

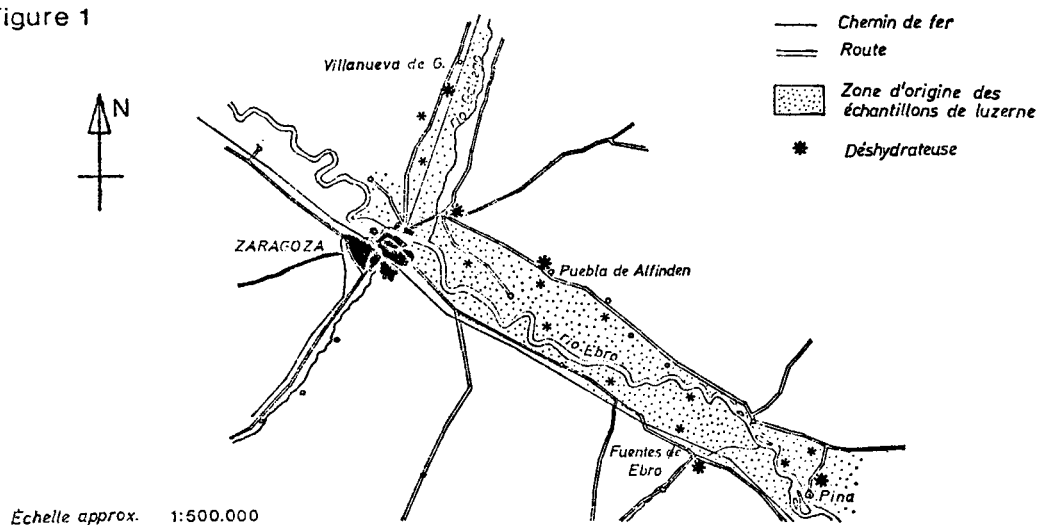
ÉTUDE DES PERTES DE CAROTENOÏDES  
DE LA LUZERNE DE LA "VALLÉE  
DE L'EBRE" PAR EFFET DE LA  
DÉSHYDRATATION INDUSTRIELLE

**Introduction.**

**A** PARTIR DE CINQ DESHYDRATEUSES DE LUZERNE SITUÉES DANS LA VALLÉE DE L'EBRE, DANS UN RAYON DE 50 KM AUTOUR DE SARAGOSSE (VOIR LA FIGURE 1) NOUS AVONS pris cent vingt-cinq échantillons de luzerne fraîche à son entrée dans le tambour de déshydratation et cent vingt-cinq autres échantillons de farine de luzerne déshydratée, ces derniers correspondant aux échantillons de luzerne fraîche.

On a analysé la composition bromatologique des échantillons, principalement en ce qui concerne les carotènes et xanthophylles, afin d'étudier l'effet produit par la déshydratation industrielle sur la valeur bromatologique de la luzerne.

Figure 1



### Méthodologie.

Les échantillons de luzerne fraîche, pris au moment d'entrer dans la déshydrateuse, étaient coupés très rapidement en très petits morceaux. Une partie de cette luzerne (50 g environ) était introduite dans un matras de couleur topaze lequel, après avoir été fermé avec un bouchon de verre, était introduit dans un vase de Dewar qui contenait de l'azote liquide. C'est ainsi que l'échantillon était transporté au laboratoire où on le faisait sécher sous vide, à température constante de 0°C et avec récupération de l'eau évaporée dans un « trap » avec de l'azote liquide. Une fois sec, ce petit échantillon passait à l'analyse de caroténoïdes. Un autre échantillon plus grand de luzerne fraîche était transporté dans un sac en matière plastique au laboratoire, où on déterminait les teneurs en éléments suivants :

- matière sèche, protéine brute, cellulose brute, matières grasses ;
- matières minérales, calcium, phosphore, chlore et acides aminés (8, 9, 10, 11, 12, 13).

Dix ou quinze minutes après avoir pris l'échantillon de luzerne fraîche, on prenait l'échantillon de farine de luzerne déshydratée à la sortie du moulin du déshydrateur : le premier échantillon correspondait donc exactement au deuxième. Transporté au laboratoire (également dans un sac en matière plastique) l'échantillon était analysé pour déterminer les mêmes composants que dans la luzerne fraîche.

