

**DÉTERMINATION SIMULTANÉE ET *IN VIVO*
DES INTENSITÉS DE DÉPÔT ET DE MOBILISATION
DES ACIDES GRAS DU TISSU ADIPEUX
DE LA POULE PONDEUSE.
INFLUENCE DU RATIONNEMENT**

B. LECLERCQ

avec la collaboration technique de Marie-Rose SALICHON

*Station de Recherches avicoles,
Centre de Recherches de Tours, I. N. R. A.,
Nouzilly, 37380 Monnaie*

RÉSUMÉ

Le dépôt et la mobilisation des acides gras au niveau du tissu adipeux de la poule pondeuse sont évalués par la mesure de la décroissance de la radioactivité des acides gras des réserves et par l'estimation de l'état des réserves corporelles en début et en fin d'expérience. On trouve que plus de 80 p. 100 du gain de poids vif de la Poule en ponte est constitué de lipides. Un léger rationnement ne change pas les performances de ponte. Il ne modifie pas la vitesse de lipolyse (environ 1,5 g par jour) mais réduit notablement celle du dépôt (1,660 contre 2,952 g par jour).

INTRODUCTION

Lors de deux études précédentes nous avons estimé la quantité d'acides gras déposés (LECLERCQ, 1972) et mobilisés (LECLERCQ, 1973) chaque jour au niveau du tissu adipeux de la poule pondeuse. Nous nous proposons d'entreprendre une étude simultanée de ces deux phénomènes chez un même animal. Il serait alors possible de faire le bilan entre le dépôt et la mobilisation et d'étudier l'incidence sur ce bilan de certains facteurs tel que le rationnement. C'est l'objet du présent travail.

MATÉRIEL, ET MÉTHODES

I. — Principe et modèle expérimental

Le tissu adipeux de poules pondeuses est marqué par l'ingestion d'un acide gras renfermant du carbone 14. Par la suite chez ces animaux la seule source de radio-isotope est constituée par le tissu adipeux. Le dépôt d'acides gras au niveau de ce tissu est estimé par la décroissance de l'activité spécifique de ses lipides. En effet les acides gras qui y sont déposés sont peu radioactifs. Ils proviennent en majeure partie de l'aliment ; une faible fraction marquée, correspond au retour vers le tissu adipeux d'acides gras mobilisés et non utilisés par l'animal.

La mobilisation, elle, ne contribue pas à modifier l'activité spécifique des lipides du tissu adipeux. On peut admettre, en effet, qu'elle porte indistinctement sur tous les acides gras : radioactifs ou non, mis en réserve récemment ou précocement.

Le modèle retenu ici repose sur l'hypothèse selon laquelle les quantités d'acides gras déposés ou mobilisés chaque jour sont constantes tout au long de l'essai. En fait cette hypothèse a beaucoup plus de chances d'être vérifiée sur de courtes périodes. Cependant l'estimation de la taille du pool d'acides gras du tissu adipeux obtenue par abattages successifs est d'autant plus précise que la durée de l'expérience est longue. Il faut donc trouver un compromis entre ces deux contraintes. En pratique nous ne retenons dans l'essai que les animaux ayant présenté une très grande régularité dans leur ponte et leur consommation d'aliment. L'expression mathématique du modèle est la suivante :

- si R = quantité totale d'acides gras dans le tissu adipeux
- A = radioactivité totale des acides gras du tissu adipeux
- d = quantité d'acides gras déposés par unité de temps
- m = quantité d'acides gras mobilisés par unité de temps
- as = activité spécifique des acides gras du tissu adipeux
- r = rapport de l'activité spécifique des acides gras circulant sur celle des acides gras du tissu adipeux.

