 5,0       |           |           |           |           |           | 30,0      |           | 25,0      |
| Graisse                   |               |           | 3,0       |           |           |           |           |           |           |           | 2,0       |
| Corn distillers           |               | 10,0      | 5,0       |           | 10,0      |           |           |           |           |           | 10,0      |
| T. tournesol décort.      |               |           | 1,4       |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Ca CO <sub>3</sub>        |               | 7,0       | 6,0       | 7,5       | 7,6       | 7,2       | 7,9       | 7,0       | 6,0       | 7,1       | 6,0       |
| Phosphate bicalcique      |               | 1,6       |           | 1,3       | 1,1       | 0,2       | 1,0       | 0,8       |           | 0,6       |           |
| Prémix                    |               | 1,1       | 3,5       | 1,1       | 1,1       | 1,0       | 1,1       | 1,0       | 3,5       | 1,0       | 3,5       |

**Tableau 4**  
**RÉSULTATS D'ANALYSE (%)**

| <b>Régime</b> | <b>MS<br/>(4) *</b> | <b>PB<br/>(4)</b> | <b>LIP<br/>(4)</b> | <b>MGB<br/>(4)</b> | <b>A<br/>(3)</b> | <b>S<br/>(3)</b> | <b>CE<br/>(4)</b> | <b>PAR<br/>(4)</b> | <b>EB<br/>(1)</b> |
|---------------|---------------------|-------------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| 1             | 88,2                | 17,6              | 5,7                | 6,1                | 42,4             | 2,9              | 4,3               | 14,2               | 4 035             |
| 2             | 88,5                | 21,2              | 6,0                | 6,5                | 39,8             | 3,7              | 5,9               | 11,7               | 4 002             |
| 3             | 88,5                | 18,5              | 7,3                | 7,9                | 40,9             | 2,9              | 4,2               | 12,9               | 4 123             |
| 4             | 88,6                | 21,9              | 7,4                | 8,5                | 37,4             | 3,1              | 5,4               | 13,0               | 4 156             |
| 5             | 89,1                | 24,5              | 11,4               | 12,2               | 24,7             | 3,4              | 7,1               | 16,6               | 4 387             |
| 6             | 88,6                | 16,8              | 7,1                | 7,5                | 49,0             | 1,5              | 4,4               | 8,1                | 4 116             |
| 7             | 88,8                | 20,0              | 8,5                | 8,9                | 42,2             | 3,2              | 4,4               | 10,5               | 4 207             |
| 8             | 87,4                | 18,6              | 1,9                | 3,4                | 43,4             | 2,8              | 4,4               | 16,1               | 3 822             |
| 9             | 88,1                | 17,8              | 2,1                | 3,3                | 48,4             | 3,1              | 4,9               | 11,9               | 3 811             |
| 10            | 87,5                | 17,8              | 2,0                | 3,0                | 47,5             | 2,9              | 5,2               | 11,7               | 3 763             |
| 11            | 89,0                | 13,8              | 2,5                | 3,4                | 42,4             | 3,2              | 11,3              | 12,2               | 3 506             |
| 12            | 89,3                | 17,2              | 5,6                | 6,1                | 32,1             | 3,2              | 11,2              | 15,2               | 3 738             |
| 13            | 88,7                | 13,9              | 3,6                | 4                  | 41,2             | 2,2              | 10,2              | 14,0               | 3 579             |
| 14            | 89,3                | 14,7              | 5,4                | 5,7                | 37,2             | 2,7              | 11,6              | 14,6               | 3 688             |
| 15            | 88,3                | 16,6              | 2,5                | 3,4                | 41,9             | 1,9              | 9,6               | 13,1               | 3 601             |
| 16            | 89,7                | 14,5              | 8,2                | 9,4                | 33,9             | 2,0              | 11,1              | 17,2               | 3 918             |
| 17            | 88,4                | 16,8              | 2,6                | 3,3                | 44,3             | 2,1              | 9,8               | 10,4               | 3 601             |
| 18            | 88,5                | 18,1              | 4,9                | 5,9                | 38,4             | 1,9              | 9,1               | 12,0               | 3 796             |
| 19            | 88,5                | 15,8              | 4,6                | 5,3                | 43,2             | 1,9              | 9,2               | 10,8               | 3 685             |
| 20            | 88,9                | 18,7              | 6,6                | 7,5                | 33,2             | 2,1              | 11,2              | 13,0               | 3 804             |

- MS = matière sèche,
- PB = protéines brutes (N x 6,25),
- LIP = lipides (extraction par l'éther diéthylique),
- MGB = lipides (avec hydrolyse acide),
- A = amidon (polarimétrique),
- S = sucres (Luff-Schoorl),
- PAR = parois insolubles dans l'eau (Carré et Brillouet),
- CE = cendres,
- EB = énergie brute.

