

Influence de l'agglomération et du stockage des aliments composés sur leur teneur en Canthaxanthine : conséquences sur la digestibilité et la fixation de ce pigment chez la Truite Arc-en-ciel

G. CHOUBERT (Jr) et P. LUQUET

avec la collaboration technique de R. CESCOSSE, Y. HONTANG et R. LANNEBERE

*Laboratoire de Nutrition des Poissons
Centre de Recherches Hydrobiologiques, I.N.R.A.,
St-Pée-sur-Nivelle, 64310 Ascaïn (France)*

Résumé

Afin de déterminer une des causes de variabilité de la pigmentation des truites en pisciculture, les pertes en canthaxanthine de 13 échantillons de « CAROPHYLL rouge » et de 5 échantillons de « Canthaxanthine 10 p. 100 hydrosoluble » ont été examinées au cours de la conservation des concentrats, des processus d'agglomération et de stockage des aliments avant distribution. Les conséquences de cette dégradation sur la digestibilité et la fixation de ce pigment par la truite arc-en-ciel ont été ensuite étudiées.

La protection de la canthaxanthine dans les concentrats est efficace et les différents lots de fabrication homogènes. Les teneurs en produit pur sont stables et correspondent aux valeurs théoriques.

Bien que la température des granulés à la sortie de la presse soit modérée (43 °C) le processus de granulation entraîne la perte d'une fraction importante de pigments. Cette diminution est significative et égale à 20 p. 100 et 15 p. 100 respectivement pour les modes de présentation « CAROPHYLL rouge » et « Canthaxanthine 10 p. 100 hydrosoluble ».

Au cours d'un stockage des granulés, d'une durée de 2 mois, à la température hivernale ambiante et avant utilisation on a noté une perte supplémentaire significative d'environ 17 p. 100 quel que soit le mode de présentation.

Les tests *in vivo* indiquent une faible digestibilité de la canthaxanthine (20 p. 100). Ces valeurs basses peuvent s'expliquer, partiellement du moins, par la méthode utilisée pour la récolte des fèces.

Bien que le rapport de la canthaxanthine fixée à la canthaxanthine ingérée soit voisin de 1 p. 100 la couleur de la chair des truites est fortement prononcée quelle que soit la préparation utilisée.

Introduction

La pigmentation de la peau et de la chair des salmonidés est due aux pigments caroténoïdes contenus dans leurs tissus. En milieu naturel, la couleur rouge des tissus des truites et des saumons provient de leur nourriture (LEDERER, 1935;

GOODWIN, 1952), crustacés notamment dont le pigment dominant, l'astaxanthine (KUHNS et SORENSEN, 1938) est accumulé dans les tissus sans transformation d'aucune sorte (STEVEN, 1948; HATA et HATA, 1973).

En salmiculture intensive, la pigmentation des truites est obtenue soit par complémentation de l'aliment par des déchets industriels de crustacés (LAMBERTSEN et BRAEKKAN, 1971) soit par supplémentation des régimes alimentaires avec de la canthaxanthine, pigment caroténoïde synthétisé industriellement (ISLER, OFNER et SIEMERS, 1958).

Dans les conditions pratiques de pisciculture, les résultats obtenus pour la pigmentation des salmonidés sont très variables tant entre lots qu'intra lot.

Si quelques facteurs liés au poisson et au milieu ont été décrits, notamment les facteurs génétiques (BESSE, 1951; GOODWIN, 1952), les facteurs physiologiques (STEVEN, 1949; SHNAREVICH et SAKHNENKO, 1971), les facteurs pathologiques dont le rôle a été mis en évidence chez le poulet de chair (BIRD, 1953; YVORE et MAINGUY, 1972) et les paramètres du milieu (SUMNER et FOX, 1933; PETERSON *et al.*, 1966); il n'en est pas de même des facteurs liés à l'aliment. Seuls quelques effets des apports, tels que la nature et la quantité des pigments caroténoïdes, ou les effets des autres éléments de la ration alimentaire ont été déjà partiellement étudiés (ABDUL-MALAK, 1975; ABDUL-MALAK *et al.*, 1975; CHUBERT et LUQUET, 1975; CHUBERT, 1977).

L'instabilité des pigments caroténoïdes pose le problème de leur conservation dans les matières premières et les aliments fabriqués. Les conditions et la durée de conservation peuvent apporter les modifications sensibles difficilement prévisibles étant donné la variété des formules alimentaires, les conditions de fabrication et de distribution dans la pratique industrielle. (MAINGUY et ROUQUES, 1965). Ces remarques ne sont pas limitées aux seuls pigments caroténoïdes mais s'étendent aux autres constituants de la ration alimentaire tels que les lipides, les protéines ou les vitamines. Ainsi, les pertes en vitamines C atteignent 25 à 50 p. 100 par suite de l'agglomération (WORNICK, 1960) et 97 p. 100 après extrusion (SLINGER, RAZZAQUE et CHO, 1978). Après quelques semaines de stockage dans des conditions normales de température, les pertes constatées sont de l'ordre de 25 à 30 p. 100 (WORNICK, 1960). Pour la vitamine A, les pertes observées lors du stockage sont du même ordre de grandeur (20 p. 100) (VALDEBOUZE et LEVY, 1972).

