

UTILISATION DE L'ÉNERGIE DES ALIMENTS PAR LES ANIMAUX

PAR

ANDRÉ-M. LEROY

Professeur de Zootechnie à l'I. N. A.

PLAN DU MÉMOIRE

- I. — **Exposé des problèmes concernant la détermination des besoins énergétiques des animaux et la couverture de ces besoins.**
 - II. — **Variation de la dépense d'énergie d'un animal avant, pendant et après un repas. Action exercée sur cette dépense par la quantité de matière sèche ingérée.**
 - III. — **Exposé des résultats obtenus dans divers pays, par des observateurs différents, au cours d'expériences d'échanges énergétiques, effectuées par les méthodes classiques de calorimétrie directe et indirecte.**
 - IV. — **Analyse et comparaison statistiques de ces résultats pour chaque espèce, et, dans le cas d'une même espèce, pour divers expérimentateurs.**
 - V. — **Utilisation des données ainsi acquises à la résolution des problèmes d'alimentation et de substitutions alimentaires.**
 - VI. — **Conclusion.**
-

Nous savons que la quantité d'énergie métabolisable correspondant à une ration journalière donnée s'obtient en retranchant de l'énergie brute des aliments distribués, telle qu'elle pourrait être obtenue par une expérience de combustion dans une bombe calorimétrique, les quantités d'énergie correspondant respectivement aux excréments solides, liquides et gazeux émises en 24 heures, sous la condition formelle que le régime alimentaire étudié n'ait pas subi de modifications pendant la durée de l'observation. Cette quantité d'énergie métabolisable, lorsqu'elle est destinée à un animal domestique donnant des produits utiles à l'homme (viande, lait, œufs, laine) sert à deux fins essentielles — d'une part, elle assure la couverture des besoins énergétiques de l'animal lui-même, c'est-à-dire ceux qu'exigent ses métabolismes, et, d'autre part, elle correspond strictement à la quantité d'énergie accumulée dans les produits obtenus.

Nous savons calculer aisément, à partir de la partie digestible des

aliments, a quantité d'énergie métabolisable que la somme de ces derniers représente. — D'autre part, connaissant la composition des tissus formés au cours de la croissance et de l'engraissement, ainsi que celles du lait, de l'œuf ou de la laine, il nous est facile de savoir la quantité totale d'énergie correspondant à la production journalière de ces matériaux organiques. L'inconnue du problème, lorsqu'il s'agit d'alimenter rationnellement un animal, est l'évaluation aussi précise que possible de l'énergie qu'il perd par le jeu de ses divers métabolismes, dans les conditions du milieu où il vit.

Nous savons, grâce à de nombreux expérimentateurs, calculer le besoin énergétique net d'entretien d'un animal, en fonction de son poids vif. La quantité d'énergie d'entretien, exprimée en calories, correspond aux dépenses de chaleur entraînées par le jeu des divers mécanismes vitaux sur un animal en état de jeûne, telles qu'il serait possible de les mesurer au moyen d'un calorimètre.

Si nous désignons le besoin d'énergie nette d'entretien par E, et la quantité d'énergie calorifique correspondant aux produits qu'il s'agit d'obtenir par P, l'expérience nous apprend qu'une quantité d'énergie métabolisable égale à E + P ne suffit pas à placer l'animal étudié dans des conditions d'équilibre énergétique suffisantes. — Avec RUBNER, puis KELLNER, nous avons appris que la consommation des aliments entraîne une augmentation des dépenses métaboliques, d'autant plus grande que la masse des aliments ingérés est elle-même plus considérable. A ce besoin supplémentaire, qui s'ajoute aux besoins du strict entretien, KELLNER a donné le nom d'énergie du travail de la digestion, bien qu'il ne s'agisse pas exclusivement, à proprement parler, d'une perte de calories correspondant au travail mécanique de la mastication et du péristaltisme gastro-intestinal. Si nous désignons par S ce supplément d'énergie, l'équation qui exprime l'équilibre des besoins énergétiques d'un animal donnant des produits peut s'écrire sous la forme suivante, en convenant d'adopter la lettre M pour figurer le besoin d'énergie métabolisable.

$$(1) \quad \begin{array}{c} M \\ \text{(Energie utile des} \\ \text{aliments)} \end{array} = \begin{array}{c} E + S \\ \text{(Energie dissipée dans} \\ \text{l'atmosphère ambiante)} \end{array} + \begin{array}{c} P \\ \text{(Energie des produits} \\ \text{zootéchniques obtenus)} \end{array}$$