Les échantillons étaient conservés au laboratoire dans les conditions ambiantes et, à intervalles d'un mois, analysés à nouveau par rapport aux caroténoïdes en vue de déterminer la dégradation de ceux-ci.

La méthode A.O.A.C. a été utilisée pour les caroténoïdes (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7).

L'analyse statistique a été effectuée par ordinateur électronique I.B.M.-1620.

Aux tableaux I, II, III, IV et V et sur les graphiques 1 et 2, on peut voir le résumé des résultats des analyses bromatologiques ainsi que de l'étude statistique réalisée.

La composition bromatologique moyenne de la luzerne déshydratée que nous avons trouvée est la suivante :

|                            |       |       |        |
|----------------------------|-------|-------|--------|
| Humidité .....             | 8,13  | %     |        |
| Protéine brute .....       | 20,99 | %     | (M.S.) |
| Cellulose brute .....      | 24,59 | %     | —      |
| Matières grasses .....     | 3,31  | %     | —      |
| Matières minérales .....   | 11,03 | %     | —      |
| Extractif non azoté .....  | 40,07 | %     | —      |
| Calcium (Ca) .....         | 2,05  | %     | —      |
| Phosphore (P) .....        | 0,26  | %     | —      |
| Chlore (ClNa) .....        | 2,23  | %     | —      |
| Carotènes (max.) .....     | 290   | mg/kg | —      |
| (min.) .....               | 87    | mg/kg | —      |
| Xanthophylles (max.) ..... | 610   | mg/kg | —      |
| (min.) .....               | 270   | mg/kg | —      |
| Ac. aspartique .....       | 1,97  | %     | —      |

|                          |      |   |   |
|--------------------------|------|---|---|
| Thréonine + Sérine ..... | 1,56 | % | — |
| Ac. glutamique .....     | 2,14 | % | — |
| Proline .....            | 0,85 | % | — |
| Glycine .....            | 1,00 | % | — |
| Alanine .....            | 1,05 | % | — |
| Cystine .....            | 0,18 | % | — |
| Valine .....             | 1,64 | % | — |
| Méthionine .....         | 0,20 | % | — |
| Isoleucine .....         | 0,93 | % | — |
| Leucine .....            | 1,72 | % | — |
| Tyrosine .....           | 0,69 | % | — |
| Phénylalanine .....      | 0,92 | % | — |
| Lysine .....             | 1,00 | % | — |
| Histidine .....          | 0,26 | % | — |
| Arginine .....           | 0,98 | % | — |
| Tryptophane .....        | 0,25 | % | — |

### Discussion des résultats.

De l'analyse statistique décrite aux tableaux I et II, on déduit qu'entre tous les éléments qui composent la luzerne fraîche et déshydratée, seules les teneurs en caroténoïdes présentent une différence significative.

D'après les résultats portés au tableau I, la déshydratation industrielle cause une perte moyenne de 18 % des carotènes et de 24 % des xanthophylles. Sur 70 % des cas, cette moyenne varie entre 5 % et 30 %, et 12 % et 36 % respectivement par rapport à la teneur de ces éléments dans la luzerne avant déshydratation (16, 17, 18, 19, 20, 21).

Bien qu'étant plus labiles (14, 15) les carotènes sont l'objet de pertes moins élevées que les xanthophylles. Ceci est dû au fait que la plus grande destruction de carotènes se produit pendant le temps écoulé entre la fauche de la luzerne et sa déshydratation (voir le tableau IV). Ceci est confirmé par l'étroite relation (significative à 99,9 %) qui existe entre la teneur initiale de caroténoïdes de la luzerne et le pourcentage de ceux-ci qui sont perdus pendant la déshydratation (tableau III) :

|                 |           |         |
|-----------------|-----------|---------|
| Carotènes :     | r = 0,419 | n = 103 |
| Xanthophylles : | r = 0,403 | n = 103 |

*Pertes de caroténoïdes  
sur luzerne déshydratée*

Par analyse effectuée deux heures après la fauche, on trouve une perte de 20 % de carotènes et de 5 % de xanthophylles. En fonction du temps, ces pertes suivent une courbe exponentielle de type  $\exp. \left( \frac{1}{x} \right)$ .