— pendant un espace de temps Δt la variation d'activité spécifique s'exprime selon la formule :

$$\Delta as = \frac{A - \frac{A}{R} m \cdot \Delta t + \frac{A}{R} r \cdot d \cdot \Delta t}{R + d \cdot \Delta t - m \cdot \Delta t} - \frac{A}{R}$$

Pour des espaces de temps très petits :

$$R + d \cdot \Delta t - m \cdot \Delta t \neq R$$

La formule se simplifie en :

$$\Delta as = - as \frac{(1 - r) \cdot d}{R} \times \Delta t$$

— pour un intervalle de temps infiniment petit :

$$das = - as \frac{(1 - r) \cdot d}{R} \cdot dt$$

or $R = R_0 + (d - m) t$ où R_0 est l'état des réserves au début de l'expérience ($t = 0$)

$$das = - as \frac{(1 - r) \cdot d}{R_0 + (d - m) t} \cdot dt$$

$$\frac{das}{as} = - \frac{(1 - r) \cdot d}{R_0 + (d - m) t} \cdot dt$$

L'intégration de cette équation et l'application des conditions expérimentales (si $t = a$ $R = R_0$; si $t = t_1$, $R = R_1$) conduit à l'expression :

$$d = \frac{R_1 - R_0}{t_1 (1 - r)} \frac{\log \frac{as_0}{as_1}}{\log \frac{R_1}{R_0}}$$

L'expérience consiste donc à mesurer l'activité spécifique en début et en fin d'expérience et l'état des réserves en début et en fin d'expérience.

Des biopsies permettent une mesure précise des activités spécifiques. R_1 est déterminée exactement après sacrifice des animaux. L'opération la plus délicate réside dans la mesure de R_0 . Nous avons tenté l'estimation des réserves lipidiques corporelles par l'eau tritiée ; la précision de cette méthode s'est révélée insuffisante pour les besoins de l'essai. Nous avons eu alors recours à la méthode des abattages successifs. Un abattage en début d'expérience et un autre en fin d'expérience permettent d'estimer la composition moyenne du gain de poids, donc R_0 .

2. — Conduite de l'essai

Quatre vingt dix poules (M 519, Selif) sont choisies dans un troupeau de 120 animaux de façon à éliminer les sujets les plus légers et les plus lourds (coefficient de variation des 90 poules 7,2 p. 100). Quinze poules sont choisies dans ce lot pour leur poids vif très proche de la moyenne (coefficient de variation de 2,3 p. 100). Elles sont destinées à l'expérimentation avec les acides gras radioactifs, tandis que le reste du troupeau élevé dans les mêmes conditions sert de réserve en vue des abattages prévus par le protocole. Tous les animaux sont élevés en batterie. L'entrée en ponte débute à la 21^e semaine. Jusqu'à la 30^e semaine, c'est-à-dire pendant le pic de ponte, toutes les poules reçoivent à volonté l'aliment dont la composition est rapportée dans le tableau 1. L'expérience proprement dite se déroule entre la 30^e et la 42^e semaine.

TABLEAU I

Composition du régime (en p. 100)

Mais	22
Tourteau de soja (50 p. 100 MAT)	15
Gluten de maïs (60 p. 100 MAT)	10
Amidon de maïs	40
Huile d'arachide	1
Cellulose	2
DL-méthionine	0,05
Sel iodé	0,4
Carbonate de calcium	7,0
Phosphate bicalcique	2,0
Oligo-minéraux ⁽¹⁾	0,1
Mélange vitaminique ⁽²⁾	0,5

⁽¹⁾ Composition du mélange minéral (p. 100 kg d'aliment) : protoxyde de manganèse 7 g, oxyde de zinc 5 g, sulfate de fer 7 g, sulfate de cuivre 0,55 g, carbonate de cobalt 0,03 g, iodure de potassium 0,105 g, carbonate de calcium 80,5 g.

⁽²⁾ Composition du mélange vitaminique : vitamine A 800 000 UI, vitamine D₃ 100 000 UI, riboflavine 1 g, pantothénate de calcium 1 g, pyridoxine 0,5 g, acide nicotinique 2 g, choline 25 g, tocophérol 0,5 g, cyanocobalamine 10 mg, BHT 10 g.