Il est ainsi facile de constater que c'est la quantité S qui demeure la seule inconnue du problème, car nous avons les moyens d'évaluer M, E et P, à la condition de connaître la composition et la digestibilité des aliments distribués, le poids vif de l'animal et la quantité ainsi que la composition des produits qu'il s'agit d'obtenir. Depuis KELLNER, le besoin combiné d'énergie d'entretien et de production, E + P, est désigné sous le nom de besoin d'énergie nette. Pour les ruminants, le rapport du besoin d'énergie nette, E + P, à l'énergie méta-

bolisable M, varie autour de 57 p. 100, selon la composition des mélanges d'aliments distribués. Pour les monogastriques, comme le porc, le lapin et les volailles, ce rapport, beaucoup plus élevé, atteint en moyenne 73 p. 100.

Depuis la publication des travaux de KELLNER, l'habitude a été prise d'exprimer la valeur énergétique des aliments, ainsi que les besoins d'entretien et de production des animaux, en quantités d'énergie nette. L'unité d'énergie nette, adoptée par KELLNER, correspond, comme chacun sait, à la quantité d'énergie capable de satisfaire les besoins nets de production provenant de la consommation par l'animal d'un kilogramme d'amidon. Malheureusement, cette quantité d'énergie nette, exprimée en calories, n'est pas exactement la même, lorsqu'il s'agit d'équilibrer le même besoin, pour les diverses espèces domestiques. Elle n'est pas la même non plus, selon qu'il s'agit de satisfaire le besoin d'entretien, le besoin de croissance, le besoin d'engraissement ou celui de la production laitière. Pour bien comprendre cet état de choses, et en tirer les conséquences qu'il comporte, il est essentiel, à notre avis, d'étudier le mécanisme des pertes d'énergie de l'animal alimenté, dans les conditions normales de son existence.

Le meilleur moyen, pour aborder cette étude, consiste à enregistrer méthodiquement, à des intervalles aussi rapprochés que possible, les quantités d'énergie perdues par l'animal au cours d'une période de 24 heures. Il suffit pour cela d'utiliser la méthode de calorimétrie indirecte dite des échanges gazeux, dont le principe consiste à mesurer pendant un temps donné la consommation d'oxygène et le rejet de gaz carbonique du sujet d'expérience. — Pour éviter l'utilisation du masque respiratoire, qui risque d'apporter du trouble à l'équilibre physiopsychologique de l'animal, et qui ne permet pas surtout de l'observer pendant qu'il mange, il est préférable, comme nous l'avons fait, d'utiliser la méthode du confinement, qui consiste à enfermer l'animal dans une enceinte close de capacité réduite, pendant une courte période de temps, et à mesurer la consommation d'oxygène et le rejet de gaz carbonique d'après la variation de composition des gaz de l'enceinte observée au cours de l'expérience. — L'emploi de cette méthode permet de multiplier autant qu'on le désire les prises d'essai, et de connaître ainsi les variations de la dépense énergétique au cours d'une période d'observation qui peut durer au besoin plusieurs jours.