Pour tenter d'expliquer les différences dans la pigmentation des truites d'élevage, il nous a paru utile d'examiner d'une part la variabilité entre les différents lots de fabrication de concentrat de canthaxanthine et les conséquences d'un stockage avant incorporation, d'autre part les pertes inhérentes aux processus de fabrication et de stockage de l'aliment. L'influence de ces différents paramètres sur la digestibilité et la fixation de la canthaxanthine par la truite arc-en-ciel a ensuite été examinée.

Matériels et méthodes

I. — Concentrats de canthaxanthine

Deux préparations de canthaxanthine sont étudiées :

- une préparation dénommée « CAROPHYLL rouge » (*) : 13 échantillons,
- une préparation dénommée « Canthaxanthine 10 p. 100 hydrosoluble » (*) : 5 échantillons.

(*) Société F. HOFFMANN, La Roche, 52, boulevard du Parc, 92521 Neuilly-sur-Seine.

Ces deux formes sont celles des préparations commerciales habituelles pour l'alimentation car ces concentrats proviennent d'une part de sept fabricants d'aliment pour poisson représentant plus des trois quart de la production française recensée et d'autre part du fabricant lui-même. Dix huit échantillons représentant 11 lots de fabrication sont ainsi analysés.

2. — Aliment

Chacune de ces préparations est introduite dans un aliment de type commercial ne contenant pas de caroténoïdes, de façon à réaliser une concentration d'environ 220 ppm de produit pur, concentration recommandée par le fabricant. Cet aliment contient de plus, environ 0,5 p. 100 d'oxyde de chrome pour les études de digestibilité. L'aliment est granulé par une presse de laboratoire CPM sans adjonction de vapeur (diamètre des perforations de la filière = 2,5 mm). Afin de faciliter le passage de la farine à travers la filière, de l'eau (environ 2 p. 100 du mélange) est ajoutée. La température à la sortie de la presse est notée au cours de chaque fabrication. Les aliments sont conservés sous abri dans des sacs en papier (5 couches), le stockage, avant utilisation, a lieu dans un bâtiment non fermé à proximité des bassins d'élevage et à la température ambiante (température minimum 6,1 °C, température maximum 16,6 °C.).

La teneur en canthaxanthine est déterminée sur les concentrats, l'aliment en farine, l'aliment granulé à la sortie de la presse et après deux mois de stockage.

3. — Poissons

L'expérience d'une durée de 36 jours s'est déroulée à la pisciculture expérimentale de Donzacq (Landes). 18 lots de 80 truites arc-en-ciel (*Salmo gairdnerii* Rich.) d'un poids initial de 130 g sont constitués au hasard puis placés dans des bassins rectangulaires de 2 m² de surface. La hauteur d'eau est d'environ 40 cm. La température de l'eau provenant de sources est pratiquement constante toute l'année (17 °C). Les truites sont nourries à volonté par repas, 4 fois par jour.

En fin d'expérience, un échantillon de 10 truites est prélevé pour analyse. Celles-ci sont tuées par rupture des vertèbres cervicales puis pesées. La musculature épaxiale d'une part et le reste d'autre part sont prélevés. Les échantillons provenant des différents poissons sont congelés, regroupés et conservés au froid (— 18 °C) jusqu'au broyage qui précède immédiatement les analyses. Les autres truites sont maintenues dans les mêmes conditions pour l'étude de la digestibilité par la méthode indirecte qui consiste à mesurer la concentration de la canthaxanthine par rapport à celle d'un marqueur inerte : l'oxyde de chrome (ÉDIN, 1918).

Les fèces sont prélevées, après anesthésie des poissons, par pression abdominale (SINGH et NOSE, 1967) à 9 heures et 17 heures (POSSOMPES, 1973). Les fèces sont alors congelées, groupées et lyophilisées.

4. — Déterminations analytiques

La couleur peut être caractérisée par trois critères : la teinte, la saturation et l'éclat. L'éclat étant difficile à percevoir dans le cas de la chair, nous n'avons retenu que la teinte et la saturation. L'appréciation de ces deux critères s'effectue

visuellement, sur le terrain, par comparaison avec la charte Kodak Color séparation guide NQ 13, puis est confirmée en laboratoire sur des photographies en couleur comportant sur le cliché l'image de la chair des truites ainsi que celle de cette même charte.

Le dosage de la canthaxanthine est effectué en double, selon la méthode décrite par OSADCA, ARAUJO et de RITTER (1972) sur 20 g de tissus frais, 15 g d'aliment sec et 1 g de fèces préalablement lyophilisées.

L'oxyde de chrome est dosé selon la méthode de BOLIN, KING et KLOSTERMAN (1952) sur 500 mg d'aliment frais, et 100 mg de fèces lyophilisées.

Résultats

1. — *Concentrat en canthaxanthine*

Les résultats concernant les teneurs en canthaxanthine des différents concentrats sont groupés dans le tableau 1. On note que les teneurs en canthaxanthine sont homogènes pour l'ensemble des lots analysés tant pour la préparation « CAROPHYLL rouge » (moyenne $10,5 \pm 0,5$), que pour la préparation « Canthaxanthine 10 p. 100 hydrosoluble » (moyenne $10,0 \pm 0,6$).

Il n'apparaît donc, aucune différence entre les teneurs en canthaxanthine des échantillons de provenances diverses.

2. — *Stabilité de la canthaxanthine*

Les résultats de dosage de la canthaxanthine dans l'aliment en farine, l'aliment aggloméré et l'aliment aggloméré stocké pendant 2 mois sont rapportés dans le tableau 1.