**TABLEAU I**  
**LUZERNE FRAICHE**  
Analyse statistique des résultats bromatologiques

| <i>Sur matière sèche</i> | <i>n</i> | <i>m</i> | $\sigma$ | $\sigma^2$ | <i>Sm</i> | <i>L. C. 95 %</i> | <i>L.C. 99 %</i> |
|--------------------------|----------|----------|----------|------------|-----------|-------------------|------------------|
| Humidité %               | 121      | 77,47    | 3,24     | 10,47      | 0,29      | 78,05/76,89       | 78,22/76,72      |
| Protéine brute %         | 122      | 20,64    | 1,77     | 3,15       | 0,16      | 20,96/20,32       | 21,07/20,21      |
| Cellulose brute %        | 122      | 25,86    | 2,19     | 4,82       | 0,20      | 26,26/25,46       | 26,38/25,34      |
| Matières grasses %       | 122      | 3,21     | 0,53     | 0,28       | 0,05      | 3,31/ 3,11        | 3,34/ 3,08       |
| Matières minérales %     | 122      | 10,72    | 1,60     | 2,55       | 0,15      | 11,02/10,42       | 11,11/10,33      |
| Ext. non azoté %         | 122      | 39,96    | 3,73     | 13,91      | 0,34      | 40,64/39,18       | 40,83/39,09      |
| (Ca) Calcium %           | 122      | 2,02     | 0,28     | 0,08       | 0,03      | 2,08/ 1,96        | 2,10/ 1,94       |
| (P) Phosphore %          | 122      | 0,25     | 0,04     | 0,002      | 0,04      | 0,33/ 0,17        | 0,36/ 0,14       |
| (NaCl) Chlore %          | 30       | 2,21     | 0,43     | 0,19       | 0,25      | 2,71/ 1,71        | 2,86/ 1,56       |
| Carotènes (mg/kg)        | 104      | 341      | 62       | 3.839      | 6,02      | 353/329           | 358/324          |
| Xanthophylles (mg/kg)    | 104      | 341      | 170      | 28.940     | 16,55     | 846/778           | 856/768          |
| % pertes carotènes       | 103      | 18,06    | 12,31    | 151,46     | 1,20      | 20,46/15,66       | 21,18/14,94      |
| % pertes xanthophylles   | 103      | 24,33    | 12,55    | 157,43     | 1,22      | 26,77/21,89       | 27,53/21,13      |

**TABLEAU II**  
**LUZERNE DESHYDRATEE**  
Analyse statistique des résultats bromatologiques

| <i>Sur matière sèche</i> | <i>n</i> | <i>m</i> | $\sigma$ | $\sigma^2$ | <i>Sm</i> | <i>L. C. 95 %</i> | <i>L.C. 99 %</i> |
|--------------------------|----------|----------|----------|------------|-----------|-------------------|------------------|
| Humidité %               | 125      | 8,13     | 4,19     | 17,54      | 0,37      | 8,20/ 8,06        | 9,09/ 7,17       |
| Protéine brute %         | 122      | 20,99    | 1,96     | 3,86       | 0,18      | 21,26/20,63       | 21,46/20,52      |
| Cellulose brute %        | 122      | 24,59    | 2,50     | 6,23       | 0,23      | 25,05/24,13       | 25,19/23,99      |
| Matières grasses %       | 122      | 3,31     | 0,48     | 0,23       | 0,04      | 3,39/ 3,23        | 3,41/ 3,21       |
| Matières minérales %     | 122      | 11,03    | 1,54     | 2,36       | 0,14      | 11,21/10,75       | 11,39/10,67      |
| Ext. non azoté %         | 122      | 40,07    | 2,97     | 8,80       | 0,27      | 40,61/39,53       | 40,77/39,37      |
| (Ca) Calcium %           | 122      | 2,05     | 0,28     | 0,08       | 0,02      | 2,09/ 2,01        | 2,10/ 2,00       |
| (P) Phosphore %          | 122      | 0,26     | 0,04     | 0,002      | 0,004     | 0,27/ 0,25        | 0,27/ 0,25       |
| (NaCl) Chlore %          | 32       | 2,23     | 0,43     | 0,18       | 0,08      | 2,39/ 2,07        | 2,44/ 2,02       |
| Carotènes (mg/kg)        | 103      | 290      | 58       | 3.370      | 6         | 302/278           | 306/274          |
| Xanthophylles (mg/kg)    | 103      | 610      | 131      | 17.231     | 13        | 636/584           | 644/576          |