Trois jours avant le début de l'expérience on marque les acides gras du tissu adipeux des 15 animaux expérimentaux par l'ingestion orale de 400 μ Ci d'acide palmitique $1-^{14}\text{C}$ (C. E. A., France). Après un délai de 3 jours, l'équilibre isotopique étant réalisé (LECLERCQ, 1973), le tissu adipeux (1 g environ) abdominal est prélevé par laparotomie. On procède également à un premier abattage de 10 poules non radioactives et choisies de façon que la moyenne de leurs poids vifs soit très proche du poids moyen du lot.

L'expérience commence à cette date. On constitue deux lots tant chez les 15 poules radioactives que chez les poules de réserve. L'un est nourri à volonté, l'autre reçoit chaque jour une quantité limitée d'aliment (95 p. 100 de la consommation à volonté).

Pendant l'expérience qui dure trois périodes de 4 semaines on enregistre pour chacune des périodes et pour chaque poule : le nombre d'œufs pondus, le poids moyen des œufs, la consommation d'aliment et le poids vif à jeûn. En fin d'expérience on sacrifie les animaux marqués par le carbone 14 et quelques animaux du troupeau de réserve de façon à constituer deux lots de 10 animaux présentant des poids vifs finaux et des gains de poids vif les plus proches possible.

3. — Analyse de laboratoire

Les mesures de radioactivité sont effectuées selon les méthodes décrites précédemment (LECLERCQ, 1973), l'analyse de carcasse selon un procédé qui a été rapporté antérieurement (LECLERCQ *et al.*, 1969). Toutefois des précautions particulières ont été prises en vue de réduire les erreurs de dosages. Les poules à jeûn sont sacrifiées par une injection intraveineuse de 2 ml d'une solution à 5 p. 100 de pentobarbital sodique. Elles sont immédiatement dépouillées de leurs plumes et placées 24 heures à $+ 4^{\circ}\text{C}$. On prélève alors la grappe ovarienne et éventuellement l'œuf en cours de formation. Le reste de la carcasse est alors broyé. Pour cela on procède à un premier broyage grossier dans un broyeur de charcuterie, puis à un broyage très fin dans un hachoir à viande. Le broyat est lyophilisé. L'eau est mesurée en additionnant les pertes de poids après lyophilisation et étuvage du lyophilisat. Les mesures de teneur en protéines et en cendres sont faites en double exemplaire ; celle des lipides en triple.

RÉSULTATS

Dans le tableau 2 nous rassemblons les principaux résultats zootechniques concernant les deux lots de poules pondeuses, en distinguant les animaux ayant reçu ou non de l'acide palmitique ^{14}C = poules marquées, poules non marquées.

TABLEAU 2

Performances zootechniques au cours de la période expérimentale
(3 périodes successives de 28 jours)

	Nombre d'animaux	Intensité de ponte (p. 100)	Poids moyen de l'œuf (g)	Consommation d'aliment (g)	Poids vif (g)	
					début	fin
Lot témoin						
Poules marquées	5	67,6	56,7	108,2	1 850	2 017
Poules non marquées . .	27	67,1	60,6	106,7	1 844	1 963
Lot rationné						
Poules marquées	7	67,9	56,3	103,3	1 814	1 834
Poules non marquées . .	29	67,6	58,5	103,3	1 884	1 888

On constate tout d'abord que les poules marquées présentent des performances voisines de celles qui ne le sont pas : même intensité de ponte, poids moyen de l'œuf légèrement plus faible. De plus le rationnement alimentaire ne modifie guère le niveau des performances de ponte, alors qu'il réduit nettement le gain de poids vif.

Les résultats d'analyse de la composition corporelle font l'objet du tableau 3.

TABLEAU 3

*Composition corporelle des poules pondeuses en début et en fin d'expérience
(animal sans plumes, ni grappe ovarienne)*

	Nombre d'animaux	Poids vif moyen (g)	Lipides totaux (g)	Protéines totales (g)	Cendres totales (g)	Eau totale (g)
Début expérience ..	10	1 880 (192) ⁽¹⁾	346,7 (121,5)	266,3 (31,6)	59,56 (12,03)	967,8 (111,3)
Fin expérience						
Lot témoin	10	2 091 ⁽²⁾ (69)	501,2 (91,4)	297,6 (32,3)	67,10 (13,61)	1 017,0 (68,7)
Lot rationné	11	1 880 ⁽²⁾ (125)	405,4 (104,6)	267,9 (21,7)	62,10 (13,85)	925,0 (20,9)

⁽¹⁾ Le chiffre entre parenthèses représente l'écart-type.