On constate tout d'abord que le taux de canthaxanthine de la farine varie de 240 à 310 $\mu\text{g/g}$. Ces taux sont, en moyenne, supérieurs aux taux théoriques 26 p. 100 et 20 p. 100 respectivement pour les préparations de canthaxanthine « CAROPHYLL rouge » et « Canthaxanthine 10 p. 100 hydrosoluble ».

a. — *Influence de l'agglomération*

À la sortie de la presse, la température des granulés oscille entre 42 et 43 °C. La teneur en canthaxanthine accuse un fléchissement général (sauf pour un échantillon) après la granulation. Pour la préparation « CAROPHYLL rouge » cette perte d'environ 20 p. 100 est significative, de même que la perte notée pour la préparation « Canthaxanthine 10 p. 100 hydrosoluble », bien qu'inférieure (de l'ordre de 15 p. 100).

Cependant, le calcul statistique, établi en comparant les moyennes, ne fait pas apparaître de différence significative entre la stabilité vis-à-vis de l'influence de la presse des formes « CAROPHYLL rouge » et « Canthaxanthine 10 p. 100 hydrosoluble ».

b. — *Influence du stockage*

Les teneurs en canthaxanthine des aliments agglomérés conservés en sac papier pendant deux mois, à température ambiante, diminuent significativement

TABLEAU I

Concentration en canthaxanthine, rapportée à la matière sèche, des concentrats, de l'aliment avant et après granulation et de l'aliment stocké pendant deux mois

Canthaxanthin concentration (relative to dry matter) of feed concentrate, feed before and after pelleting and two months old pellets

N° de fabrication <i>Lot number</i>	Fournisseur <i>Supplier</i>	N° de l'aliment <i>Feed number</i>	Concentrat <i>Concentrate</i> (p. 100)	Aliment avant granulation <i>Meal</i> ($\mu\text{g/g}$)	Aliment après granulation <i>Pellet</i> ($\mu\text{g/g}$)	Aliment stocké pendant 2 mois <i>2 month old pellets</i> ($\mu\text{g/g}$)
CAROPHYLL rouge (<i>Carophyll Red</i>)						
3129	A	1	9,9	249	218	142
	J	2	11,0	282	289	170
	C	3	10,5	276	198	205
2741	A	4	10,5	264	242	165
	I	5	10,3	262	221	201
	J	6	10,9	324	223	211
3105	C	7	10,6	240	173	171
	J	8	10,7	318	267	218
2600	E	9	10,6	234	216	173
1609	G	10	9,5	306	212	176
997	H	11	9,7	317	212	180
Inconnu <i>Unknown</i>	D	12	10,2	240	188	154
Inconnu. <i>Unknown</i>	F	13	10,8	299	216	178
Moyenne (<i>Mean</i>)			10,5 ± 0,5	277 ± 32	221 ± 32	180 ± 22
Canthaxanthine 10 p. 100 hydrosoluble (<i>10 p. 100 hydrosoluble canthaxanthin</i>)						
398449	A	14	10,2	253	215	183
	B	15	10,7	258	251	187
	J	16	9,1	268	204	177
397742	A	17	9,7	248	233	193
393029	B . .	18	10,5	296	229	208
Moyenne (<i>Mean</i>)			10,0 ± 0,6	264 ± 19	226 ± 18	190 ± 12

de façon semblable pour les deux préparations. Cette perte atteint 18 p. 100 pour la préparation « CAROPHYLL rouge » et 16 p. 100 pour la préparation « Canthaxanthine 10 p. 100 hydrosoluble ».

Aucune différence significative n'apparaît entre les pertes observées au cours du stockage pour les deux modes de préparation.

3. — Pigmentation des truites

a. — Appréciation visuelle

Dans la présente expérience, toutes les préparations de canthaxanthine modifient la couleur du muscle des truites en déplaçant la teinte vers l'orangé.

TABLEAU 2

Concentration en canthaxanthine du muscle des truites et du poisson entier
Rapport quantité de canthaxanthine fixée par le poisson/quantité de canthaxanthine ingérée

Canthaxanthin concentration in trouts and trout muscle
Ratio of canthaxanthin fixed to canthaxanthin ingested by the fish

Lot de poisson correspondant aux échantillons de canthaxanthine <i>Fish group corresponding to canthaxanthin samples (Table 1)</i>	Concentration en canthaxanthine du muscle ($\mu\text{g/g}$ poids sec) <i>Muscle canthaxanthin concentration ($\mu\text{g/g}$ dry matter)</i>	Concentration en canthaxanthine du poisson entier ($\mu\text{g/g}$ poids sec) <i>Whole Fish canthaxanthin concentration ($\mu\text{g/g}$ dry matter)</i>	Rapport Quantité fixée/Quantité ingérée <i>Fixed Quantities/Ingested Quantities ratio</i>
CAROPHYLL rouge (<i>Carophyll Red</i>)			
1	31,99	0,86	0,65
2	57,00	1,83	1,07
3	27,23	1,16	0,92
4	50,24	1,99	1,28
5	47,79	1,59	1,23
6	51,53	1,56	1,13
7	27,09	0,99	0,93
8	40,42	1,36	0,82
9	15,86	0,76	0,64
10	13,21	0,69	0,49
11	31,34	0,83	0,63
12	33,09	1,24	1,07
13	50,75	1,63	1,21
Moyenne (<i>Mean</i>) . . .	36,73 \pm 14,08	1,27 \pm 0,43	0,93 0,26
Canthaxanthine 10 p. 100 hydrosoluble (<i>10 p. 100 hydrosoluble canthaxanthin</i>)			
14	36,67	1,23	0,86
15	39,02	1,39	0,85
16	28,75	1,73	1,23
17	20,88	0,63	0,41
18	23,63	0,72	0,53
Moyenne (<i>Mean</i>) . . .	30,99 \pm 7,17	1,14 \pm 0,46	0,77 \pm 0,32