\* ( ) nombre de laboratoires ayant effectué l'analyse

### 3. équations de prédiction de l'EMAn utilisées.

Parmi les aliments destinés à la volaille, un certain nombre d'équations ont été proposées pour calculer la teneur

en énergie métabolisable des aliments. Quatre équations de prédiction de l'EMAn, choisies parmi les plus récentes, ont été étudiées : Fisher et Mc Nab (1987) (CEE), Leclercq et coll. (1984) (INRA-CEE) et Carré et Brillouet (1989) (PAR1 et PAR2) (tableau 5).

**Tableau 5**  
**ÉQUATIONS DE PRÉDICTION DE L'EMAn (en kcal/kg MB sur coqs adultes)**  
**D'ALIMENTS COMPOSÉS EN FONCTION DE CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES**

| Équations | Références                |                                                         |
|-----------|---------------------------|---------------------------------------------------------|
| CEE       | FISHER et MAC NAB (1987)  | EMAn = 37,11.PB + 82,08.MGB + 39,93.A + 31,12.S         |
| INRA-CEE  | LECLERCQ et Coll (1984)   | EMAn = 40,4.PB + 85,7.LIP + 38,5.A + 30,6.S             |
| PAR1      | CARRE et BRILLOUET (1989) | EMAnn = 0,9362.EB - 15,38.PB - 25,81.PAR <sup>1,2</sup> |
| PAR2      | CARRE et BRILLOUET (1989) | EMAnn = 39,85.MS + 47,02.LIP - 44,62.PAR - 53,07.CE     |

- MS = matière sèche, en %,
- PB = protéines brutes (N x 6,25), en %,
- MGB = lipides (avec hydrolyse acide), en %,
- LIP = lipides sans hydrolyse, en %,
- A = amidon (polarimétrique), en %,
- S = sucres, en %,
- PAR = parois insolubles dans l'eau (Carré et Brillouet) en %,
- CE = cendres, en %,
- EB = énergie brute (en kcal/kg).

Nous avons comparé les valeurs d'EM prédites, à celles calculées par méthode additive et à celles mesurées in vivo.

## II RÉSULTATS

### 1. Précision de l'ajustement des différents modèles (figure 1)

Les équations les mieux corrélées à l'EMAn mesurée in vivo sont les EMAn de PAR1 et PAR2 ( $r = 0,99$  pour les 2 équations). Ces dernières sont également les mieux corrélées à l'EMAn calculée de manière additive ( $r = 0,96$  pour les 2 équations). L'EMAn de l'équation CEE est la moins bien corrélée à l'EMAn mesurée ( $r = 0,97$ ) et à l'EMAn calculée ( $r = 0,93$ ). La corrélation entre les valeurs mesurées in vivo et les valeurs calculées est de  $r = 0,96$ .

### 2. Écarts entre les différentes EMAn

Des écarts systématiques sont apparus entre les différents modes d'évaluation de l'EMAn. L'écart moyen entre les EMAn mesurées in vivo et les autres EMAn est de + 81,4 kcal/kg. Le mode de prédiction a un effet significatif sur ces écarts (tableau 6). L'écart EMAn mesurée - EMAn CEE (34 kcal/kg) est en moyenne inférieur aux autres écarts. Les EMAn de INRA-CEE, PAR1, PAR2 et les EMAn calculées sont systématiquement inférieures aux EMAn mesurées in vivo (77, 100, 92 et 81 kcal/kg, respectivement).

Les écarts EMAn mesurées - EMAn calculées sont peu corrélées aux écarts EMAn mesurées - EMAn prédites ( $r < 0,60$ ). Les écarts EMAn mesurées - EMAn CEE et EMAn mesurées - EMAn INRA-CEE sont fortement corrélées ( $r = 0,74$ ) mais les équations CEE et INRA-CEE utilisent les mêmes critères chimiques.