*n* : n° données ; *m* : moyenne ;  $\sigma$  : déviation standard ;  $\sigma^2$  : variances ; *Sm* : erreur standard ;  
L.C. : intervalle de confiance.

Le tableau III montre le rapport significatif et négatif existant entre les pertes de caroténoïdes par déshydratation et l'humidité de la farine déshydratée à la sortie du déshydrateur :

Carotènes :  $r = -0,352$   $n = 86$   
 Xanthophylles :  $r = -0,451$   $n = 88$

A une plus haute humidité de la farine correspond une moindre perte de caroténoïdes, ainsi qu'on peut le voir sur le graphique 1. Les équations (% pertes — % humidité) sont :

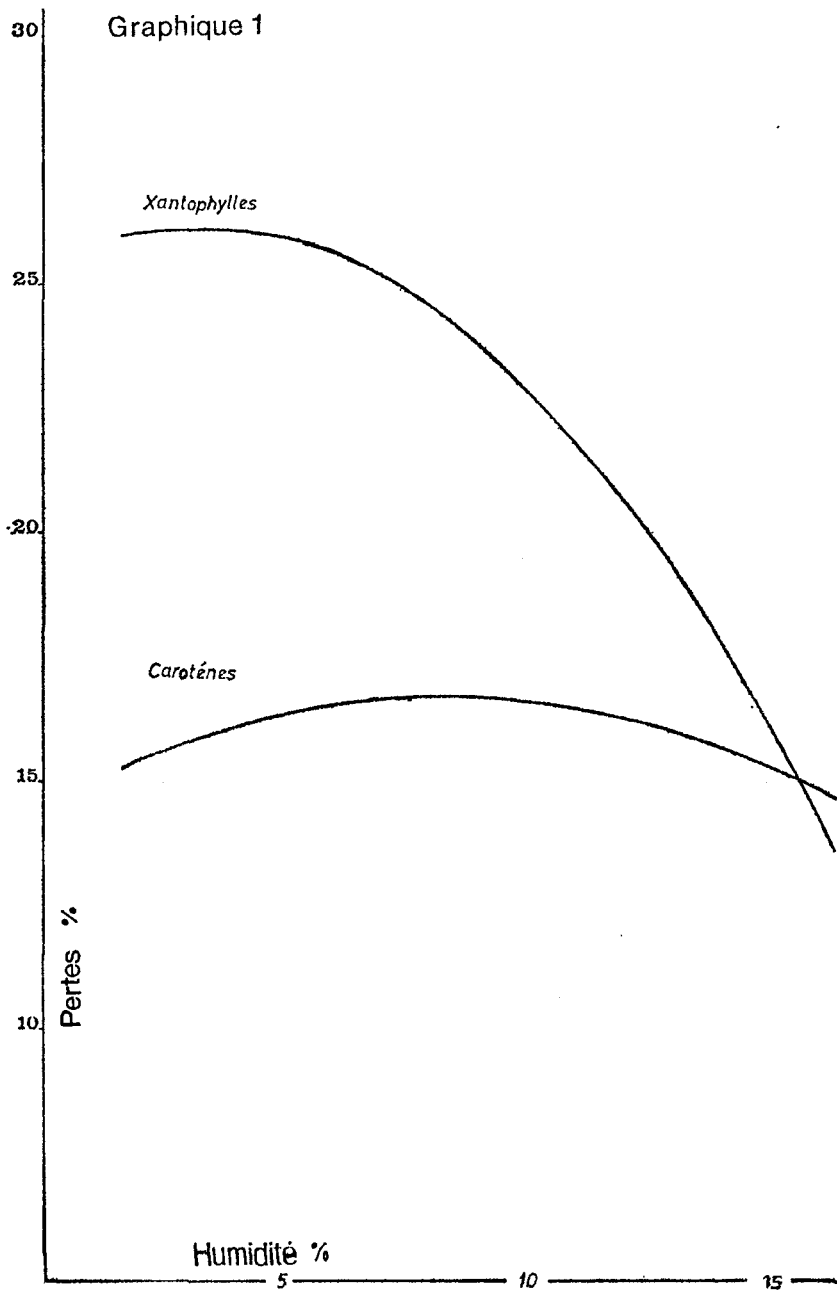
Carotènes :  $Y = 14,59 + 0,50 X - 0,03 X^2$   
 Xanthophylles :  $Y = 25,37 + 0,48 X - 0,07 X^2$   
 (X = % humidité - Y = % pertes)