On peut noter une saturation supérieure de la teinte du muscle des truites recevant les préparations de canthaxanthine « CAROPHYLL rouge » et une saturation moindre pour celles recevant les préparations « Canthaxanthine 10 p. 100 hydrosoluble ». Cette différence, toutefois, ne peut être quantifiée.

b. — *Appréciation chimique*

Les concentrations en canthaxanthine du muscle et des truites entières sont rapportées dans le tableau 2.

On note que le caractère essentiel des résultats obtenus est un coefficient de variations toujours très élevé.

Les moyennes des concentrations en canthaxanthine du muscle sont de 37 $\mu\text{g/g}$ en moyenne pour les truites recevant la préparation « CAROPHYLL rouge » et de 31 $\mu\text{g/g}$ en moyenne pour celles recevant la préparation « Canthaxanthine 10 p. 100 hydrosoluble »; ces concentrations varient de 1 à 4 pour les truites recevant la préparation « CAROPHYLL rouge » (13,2 à 57 $\mu\text{g/g}$) et de 1 à 2 pour les truites recevant la préparation « Canthaxanthine 10 p. 100 hydrosoluble » (20,88 à 39,02 $\mu\text{g/g}$).

Aucune différence significative n'est à mentionner entre les concentrations en pigments de 1,27 $\mu\text{g/g}$ (0,69 à 1,99 $\mu\text{g/g}$) pour les truites recevant les préparations « CAROPHYLL rouge » et de 1,14 $\mu\text{g/g}$ (0,63 à 1,73 $\mu\text{g/g}$) pour celles recevant les préparations « Canthaxanthine 10 p. 100 hydrosoluble ». Ces valeurs moyennes ne diffèrent pas significativement entre elles.

Chez les poissons recevant les préparations « CAROPHYLL rouge » on remarque une forte corrélation entre la teneur en canthaxanthine du muscle et celle du poisson tout entier. On ne retrouve pas semblable liaison chez l'animal recevant les préparations « Canthaxanthine 10 p. 100 hydrosoluble ».

c. — *Rapports canthaxanthine fixée/canthaxanthine ingérée* (tabl. 2)

Afin de calculer le rapport canthaxanthine fixée/canthaxanthine ingérée nous avons considéré les concentrations en canthaxanthine trouvées dans les granulés juste après granulation. Le rapport canthaxanthine fixée/canthaxanthine ingérée est en moyenne égal à 0,93 pour les préparations « CAROPHYLL rouge » et 0,77 pour les préparations « Canthaxanthine 10 p. 100 hydrosoluble ». Il ne ressort aucune différence significative entre ces deux types de préparation. Pourtant on note également une certaine dispersion des résultats : 1 à 3 tant pour les préparations « CAROPHYLL rouge » (0,49-1,28) que pour les préparations « Canthaxanthine 10 p. 100 hydrosoluble » (0,41 à 1,23).

4. — *Utilisation digestive apparente de la canthaxanthine*

Les coefficients d'utilisation digestive apparente (C.U.D.) de la canthaxanthine sont rapportés dans le tableau 3. On remarque une très grande dispersion des résultats. Ceux-ci peuvent varier de 1 à 10 (4,8 à 49,4 p. 100) pour les préparations « CAROPHYLL rouge » et de 1 à 2 (20,9 à 43,2 p. 100) pour les préparations « Canthaxanthine 10 p. 100 hydrosoluble ».

Aucun effet significatif de la préparation ne peut être mis en évidence sur l'utilisation digestive de la canthaxanthine par la truite bien que les valeurs moyennes soient supérieures pour les préparations « Canthaxanthine 10 p. 100 hydrosoluble » à celle des préparations « CAROPHYLL rouge ».

TABLEAU 3

Coefficient d'utilisation digestive apparente de la canthaxanthine. Rapport quantité de canthaxanthine fixée par le poisson / quantité de canthaxanthine absorbée

Apparent digestibility coefficient of canthaxanthin. Ratio of canthaxanthin fixed to canthaxanthin absorbed by the fish

Lot de poisson correspondant aux échantillons de canthaxanthine <i>Fish group corresponding to canthaxanthin samples (Table 1)</i>	Coefficient d'utilisation digestive apparente de la canthaxanthine <i>Apparent digestibility coefficient of canthaxanthin (p. 100)</i>	Rapport Quantité de canthaxanthine fixée par le poisson / Quantité de canthaxanthine absorbée <i>Fixed canthaxanthin / Absorbed canthaxanthin ratio</i>
<i>CAROPHYLL rouge (Carophyll Red)</i>		
1	7,8	8,31
2	41,4	2,58
3	4,8	19,19
4	34,1	3,75
5	27,2	4,50
6	14,6	7,73
7	14,5	6,33
8	49,4	1,66
9	19,3	3,29
10	8,6	5,75
11	6,6	9,47
12	11,1	9,65
13	7,7	15,75
Moyenne (<i>Mean</i>)	19 ± 14	7,53 ± 5,14
<i>Canthaxanthine 10 p. 100 hydrosoluble (10 p. 100 hydrosoluble canthaxanthin)</i>		
14	43,2	1,99
15	20,9	4,08
16	38,6	3,20
17	23	1,76
18	24,4	2,16
Moyenne (<i>Mean</i>)	30 ± 10	2,63 ± 0,97