⁽²⁾ Au début de l'expérience le poids moyen de ces animaux était de 1 906 g pour le lot témoin et 1 842 g pour le lot rationné.

TABLEAU 4

*Activité spécifique des acides gras du tissu adipeux et du vitellus
et estimation de la quantité journalière d'acides gras déposés et mobilisés*

	Activité spécifique des acides gras du tissu adipeux (dpm/mg)		$r_1 = \frac{\text{as des acides gras vitellins}}{\text{as des acides gras de réserve}}$	$d = \text{dépôt journalier d'acides gras (g/jour)}$	$m = \text{acides gras mobilisés chaque jour (g/jour)}$
	début	expér. fin expér.			
Lot témoin	307,1	118,8	0,14	2,952 ⁽¹⁾ ± 0,716	1,575 ± 0,345
Lot rationné	153,6	94,1	0,24	1,660 ± 0,457	1,470 ± 0,408

⁽¹⁾ Moyenne et écart-type de la moyenne.

On remarque l'homogénéité des résultats particulièrement lors du deuxième abattage ; seuls les lipides ne sont guère concernés par cette homogénéité. De plus chez les animaux non rationnés c'est ce constituant qui est responsable de la majeure partie (80 p. 100) au gain de poids vif ; quant aux poules rationnées, elles conservent un même poids vif. Leur composition varie peu jusqu'à la fin de l'essai.

Enfin le tableau 4 renferme les résultats des mesures de radioactivité et les calculs effectués à partir de l'équation du modèle. Au lieu de l'activité spécifique des lipides circulants nous avons mesuré celle des lipides vitellins qui lui est très étroitement corrélée (LÉCLERCQ, 1973) et d'une réalisation plus aisée. Les animaux restreints se distinguent des autres par une décroissance plus lente de l'activité spécifique des acides gras des réserves et en fin d'expérience par un rapport d'activités spécifiques entre vitellus et tissu adipeux plus élevé. Les calculs conduisent à des valeurs très voisines pour la mobilisation des acides gras. Au contraire le dépôt est près de deux fois plus élevé chez les animaux nourris à volonté que chez les animaux rationnés.

DISCUSSION

Nos résultats peuvent être discutés en deux parties : d'une part ceux qui concernent l'évolution de la composition corporelle de la poule en ponte, d'autre part ceux relatifs au dépôt et à la mobilisation des acides gras du tissu adipeux.

1. — *Évolution de la composition corporelle*

Plus de 80 p. 100 du gain de poids vif serait constitué de graisses. En effet si on se base sur les valeurs moyennes et si on admet qu'à une variation nulle de poids vif correspond une variation nulle, elle aussi, des lipides corporels, les résultats du tableau 3 nous donnent pour le lot témoin :

$$\frac{\text{gain de lipides}}{\text{gain de poids vif}} = 501,2 - \frac{346,7 \times 1\ 906}{1\ 880 - 2\ 091 - 1\ 906} = 0,809$$

Il convient cependant d'estimer l'intervalle de confiance de cette composition du gain de poids. Pour le seuil de probabilité de 95 p. 100 les limites du gain de lipides sont de 72,1 g et 227,3 g. L'intervalle de confiance du rapport $\frac{\text{gain de lipides}}{\text{gain de poids vif}}$ peut être obtenu en première approximation en divisant l'intervalle de confiance du gain de lipides par le gain de poids vif moyen. En effet ce dernier est très homogène du fait du choix des animaux (coefficient de variation moyen de l'ordre de 5 p. 100), alors que les gains de lipides comme les teneurs en lipides se caractérisent par une grande variabilité (coefficient de variation voisin de 30 p. 100). Le calcul donne les limites de 39 p. 100 et 100 p. 100.