**TABLEAU III**  
 COEFFICIENTS DE CORRELATION ET EQUATIONS DE REGRESSION  
 ENTRE LES RESULTATS DE LA COMPOSITION BROMATOLOGIQUE  
 DE LA LUZERNE FRAICHE ET DE LA LUZERNE DESHYDRATEE  
 (100 ≤ n ≤ 125)

| X<br>Luzerne fraîche     | Y<br>Luzerne déshydratée | r       | Y sur X               | X sur Y               |
|--------------------------|--------------------------|---------|-----------------------|-----------------------|
| Protéine brute .....     | Protéine brute ....      | 0,752   | $Y = 0,83 X + 3,79$   | $X = 0,68 Y + 6,37$   |
| Cellulose brute .....    | Cellulose brute ....     | 0,655   | $Y = 0,74 X + 5,31$   | $X = 0,58 Y + 11,69$  |
| Matières grasses .....   | Matières grasses ..      | 0,495   | $Y = 0,45 X + 1,87$   | $X = 0,55 Y + 1,39$   |
| Matières minérales ....  | Matières minérales .     | 0,733   | $Y = 0,70 X + 3,48$   | $X = 0,76 Y + 2,30$   |
| Ext. non azoté .....     | Ext. non azoté .....     | 0,406   | $Y = 0,32 X + 27,15$  | $X = 0,51 Y + 19,46$  |
| (Ca) Calcium .....       | (Ca) Calcium .....       | 0,570   | $Y = 0,56 X + 0,92$   | $X = 0,57 Y + 0,11$   |
| (P) Phosphore .....      | (P) Phosphore .....      | 0,551   | $Y = 0,53 X + 0,12$   | $X = 0,58 Y + 0,83$   |
| Carotènes .....          | Carotènes .....          | 0,511   | $Y = 0,52 X + 112,37$ | $X = 0,50 Y + 195,35$ |
| Xanthophylles .....      | Xanthophylles .....      | 0,632   | $Y = 0,53 X + 178,82$ | $X = 0,75 Y + 352,48$ |
| % pertes carotènes ....  | Humidité (n = 86)        | - 0,352 | $Y = 0,08 X + 8,20$   |                       |
| % pertes xanthophylles . | Humidité (n = 88)        | - 0,451 | $Y = 0,11 X + 9,80$   |                       |
| Carotènes .....          | % pertes carotènes       | 0,419   | $Y = 0,08 X + 9,85$   | $X = 2,14 Y + 302,05$ |
| Xanthophylles .....      | % pertes xanthophyl.     | 0,403   | $Y = 0,03 X + 0,69$   | $X = 5,56 Y + 676,76$ |
| % pertes carotènes ....  | % pertes xanthophyl.     | 0,463   | $Y = 0,47 X + 15,94$  | $X = 0,46 Y + 6,98$   |

**TABLEAU IV**  
 CONCENTRATION DE CAROTENOIDE TROUVEE  
 PAR L'ANALYSE DU MEME ECHANTILLON DE LUZERNE FRAICHE,  
 EXTRAIT A DIVERS INTERVALLES APRES LA FAUCHE

|                          | Aux 5 min. | Aux 75 min. | Aux 165 min. |
|--------------------------|------------|-------------|--------------|
| Carotènes mg/kg .....    | 238        | 199         | 183          |
| Xanthophylles mg/kg .... | 476        | 452         | 450          |