### 3. Variabilité inter-laboratoires des mesures chimiques

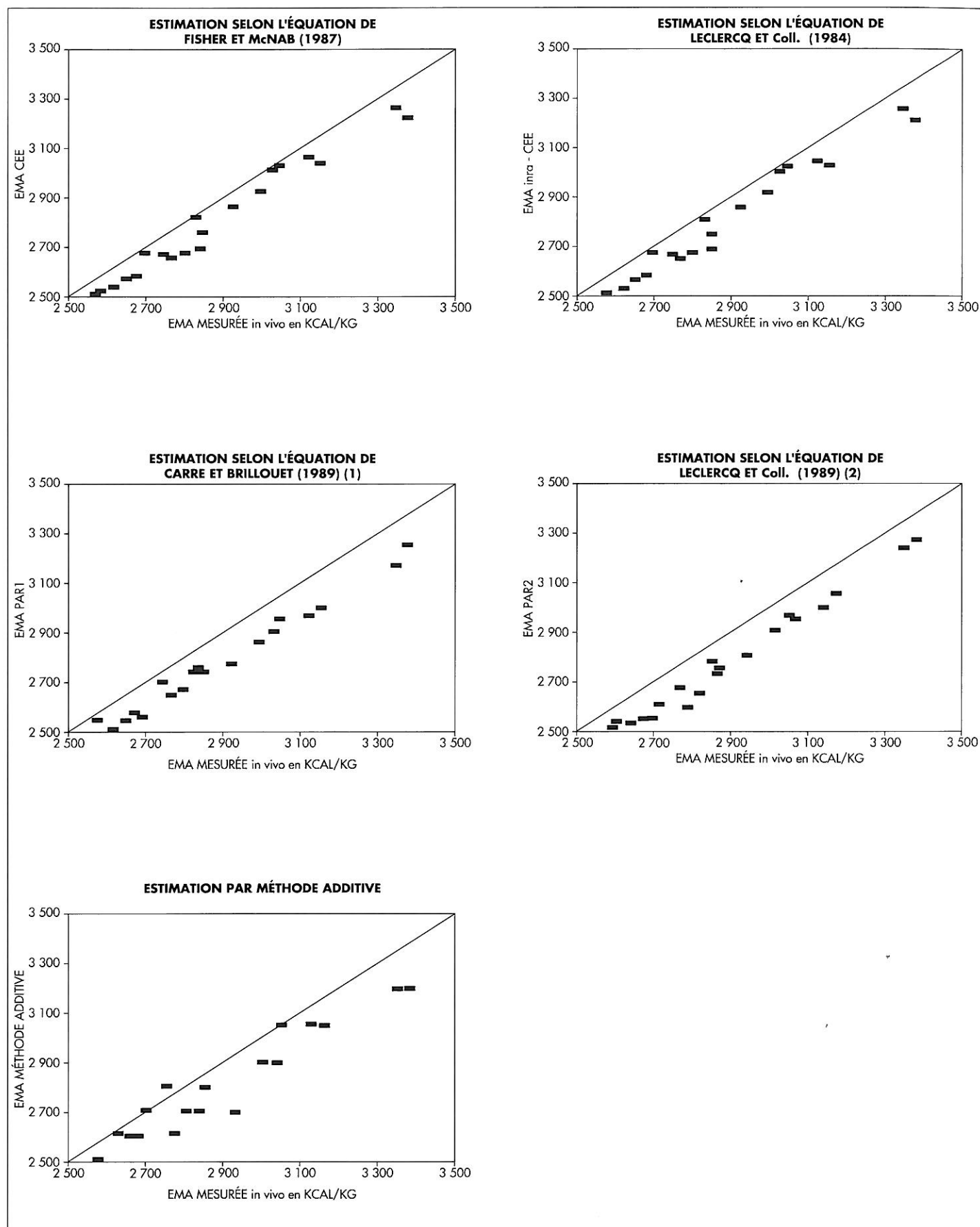
La variabilité inter-laboratoires des mesures chimiques induit une variabilité dans les estimations d'EMAn par les différentes équations.

L'écart-type inter-laboratoires est de :

|                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------|
| CEE : 101 kcal/kg<br>INRA-CEE : 87 kcal/kg<br>PAR2 : 69 kcal/kg |
|-----------------------------------------------------------------|

L'écart-type inter-laboratoires de l'équation PAR1 n'a pu être estimé car l'énergie brute qui intervient dans cette équation n'a été mesurée que dans un seul laboratoire.