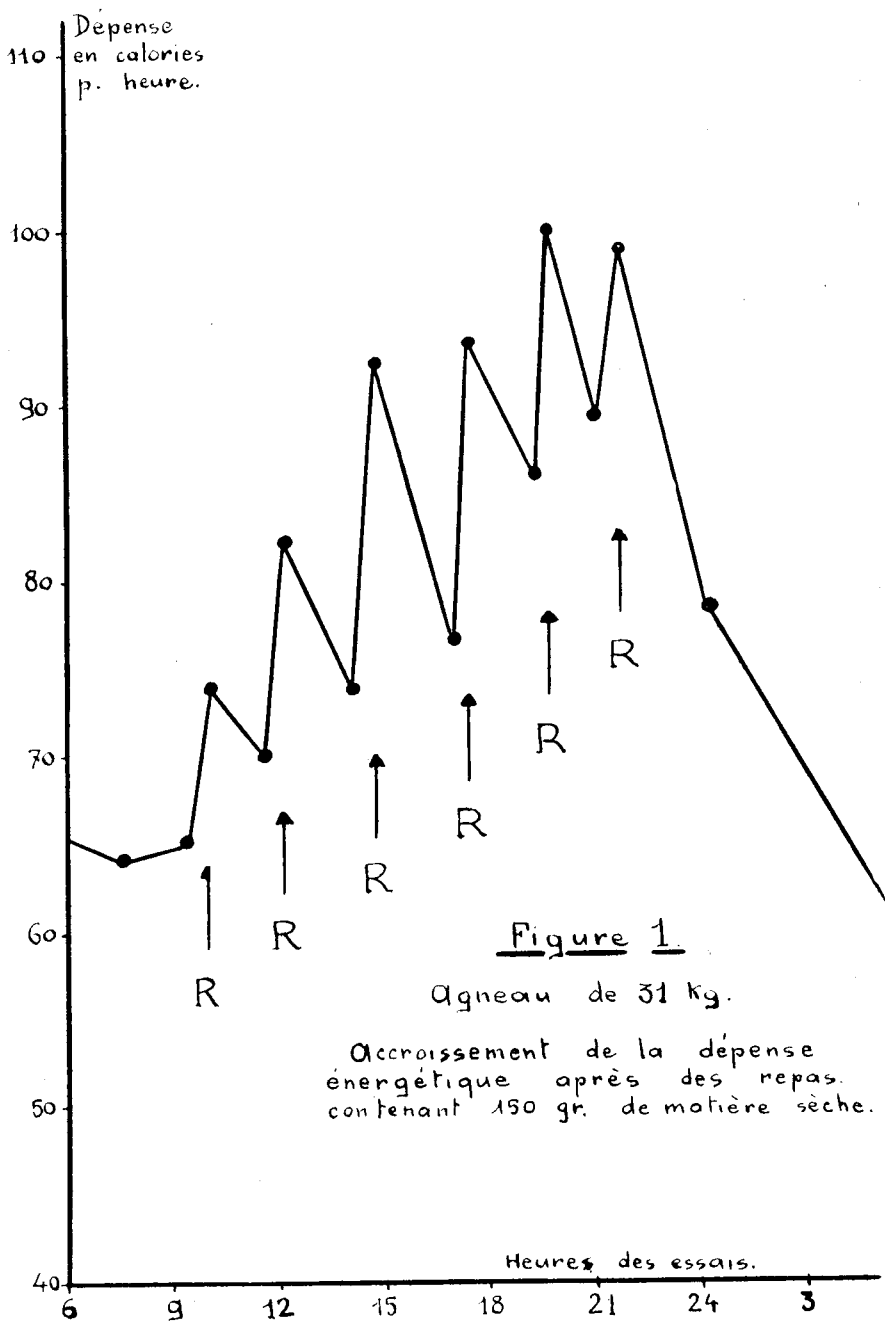
En utilisant cette méthode, nous avons pu montrer que la consommation des aliments s'accompagne immédiatement toujours d'un accroissement considérable de la dépense énergétique. Lorsque deux repas se suivent, la pointe de métabolisme observée au cours du second repas tend toujours à dépasser celle du premier. La figure 1 ci-jointe, particulièrement démonstrative, représente la variation de la dépense énergétique d'un agneau qui a reçu six repas par jour, entre 9 h et 21 h, chacun de ces repas étant composé de 150 gr de carottes et de 150 gr d'un aliment concentré, apportant au total 150 gr de matière sèche.