*Pertes de caroténoïdes  
sur luzerne déshydratée*

**TABLEAU V**  
**LUZERNE DESHYDRATEE.**  
**PERTES DE CAROTENOIDES PENDANT LE STOCKAGE**

| <i>Humidité de la farine entre 8 et 12 %</i> |       |       |       | <i>Humidité de la farine entre 4 et 8 %</i> |       |       |       |                |
|--|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|----------------|
| <i>Mois de stockage</i>                      | 5     | 6     | 7     | <i>moyenne</i>                              | 5     | 6     | 7     | <i>moyenne</i> |
| Pertes des carotènes (%)                     | 44,60 | 55,31 | 70,01 | 56,64                                       | 52,00 | 60,33 | 69,38 | 60,57          |
| Pertes des xanthophylles (%)                 | 46,27 | 51,85 | 62,84 | 53,65                                       | 50,70 | 57,60 | 61,49 | 56,26          |

D'autre part, l'histogramme du graphique 2 montre que la plupart (51 %) des échantillons analysés avaient une humidité comprise entre 4 et 8 %. C'est la cause du plus grand pourcentage de pertes de caroténoïdes. Pour cela, il aurait été désirable de produire une farine avec une humidité supérieure à 8 % (qui est la moyenne trouvée) car les coûts de production auraient été inférieurs, ainsi que les pertes de caroténoïdes. D'autre part, les échantillons de luzerne gardés au laboratoire en atmosphère ambiante étaient conservés sans moisir jusqu'à 16 % d'humidité.

Le tableau V indique que lorsque l'humidité de fabrication est supérieure à 8 %, les possibilités de conservation des caroténoïdes dans la farine de luzerne déshydratée sont supérieures au bout de cinq-six mois (22).

De tout cela nous avons déduit, pour les déshydrateuses de notre région, que si la farine déshydratée avait été fabriquée avec 12 % d'humidité au lieu de 8 %, les résultats auraient été :

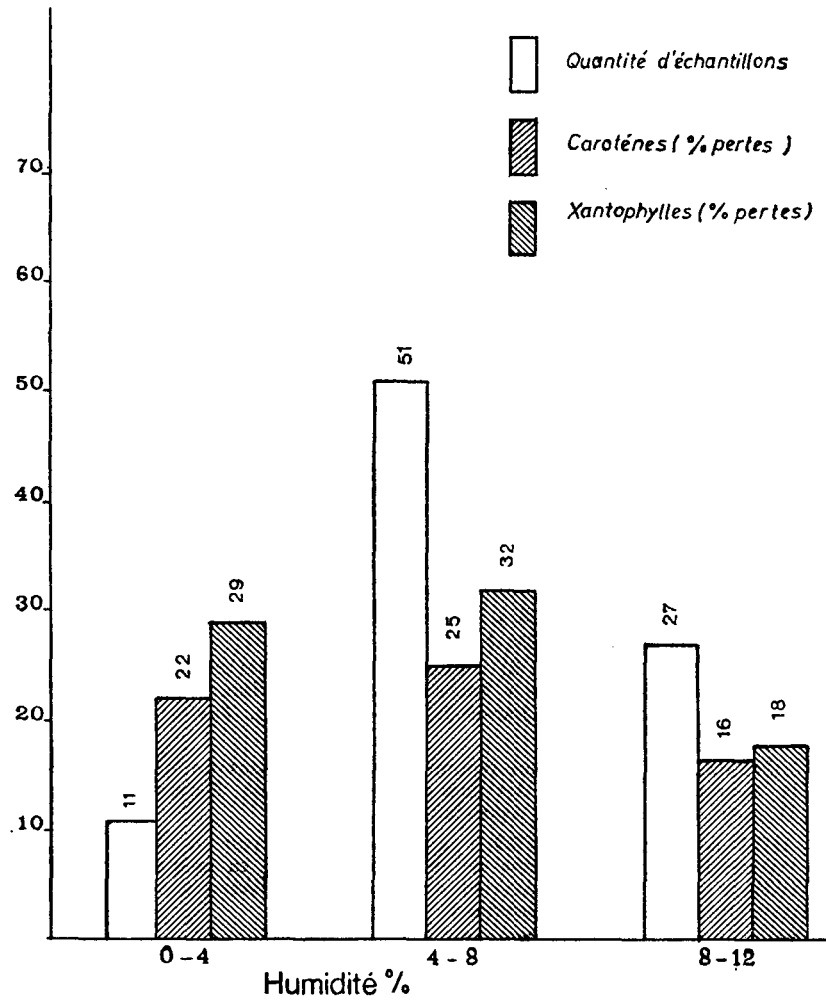
- a) coûts de production plus bas, autour de 0,20 pesetas/kg de farine ;
- b) les pertes de xanthophylles — agents pigmentants — auraient été inférieures de 5 % ;
- c) les possibilités de conservation des caroténoïdes dans une période de cinq-six mois auraient été de 6 % supérieures.