Si l'évolution des lipides corporels est la plus remarquable, les changements qui intéressent les protéines et l'eau sont également significatifs. Lors du premier abattage on obtient pour ces deux constituants la relation :

$$\begin{aligned} \text{protéines corporelles} &= 0,252 \text{ eau corporelle} + 22,48 \\ r &= + 0,888 \quad (n = 10) \end{aligned}$$

Lors du second abattage (3×28 jours plus tard) la relation devient :

$$\begin{aligned} \text{protéines corporelles} &= 0,259 \text{ eau corporelle} + 36,04 \\ r &= + 0,664 \quad (n = 10) \quad (\text{lot non rationné}) \end{aligned}$$

L'analyse de covariance montre que les deux coefficients 0,252 et 0,259 ne sont pas significativement différents ($F = 0,67$ pour 1 et 16 degrés de liberté) mais que les deux constantes 22,48 et 36,04 sont significativement différentes ($F = 4,45$ pour 1 et 17 degrés de liberté). Le rapport protéine/eau augmente significativement au cours de la période expérimentale ; ce phénomène signalé par DELPECH (1966) au cours de la croissance du poussin persiste au cours de la vie de la poule pondeuse adulte.

2. — Dépôt et mobilisation des acides gras du tissu adipeux

Les animaux restreints ont un gain de poids faible ou nul. Leurs réserves lipidiques demeurent constantes. On peut se demander si cela provient d'une réduction du dépôt de lipides dans le tissu adipeux ou si le jeûne partiel entraîne une mobilisation importante des réserves. Les résultats du tableau 4 suggèrent que c'est la première hypothèse qui doit être retenue. La poule qui ne reçoit que 95 p. 100 de sa consommation *ad libitum* ne réagit pas par une mobilisation accrue de ses réserves corporelles.

Cette conclusion est fondée sur l'hypothèse selon laquelle 80,9 p. 100 du gain de poids vif est constitué de lipides. En fait l'intervalle de confiance de ce gain va de 39 p. 100 à 100 p. 100. En appliquant ces deux hypothèses extrêmes on aboutit à des valeurs du dépôt et de la mobilisation un peu différentes. Si les lipides ne représentent que 39 p. 100 du gain de poids le dépôt (d) et la mobilisation (m) sont de 3,351 et 2,650 g/j chez les témoins et 1,572 et 1,482 g/j chez les animaux restreints. Cette hypothèse conduit à des résultats peu vraisemblables pour la mobilisation qui serait beaucoup plus faible chez un animal restreint que chez celui nourri à volonté.

Si, au contraire, on suppose que 100 p. 100 du gain de poids vif est constitué de lipides le dépôt et la mobilisation sont de 2,751 et 1,053 g/j chez les témoins et de 1,708 et 1,475 g/j chez les animaux restreints. Cette hypothèse aboutit à un résultat plus cohérent mais cependant peu probable. On conçoit difficilement que tout le gain de poids des poules témoins soit constitué de lipides ; d'autant plus que les protéines corporelles augmentent elles aussi. Quoi qu'il en soit dans tous les cas le dépôt d'acides gras est notablement réduit par le rationnement.

Il existe donc de fortes présomptions pour que les valeurs proposées dans le tableau 4 pour le dépôt (d) et la mobilisation (m) soient très proches de la réalité. Cela est d'autant plus vraisemblable que les résultats de cet essai concordent avec ceux obtenus antérieurement. En effet nous trouvons ici une mobilisation de 1,5 g d'acides gras par jour alors que nous avons abouti à la valeur de 1,3 g (LECLERCQ, 1973). Les valeurs obtenues présentement peuvent donc être considérées comme tout à fait valables.