Le coefficient d'utilisation digestive a permis de calculer ce qui a été réellement absorbé par la truite (tabl. 3). Le rapport canthaxanthine fixée/canthaxanthine absorbée est faible : les valeurs moyennes sont égales à 7,53 pour les préparations « CAROPHYLL rouge » et de 2,63 pour les préparations « Canthaxanthine 10 p. 100 hydrosoluble ». Les dispersions sont quant à elles de 1 à 10 pour les préparations de « CAROPHYLL rouge » (1,66 à 19,19) et de 1 à 2 pour les préparations « Canthaxanthine 10 p. 100 hydrosoluble » (1,76 à 4,08).

Discussion

La stabilité de la canthaxanthine, comme celle de tous les caroténoïdes, est faible, ce qui implique des précautions à prendre vis-à-vis, notamment, de son oxydation. Pour cette raison, la protection dans les concentrats est réalisée soit par enrobage du pigment par de la gélatine (présentation « CAROPHYLL rouge ») soit par microdispersion dans un support glucidique (présentation Canthaxanthine 10 p. 100 hydrosoluble). Ce mode de protection semble efficace car les valeurs moyennes dont nous disposons suffisent à montrer une concordance entre le taux de canthaxanthine annoncé par le fabricant et le taux de canthaxanthine réellement trouvé dans les concentrats détenus par les fabricants d'aliments, sans précaution particulière. BUNNEL et BORENSTEIN (1967) rapportent également une bonne stabilité de la préparation « Canthaxanthine 10 p. 100 hydrosoluble » et évaluent les pertes en canthaxanthine des concentrats à 0,5 p. 100 par mois.

Dans cette expérience, les deux modes de présentation de la canthaxanthine se sont comportés de façon équivalente vis-à-vis du processus de granulation. On sait que deux facteurs, au moins, interviennent au cours de pressage : une élévation thermique et une forte pression qui entraîne une abrasion lors du passage de l'aliment à travers la filière (WORNICK, 1960).

L'effet thermique ne peut expliquer, à lui seul, les pertes notées car la température des granulés au sortir de la presse n'est que de 42-43 °C, températures auxquelles la canthaxanthine est stable (BORENSTEIN et BUNNEL, 1966; BAUERNFEIND, 1975; EMODI, SCIALPI et ANTOSHKIW, 1976).

L'abrasion, davantage que la pression, serait responsable des pertes enregistrées. En effet, dans le cas de la vitamine A, également présentée sous forme enrobée, l'agglomération exerce davantage un rôle de fragilisation de l'enrobage par laminage des particules contre la filière plutôt qu'un effet de destruction proprement dit (VALDEBOUZE, LEVY et LEVASSEUR, 1962; VALDEBOUZE et LEVY, 1972). Ainsi, les détériorations subies par les granulés hâteraient la destruction de la canthaxanthine par suite de la considérable surface ainsi exposée à l'air. Ceci expliquerait la dégradation également notée au cours du stockage.

La quantité de pigments caroténoïdes fixée par la truite arc-en-ciel dépend de la quantité de pigments réellement absorbée. Celle-ci ne peut s'évaluer qu'en connaissant le coefficient d'utilisation digestive des caroténoïdes.

D'un point de vue qualitatif, aucune différence de forme dans les spectres d'absorption de la canthaxanthine, quelle que soit la préparation, n'a été observée entre la canthaxanthine ingérée et la canthaxanthine excrétée. Il semble, donc, qu'il n'y ait pas d'isomérisation de la canthaxanthine dans le tube digestif. Il faut, toutefois, rester prudent car, pour le β -carotène, Mc GILLVRAY (1951) n'a pas constaté non plus d'isomérisation chez le mouton alors que ALMENDINGER et HINDS (1969) en ont observé chez le bœuf.

Quantitativement, une dégradation des caroténoïdes se produit au cours du transit digestif (BOOTH, 1956, 1957). Si la canthaxanthine ne peut être détruite dans l'estomac, car au pH de 3,1 (SCHÄPERCLAUS, 1962), elle est encore stable (BORENSTEIN et BUNNEL, 1966), elle serait dégradée dans l'intestin à pH 8 (BERNARD, 1952) ou FRANÇOIS et L'HUISSIER (1970) n'excluent pas une destruction par la flore bactérienne, d'ailleurs rapportée, chez la truite arc-en-ciel, par TRUST et SPARROW (1974). Dès lors les digestibilités observées ne sont en fait que des digestibilités apparentes car la digestibilité d'un nutriment, s'obtenant par différence

entre la quantité de ce nutriment ingéré et la quantité trouvée dans les fèces, ne tient pas compte de sa labilité.