La valoration exacte des caroténoïdes est d'une grande importance économique en Espagne, étant donné que le marché exige que les produits avicoles (œufs et viande) soient pigmentés (23, 24). Cela a été traité dans un autre travail de l'« Instituto de Economía y Producciones Ganaderas del Ebro » (25, 26).

Adolfo Amella FERRER,  
*Instituto de Economía y Producciones Ganaderas del Ebro,*  
*Facultad de Veterinaria,*  
*Zaragoza (Espagne).*



Graphique 2



sur luzerne déshydratée

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- (1) THOMPSON C.R., BICKOFF E.M. : « A Proposed Modification of the A.O.A.C. Method for Carotene in Alfalfa. » *Journal of the A.O.A.C.*, vol. 34, n° 1, 1951, 219-224.
- (2) BICKOFF E.-M., LIVINGSTON A.L., BAILEY G.F. : « Evaluation of two Methods for the Determination of Carotene. » *Journal of the A.O.A.C.*, vol. 37, n° 2, 1954, 509-518.
- (3) WISEMAN H.G., IRVIN H.M., MOORE L.A. : « Determination of Carotene in Silages and Forages. » *Agricultural and Food Chemistry*, vol. 5, n° 2, February 1957, 134-137.
- (4) MITCHELL H.L., KING H.H. : « Determination of Carotene in Alfalfa and Cereal Grasses. » *Analytical Chemistry*, 20, 637-638, 1948.
- (5) KOHLER G.O., KNOWLES R.E., LIVINGSTON A.L. : « An Improved Analytical Procedure for Determination of Xanthophyll. » *Journal of the A.O.A.C.*, vol. 50, n° 3, 1967, 707-711.
- (6) BICKOFF E.M., LIVINGSTON A.L., BAILEY G.F., THOMPSON C.R. : « Xanthophyll Determination in Dehydrated Alfalfa Meal. » *Journal of the A.O.A.C.*, vol. 37, n° 3, 1954, 894-902.
- (7) BICKOFF E.M., LIVINGSTON A.L., BAILEY GLEN F., THOMPSON C.R. : « Xanthophylls in Fresh and Dehydrated Alfalfa. » *Agricultural and Food Chemistry*, vol. 2, n° 11, May 26, 1954, 563-567.
- (8) MAGNY, J. PERE : « Communication sur la composition minérale des fourrages. » Purpan (Haute-Garonne). *Fourrages*, n° 11, septembre 1962.
- (9) BELSUNCE de C., PION R : « Dosage de la cystine dans les aliments. » *Ann. Biol. Anim. Biochem. Biophys*, 3, 191-199, 1963.
- (10) FAUCONNEAU G., PION R. : « Composition en acides aminés des protéines de quelques plantes fourragères. » Laboratoire des métabolismes, Centre National de Recherches Zootechniques. Jouy-en-Josas (Seine-et-Oise). *Fourrages*, n° 22, juin 1965, p. 60.
- (11) HOFFMAN M.J.A. : « Note concernant les répercussions du séchage à l'air sur la composition chimique des fourrages. » Institut de Recherches Chimiques, Tervuren. *Fourrages*, n° 35, septembre 1968.
- (12) AMELLA A., M. MAESTRO : « Rutina analítica para la determinación de aminoácidos por cromatografía de intercambio iónico, en piensos compuestos y materias primas para alimentación del ganado. » *Comunicaciones del I.E.P.G.E.*, n° 1 (1970). Facultad de Veterinaria. Zaragoza.
- (13) PROTECTOR INTERNATIONAL : « Comparaison des résultats de dosage de la cellulose obtenus par deux méthodes : « Sharrer » et méthode « Weend ». » Saint-Ouen, le 18 mai 1965 (Communication personal).