CONCLUSION

Au cours de la saison de ponte la poule dépose principalement des lipides de réserve. Cette observation doit nuancer les estimations des besoins de la pondeuse, dont une partie est constituée par le besoin lié au gain de poids. En effet la plupart de ceux qui se préoccupent de cette question supposent que la composition du gain de poids de la poule est identique à la composition de l'ensemble de la carcasse. Le présent travail conduit à penser que cette hypothèse aboutit à une surestimation du besoin azoté lié au gain de poids et à une sous-estimation du besoin énergétique correspondant.

Un léger rationnement de la pondeuse ne modifie guère la ponte. Il conduit cependant à un profond ralentissement de la croissance et du dépôt de lipides de réserve. Dans ces conditions la poule n'augmente pas la mobilisation de ses réserves. Ce résultat peut être rapproché de ceux de RIIS (1972) ; selon cet auteur même un jeûne plus sévère n'augmente guère cette mobilisation quand on la mesure par la teneur du sang en acides gras libres. Ainsi chez la poule pondeuse la régulation de l'état d'engraissement serait davantage lié à la vitesse de dépôt qu'à celle de la mobilisation.

Reçu pour publication en janvier 1975.

SUMMARY

SIMULTANEOUS IN VIVO DETERMINATION OF DEPOSITION
AND MOBILIZATION OF FATTY ACIDS IN THE ADIPOSE TISSUE
OF THE LAYING HEN. EFFECT OF FEED RESTRICTION

Input and output of lipids in the adipose tissue of the laying hen were estimated *in vivo* by measuring the decrease of the specific activity of the adipose fatty acids after labelling with carbon 14 and the sizes of the pool of total body lipids. We supposed that input and output rates were constant during the experiment which lasted 84 days (from week 30 to week 42). The following equation gave the estimation of fatty acid deposition per day.

$$d = \frac{R_1 - R_0}{t(1-r)} \frac{\log \frac{as_0}{as_1}}{\log \frac{R_1}{R_0}}$$

- where d = quantity of fatty acids gained every day (grams)
 m = quantity of fatty acids mobilized every day (grams)
 r = ratio between specific activity of fatty acids in the egg yolk and specific activity of fatty acids in fatty tissue
 as_0 = specific activity at beginning of experiment
 as_1 = specific activity at the end of the experiment
 R_0 = carcass lipids at beginning of experiment
 R_1 = carcass lipids at the end of the experiment
 t = duration of experiment.

Specific activities are determined after biopsy of a piece of fatty abdominal tissue. The pool at the end of the experiment is measured by extracting the lipids from the carcass; it is estimated at the beginning of the experiment, knowing the weight gain of the hen and the mean amount of lipids involved in the weight gain. The percentage is obtained by slaughter of animals having similar weights at the beginning and end of the experiment.

Our results on body composition (table 3) show that, on an average, lipids represent 80.9 p. 100 of weight gain, the confidence interval ($P = 0.05$) being 39.0 p. 100 to 100 p. 100. Moreover, as the hen ages, the ratio $\frac{\text{body protein}}{\text{body water}}$ tends to increase.

In hens fed ad libitum, daily fatty acid gain is 2.952 g and the amount mobilized 1.575 g. In slightly restricted animals (95 p. 100 of *ad libitum* consumption), mobilization is unchanged, and the daily gain is about twice as less. The hen seems to regulate the pool much more by amount of gain than by amount of mobilization.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- DELPECH P., 1966. Le poids frais délipidé chez *Gallus gallus* : relations qui unissent ses constituants. *C. R. Acad. Sci.*, **263**, 1735-1738.
- LECLERCQ B., BLUM J. C., DELPECH P., 1969. Influence du régime maternel sur la croissance du jeune Poussin. Effet d'une déficience en acide linoléique. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **9**, 191-204.
- LECLERCQ B., 1972. Étude de la biosynthèse et de l'utilisation des acides gras chez la Poule pondeuse. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **12**, 441-452.
- LECLERCQ B., 1973. Utilisation métabolique des acides gras du tissu adipeux par la Poule en ponte. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **13**, 131-139.
- RHS P. M., 1972. Glucose and fatty acid metabolism in laying hens. *Acta Agric. Scand.*, **22**, 209-217.
-