Nos résultats font apparaître, en moyenne, une faible digestibilité de la canthaxanthine. Ils montrent, de plus, une forte variabilité entre les échantillons pour un même lot de fabrication de canthaxanthine.

Les valeurs de la digestibilité de la canthaxanthine chez la truite arc-en-ciel ne peuvent être confrontées à d'autres résultats, les données sur ce sujet étant inexistantes dans la bibliographie sur le poisson. Nous ne pouvons donc que rapprocher nos résultats de ceux obtenus chez d'autres animaux pour un pigment caroténoïde différent : le β -carotène. Chez les mammifères, on sait que le β -carotène ingéré est incomplètement absorbé (BOOTH, 1956); l'utilisation digestive de ce pigment reste toutefois plus élevée que celle que nous avons notée pour la canthaxanthine; elle est de 30 p. 100 chez le rat (BOOTH, 1957) 40 p. 100 chez la chèvre (OWEN, DARROCH et PROUDFOOT, 1959) 40 p. 100 à 60 p. 100 chez la vache laitière (CHANDA *et al.*, 1951). Il est important de remarquer que les pigments n'ont pas le même comportement digestif selon l'espèce animale.

Il est permis de faire des réserves sur la valeur des prélèvements de fèces effectuées par pression abdominale. En effet, si cette méthode est classiquement utilisée (SINGH et NOSE, 1967). L'apparente fluctuation journalière de la composition des fèces (POSSOMPES, 1973) d'une part et la possibilité d'absorption des nutriments au niveau du rectum (SMITH et LOVELL, 1971; AUSTRENG, 1978) d'autre part impliquent qu'une telle technique appliquée à un moment précis ne peut donner d'échantillonnage représentatif de la composition des fèces. Le problème est de savoir si les digestibilités mesurées à partir d'échantillons prélevés par pression abdominale conservent une signification biologique. C'est pourquoi l'élaboration d'une technique de prélèvements représentatifs de fèces de truites (CHOUBERT, De la NOÛE et LUQUET, 1979) permettra de préciser les résultats de ces mesures.

Au terme de cette expérience, toutes les truites étaient pigmentées, la différenciation, soit visuelle, soit chimique, des effets des différents lots de canthaxanthine restant impossible. En effet, si l'examen visuel des muscles de truites est aisé, il ne permet pas de définir quantitativement avec précision la valeur colorante de chacune des préparations utilisées. En jugeant une coloration l'œil intègre un grand nombre de données diverses dont les plus importantes sont la couleur du muscle ainsi que sa répartition sur la surface (FERRANDO et MAINGUY, 1970). De plus, il ne peut être question de rattacher trop étroitement les différences de coloration observées aux dosages chimiques de la canthaxanthine. On sait en effet que l'addition d'un agent de pigmentation à la ration alimentaire peut renforcer l'impression visuelle de couleur ou la concentration du pigment dans les produits d'origine animale. Il est important de remarquer que l'un de ces effets n'implique pas nécessairement l'autre (BAUERNFEIND *et al.*, 1971; BRUBACHER, 1972).

L'examen chimique dans le muscle et le poisson entier a donné des résultats très hétérogènes quel que soit le tissu analysé. Ils sont, toutefois, comparables à ceux rapportés par d'autres auteurs (DEUFEL, 1965; SAVOLAINEN et GYLLENBERG, 1970; LAMBERTSEN et BRAEKKAN, 1971; SAITO et REGIER, 1971; AUGER, 1973; UGLETVEIT, 1974; ABDUL-MALAK, 1975; ABDUL-MALAK *et al.*, 1975).

Les résultats très différents observés en particulier en pisciculture ne peuvent être dus à la variabilité des concentrats de canthaxanthine tels qu'ils sont incorporés dans les aliments agglomérés. Les difficultés rencontrées à cet égard dans la production de truites pigmentées proviennent de la multiplicité des paramètres, mal contrôlés, qui agissent sur la pigmentation des truites, paramètres relatifs

à la nature du pigment caroténoïde, à la composition de l'aliment, au poisson ou au milieu écologique (CHUBERT, 1977).

Accepté pour publication en mars 1979.

Remerciements

Nous remercions les Établissements HOFFMANN-LA ROCHE ainsi que les différents fabricants d'aliments du marché français pour la fourniture d'échantillons de canthaxanthine.

Summary

Canthaxanthin content of feed concentrates as affected by pelleting and storage processes: consequences on digestibility and pigmentation of the Rainbow trout

In order to determine one of the reasons for pigmentation variability in hatchery trout, canthaxanthin losses in 13 samples of « CAROPHYLL red » and 5 samples of « 10 p. 100 hydrosoluble Canthaxanthin » were examined during the preservation of the feed concentrates (in beadlets) and also during the pelleting and storage processes of the feeds. The consequences of this degradation on digestibility and on pigmentation of rainbow trout were studied.

The protection of canthaxanthin in beadlets is efficient and the various batches were homogeneous; the contents of pure product were steady and corresponded to the theoretical values (10.5 ± 0.5 ppm).

Though the temperature of the pellets, when they came out of the press was moderate (43 °C), the pelleting process led to a large loss of pigments (table 1). This decrease was significant and equal to 20 and 15 p. 100 respectively in « CAROPHYLL red » and « 10 p. 100 hydrosoluble Canthaxanthin ».

During storage of the pellets for 2 months under ambient winter temperature, and before use, a further significant loss of about 17 p. 100 was recorded, whatever the type of beadlets.