**Figure 1**  
LIAISON ENTRE EM ESTIMÉE ET EM MESURÉE IN VIVO SELON DIFFÉRENTES ÉQUATIONS



EM mesurées in vivo à l'aide d'un laboratoire ; EM prédites à l'aide de quatre laboratoires.

Les critères chimiques utilisés dans l'équation PAR2 permettent donc de limiter la variabilité analytique. Toutefois, ce calcul a ses limites car les analyses chimiques n'ont été effectuées que dans quatre laboratoires.

#### 4. Variabilité inter-laboratoires des mesures d'EM in vivo.

D'après les deux ring-tests européens (Bourdillon *et al.*, 1990 a, b), l'écart-type inter-laboratoires de mesures de l'EM in vivo est d'environ 70 kcal/kg MB.

**Tableau 6**  
**ÉCARTS ENTRE EM MESURÉES IN VIVO ET EM PRÉDITES (en kcal/kg) \***

| Différences              | Moyennes ** | Écart-type |
|--------------------------|-------------|------------|
| EM mesurée - EM CEE      | 34 a        | 55         |
| EM mesurée - EM INRA-CEE | 77 b        | 40         |
| EM mesurée - EM PAR1     | 100 b       | 35         |
| EM mesurée - EM PAR2     | 92 b        | 33         |
| EM mesurée - EM calculée | 81 b        | 64         |

\* EM mesurées in vivo à l'aide d'un laboratoire et EM prédites à l'aide de quatre laboratoires.

\*\* Des lettres différentes sont assignées lorsqu'il existe une différence significative pour un risque  $\alpha = 5\%$ .

### III DISCUSSION - CONCLUSION

Des déviations systématiques sont apparues entre les modes d'évaluation de l'EMAn opposant d'une part les valeurs mesurées in vivo et prédites par l'équation CEE, et d'autre part les valeurs prédites par les autres équations. Cependant, compte tenu de l'importance de l'écart-type inter-laboratoires des mesures in vivo (70 kcal/kg), il n'est pas possible de conclure quant à l'origine des déviations entre EM in vivo et EM prédites. Les valeurs prédites par les équations PAR1 et PAR2 sont les mieux corrélées aux valeurs EMAn mesurées in vivo. L'écart-type inter-laboratoires de l'équation PAR2 est le plus faible ( $\sigma = 69$  kcal/kg) (non calculé pour PAR1).

L'équation PAR2 est pratique à utiliser car les critères chimiques dont elle tient compte sont des critères utilisés en routine. En revanche, l'énergie brute utilisée dans PAR1 est un critère mesuré en général uniquement pour déterminer les EMAn in vivo. Cela suppose donc une mesure supplémentaire.

Un écart important apparaît entre l'EMAn déterminée par additivité et l'EMAn mesurée in vivo (82 kcal/kg). L'EMAn calculée par additivité est moins bien corrélée à l'EMAn mesurée in vivo que les EMAn estimées par équations. Toutefois, l'EMAn mesurée in vivo n'a été mesurée que dans un seul laboratoire, et de plus, des interactions entre matières premières sont certainement apparues.

### Bibliographie

- BOURDILLON Anne, CARRE B., CONAN L., DUPERRAY J., HUYGHEBAERT G., LECLERCQ B., LESSIRE M., McNAB J.-M. et WISEMAN J. (1990a). European reference method for the in vivo determination of metabolisable energy with adult cockerels: reproductibility, effect of food intake and comparison with individual laboratory methods, 31: 557-565.
- BOURDILLON Anne, CARRE B., CONAN L., FRANCESCH Maria, FUENTES M., HUYGHEBAERT G., JANSSEN W.M.M.A., LECLERCQ B., LESSIRE M., McNAB J.-M., RIGONI M. et WISEMAN J. (1990b). European reference method for in vivo determination of metabolisable energy in poultry: reproductibility, effect of age, comparison with predicted values, 31: 567-576.
- CARRE B. et BRILLOUET J.-M. (1989). Determination of water-insoluble cell walls in feeds: interlaboratory study. Journal of the Association of Official Analytical Chemists, 72, 463-481.
- FISHER C. et McNAB J.-M. (1987). Techniques for determining the metabolisable energy (ME) content of poultry feeds. Dans Recent Advances in Animal Nutrition - 1987 (Ed. W.Haresign and D.J.A. Cole) Butterworths, London, pp 3-18.
- LECLERCQ B. (1985). Mesure et prédiction de la valeur énergétique : intérêt, signification, limites. WPSA, cahier n° 1, pp 4-12.