- (14) WALSH, KENNETH A., HAUGE S.M. : « Factors Affecting Destruction in Alfalfa. » *Agricultural and Food Chemistry*, vol. 1, n° 16, October 28, 1953, 1001-1004.
- (15) MICHELL H.L., HAUGE S.M. : « Factors Affecting the Enzymic Destruction of Carotene in Alfalfa. » *J. Biol. Chem.*, 164, 543 (1946).
- (16) LIVINGSTON A.L., KNOWLES R.E., ISRAELSEN M., NELSON J.W., MOTTOLA A.C., KOHLER G.O. : « Xanthophyll and Carotene Stability during Alfalfa Dehydration. » *J. Agric. Food Chem.*, vol. 14, n° 6, Nov.-Dec. 1966, 643-644.
- (17) GRIFFITH R.B., THOMPSON C.R. : « Factors affecting the Destruction of Carotene in Alfalfa. » *Botanical Gazette*, 111, 165 (1949), 165-175.
- (18) WILDER O.H.M., BETHKE R.M. : « The Loss of Carotene in Machine-Dried Alfalfa Meal under variable Conditions of Storage. » *Poultry Sci.*, 20, 304 (1941), 304-312.
- (19) LIVINGSTON A.L., KNOWLES R.E., NELSON J.W., KOHLER G.O. : « Xanthophyll and Carotene Loss during Pilot and Industrial Scale Alfalfa Processing. » *Agricultural and Food Chemistry*, vol. 16, n° 1, p. 84. 1968.
- (20) WALGER JANOS, DOBI FERENC, BEOTHY ZSUZSANA, THURANSZKY ATTILANE : « A comparison of the various green fodder drying methods from the point of view of preservation of carotene. » *Agrokémia és Talajtan*, 13, 3-4 (263-270), 1964.
- (21) WALGER JANOS, THURANSZKY ATTILANE : « Stabilization of the carotene content of quick-dried lucerne meal with antioxidants. » *Agrokémia és Talajtan*, 14, 1-2 (87-94) 1965.
- (22) KNOWLES R.E., LIVINGSTON A.L., NELSON J.W., KOHLER G.O. : « Xanthophyll and Carotene Storage Stability in Commercially Dehydrated and Freeze-Dried Alfalfa. » *Agricultural and Food Chemistry*, vol. 16, n° 4, p. 654, 1968.
- (23) MARUSICH W., DE RITTER E., BAUERNFEIND J.C. : « Evaluation of Carotenoid Pigments for Coloring Egg Yolks. » *Poultry Sci.*, 39, 1.338 (1960).
- (24) BAILEY H.S., NEWLANDS G.M. : « Recovery of yolk pigment in the laying fowl. » *Physiol. Dom. Fowl. Brit. Egg. Marketing Board Symp.* 1st. Nottingham, England, 1964, 75-86 (publ. 1966).
- (25) OCANA M., AMELLA A., MANRIQUE E. : « El coste nacional de la pigmentación de los productos avícolas. » *Trabajos del I.E.P.G.E.*, n° 2 (1970), Facultad de Veterinaria. Zaragoza.
- (26) MINISTERIO DE AGRICULTURA - SECRETARIA GENERAL TECNICA : « El mercado de la alfalfa en el Valle del Ebro. » Madrid, Mayo, 1969.
- (27) WOLFF J.-P. : « Données actuelles sur la composition des insaponifiables. » *Mises Point Chim. Anan. Org. Pharm. Bromatol.*, 16, 195-209, 1967.