In vivo test showed a low apparent digestibility of canthaxanthin (20 p. 100) (table 3). These low values may be explained, at least partially, by the method used for faeces collecting.

Though the « fixed canthaxanthin/ingested canthaxanthin » ratio (table 2) was near 1 p. 100, the trout flesh was strongly colored, irrespective of the canthaxanthin preparation used.

Références bibliographiques

- ABDUL-MALAK N., 1975. Influence de certains facteurs nutritionnels et écologiques sur le métabolisme d'un pigment caroténoïde : la canthaxanthine, chez la truite (*Salmo gairdnerii* R.). *Thèse Doctorat 3^e cycle*, Lyon, 106 p.
- ABDUL-MALAK N., ZWINGELSTEIN G., JOUANNETEAU J., KOENIG J., 1975. Influence de certains facteurs nutritionnels sur la pigmentation de la truite arc-en-ciel par la canthaxanthine. *Ann. Nutr. Alim.*, **29**, 459-475.
- ALMENDINGER R., HINDS F. C., 1969. Apparent carotenoid increases in the digestive tract of beef cattle. *J. Nutr.*, **97**, 13-18.
- AUGER G., 1973. La canthaxanthine : son influence sur la coloration de la chair des truites. *Thèse Doct. Vété.*, Paris, 112 p.
- AUSTRENG E., 1978. Digestibility determination in fish using chromic oxide marking and analysis of contents from different segments of the gastrointestinal tract. *Aquaculture*, **13**, 265-272.
- BAUERNEFEIND J. C., 1975. Carotenoids as food colors. *Food technol.*, **29** (5), 48-49.

- BAUERNEFEIND C., BRUBACHER G. B., KLÄUI H. M., MARUSICH W. L., 1971. Use of carotenoids in: Isler O., *Carotenoids*, 743-770. Birkhäuser Verlag, Basel.
- BERNARD F., 1952. La digestion chez les poissons. *Trav. Lab. Hydrobiol. Piscic. Univ.*, Grenoble, **44**, 61-95.
- BESSE P., 1951. La saumonisation artificielle des salmonidés, truites et saumons de fontaine. *C.R. Acad. Sci.*, **233**, 637-639.
- BIRD F. H., 1953. The problem of pigmentation in broilers. *Poull. Dig.*, **12**, 96-101.
- BOLIN D. W., KING R. P., KLOSTERMAN E. W., 1952. A simplified method for the determination of chromic oxide (Cr_2O_3) when used as an index substance. *Science*, **116** (2), 634-635.
- BOOTH V. H., 1956. Disappearance of carotene from the alimentary tract of vitamin A deficient rats. *Brit. J. Nutr.*, **10**, 241-250.
- BOOTH V. H., 1957. Effect of sex on the disappearance of carotene from the alimentary tracts of rats. *Brit. J. Nutr.*, **11**, 148-152.
- BORENSTEIN B., BUNNEL R. H., 1966. Carotenoids: properties, occurrence and utilization in foods. *Adv. Food Res.*, **15**, 195-276.
- BRUBACHER G. B., 1972. L'importance des caroténoïdes en alimentation animale. *Doc. Roche*, **1316**, 31 p.
- BUNNEL R. H., BORENSTEIN B., 1967. Canthaxanthin, a potential new food color. *Food Technol.*, **21**, 331-334.
- CHANDA R., CLAPHAM H. M., MC NAUGHT M. L., OWEN E. C., 1951. The use of chromium sesquioxide to measure the digestibility of carotene by goats and cows. *J. Agric. Sci.*, **41**, 179-186.
- CHOUBERT G. (JR), 1977. Caroténoïdes fixés par la truite arc-en-ciel en croissance. *Thèse Doctorat*, 3^e cycle, Paris, 47 p.
- CHOUBERT G. (JR), de la NOÛE J., LUQUET P., 1979. Continuous quantitative automatic collector for fish feces. *Prog. Fish Cult.* **41** (2), 64-67.
- CHOUBERT G. (JR), LUQUET P., 1975. Nature des caroténoïdes fixés au niveau de la peau et du muscle de la truite arc-en-ciel ayant ingéré de l'huile rouge de Capelan. *Ann. Hydrobiol.*, **6** (2), 123-130.
- DEUFEL J., 1965. Pigmentierungsversuche mit Canthaxanthin bei Regenbogenforellen. *Arch. Fischwiss.*, **16**, 125-132.
- EDIN H., 1918. Orienterande försök över användbarheten av en pa led-kroppsprincipen grundad metod att bestämma en foderblandings smältbarhed.
- EMODI A., SCIALPI L., ANTOSHIKIW T., 1976. Water dispersible optically clear carotenoid colors. *Food Technol.*, **30**, 58-60.
- FERRANDO R., MAINGUY P., 1970. La couleur du poulet de chair, compte rendu d'expérimentation. *Doc. Roche*, **1277**, 33 p.
- FRANÇOIS A. C., LHUISSIER M., 1970. L'adjonction de vitamines aux aliments de l'homme et des animaux. *Ann. Nutr. Alimen.*, **24**, 477-551.
- GOODWIN T. W., 1952. *The comparative biochemistry of the carotenoids*, 356 p., Chapman and Hall, London.
- HATA M., HATA M., 1973. Studies on astaxanthin formation in some fresh-water fishes. *Tolhoku J. Agric. Res.*, **24** (4), 192-196.
- ISLER O., OFNER A., SEMERS G. F., 1958. Industrial syntheses of carotenoids for use as food colors. *Food Technol.*, **12**, 520-526.
- KUHN R., SORENSEN N. A., 1958. Über Astaxanthin und Ovoverdin. *Ber. Dt Chem. Ges.*, **71**, 1879-1888.
- LEDERER E., 1935. *Les caroténoïdes des animaux*. Hermann et Cie, ed. Paris. Actualités Scientifiques et industrielles, **137**, 60 p.
- LAMBERTSEN G., BRAEKKAN O. R., 1971. Method of analysis of cathaxanthin and its occurrence in some marine products. *J. Sci. Fd. Agric.*, **22**, 99-101.
- MCGILLIVRAY W. A., 1951. The apparent intestinal synthesis of carotene by sheeps. *Brit. J. Nutr.*, **5**, 223-228.
- MAINGUY P., ROUQUES A., 1965. Le jaune de l'œuf. I. Étude générale de sa couleur. *Bull. Soc. Scient. Hyg. aliment.*, **53** (4-5-6), 83-116.
- OSADCA M., ARAUJO M., de RITTER E., 1972. Determination of canthaxanthin in concentrates and feeds. *J. Ass. off. Analyt. Chem.*, **55**, 110-113.
- OWEN E. C., DARROCH R. A., PROUDFOOT R., 1959. Studies of the rate of passage and disappearance in the intestine of the goat of carotene dissolved in fat and mixed with chromium sesquioxide. *Brit. J. Nutr.*, **13**, 26-37.

- PETERSON D. H., JÄGER H. K., SAVAGE G. M., WASHBURN G. N., WESTERS H., 1966. Natural coloration of trout using xanthophylls. *Trans. Am. Fish Soc.*, **95**, 408-414.
- POSSOMPES B. P., 1973. Influence de la température sur les besoins en protéines, le transit alimentaire et la digestibilité chez la truite arc-en-ciel, *Salmo gairdnerii* Rich. *Thèse Doctorat 3^e cycle*, Paris, 58 p.
- SAITO A., REGIER L. W., 1971. Pigmentation of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) by feeding dried crustacean waste. *J. Fish. Res. Bd Can.*, **28** (4), 509-512.
- SAVOLAINEN J. E. T., GYLLENBERG H. G., 1970. Feeding of rainbow trouts with *Rhodotorula sannëii* preparations. III. Amounts and qualities of carotenoids. *Lebensm. — Wiss. u. Technol.*, **3**, 18-20.
- SCHÄPERCLAUS W., 1962. *Traité de pisciculture en étang*, 620 p., Vigot Frères éd. Paris.
- SHNAREVICH I. D., SAKINENKO E. G., 1971. Dynamics of carotenoids in tissues and organs of fish relative to the sexual cycle (en russe). *Gidrobiol. Zh.*, **7** (6), 90-93.
- SINGH R. P., NOSE T., 1967. Digestibility of carbohydrates in young rainbow trout. *Bull. Freshwater Fish Res. Lab.*, **17** (1), 21-25.
- SLINGER S. J., RAZZAQUE A., CHO C. Y., 1978. Effect of feed processing and leaching on the losses of certain vitamins in fish diets. EIFAC /78 /SYMP.E /70, 18 p.
- SMITH B. W., LOVELL R. T., 1971. Digestibility of nutrients in semi-purified rations by channel catfish in stainless steel troughs. *Proc. Annu. Conf. Southeast. Asso. Game Fish. Comm.*, **25**, 452-459.
- STEVEN D. M., 1948. Studies on animal carotenoids: I. Carotenoids of the brown trout (*Salmo trutta* Linn). *J. Exp. Biol.*, **25**, 369-387.
- STEVEN D. M., 1949. Studies on animal carotenoids. II. Carotenoids in the reproductive cycle of the brown trout. *J. Exp. Biol.*, **26**, 295-303.
- SUMNER F. B., FOX D. L., 1933. A study of variations in the amount of yellow pigment (xanthophyll) in certain fishes and the possible effects upon this of colored backgrounds. *J. Exp. Zool.*, **66** (2), 263-301.
- TRUST T. J., SPARROW R. A. H., 1974. The bacterial flora in the alimentary tract of freshwater salmonid fishes. *Can. J. Microbiol.*, **20**, 1219-1228.
- UGLETVEIT S., 1974. Pigmentering av lakse-og ørretkjøtt. *Fisken Hav. ser. B.*, **9**, 31-60.
- VALDEBOUZE P., LEVY B. R., 1972. Influence de l'agglomération et du stockage des aliments composés sur leur teneur en vitamine A. *Ind. Alim. Anim.*, **2**, 49-54.
- VALDEBOUZE P., LEVY B. R., LEVASSEUR L., 1962. La stabilité de la vitamine A dans les produits destinés à l'alimentation des animaux. *Ind. Alim. Anim.*, **134**, 71-77.
- WORNICK R. C., 1960. L'agglomération des aliments composés et ses effets sur les substances auxiliaires. *Ind. Alim. Anim.*, **105**, 31-48.
- YVORE P., MAINGUY P., 1972. Incidence des coccidioses sur le métabolisme des caroténoïdes. Essai d'interprétation pathogénique. *Doc. Roche*, 1302, 50 p.