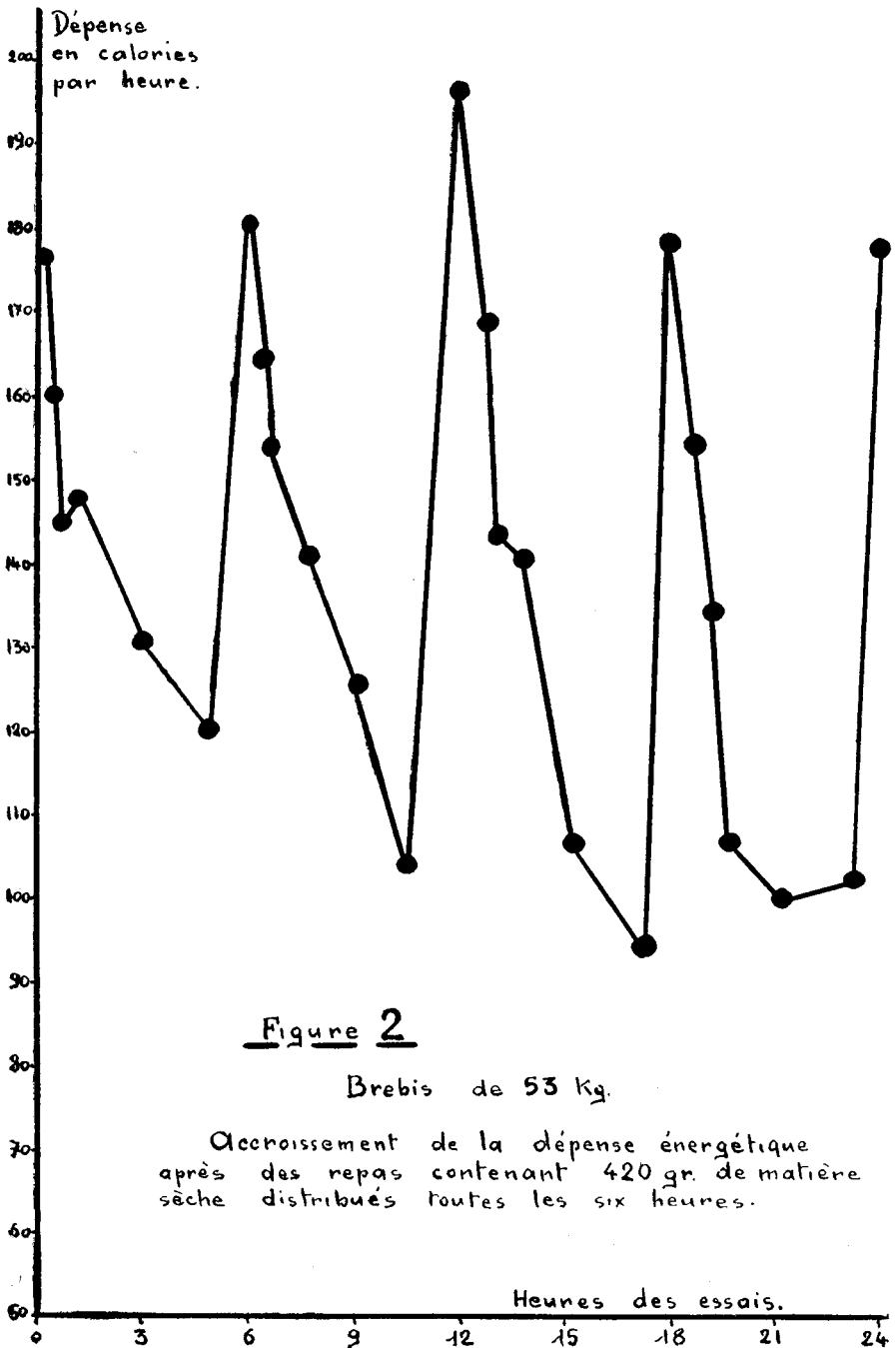
Les mesures de la dépense énergétique ont été au nombre de 15. Six d'entre elles ont été prises pendant les repas, et cinq ont été prises entre les repas, quelques minutes avant la distribution du repas suivant.

Dans une autre expérience, dont la durée a été d'une semaine, nous avons alimenté une brebis quatre fois par jour, toutes les six heures, en lui faisant absorber chaque fois des repas uniformes, comprenant chacun 420 grammes de matière sèche. La figure 2 reproduit graphiquement les résultats moyens des mesures effectuées pendant et entre les repas, rapportés à une période de 24 heures. — Comme les précédents, ces résultats montrent que la pointe de la dépense énergétique, qui accompagne chaque repas, est toujours suivie d'une phase de rémission. Il a été remarquable, au cours de ces essais, de constater que la hausse du métabolisme, qui s'était produite dès le début de chaque repas, s'est maintenue au même niveau maximum pendant toute la durée de la consommation et de la mastication des aliments.

Des phénomènes exactement semblables peuvent être mis en évidence par l'observation d'animaux monogastriques, tels que les porcs et les volailles. La figure 3 montre la variation de la dépense énergétique horaire d'un poulet de 1 700 gr, recevant trois repas par jour. Nous observons ici, comme précédemment, le net accroissement de métabolisme correspondant à chaque repas, ainsi que la tendance de chacune des deux dernières pointes de métabolisme à dépasser le maximum précédent. — Nous reproduisons également (fig. 4) les variations de la dépense d'énergie d'un porc alimenté deux fois par jour. Ces observations ont une portée générale. Elles montrent à l'évidence que la consommation des aliments entraîne, chez tous les animaux, une hausse importante de la consommation d'oxygène. Cette consommation, rapportée à l'unité de temps, est, chez les ruminants, près de trois fois plus forte que la valeur correspondante de la dépense métabolique du strict entretien, mesurée sur l'animal en état de jeûne prolongé. La hausse du métabolisme qui accompagne un repas débute toujours immédiatement, dès que l'animal commence à absorber des aliments et se maintient au même niveau pendant tout le repas, sans subir de diminution sensible. La dépense énergétique qu'elle entraîne qui est en quelque sorte pour l'animal la rançon de la nécessité de se nourrir, se montre d'autant plus considérable que la durée totale des repas pris au cours d'une même journée est plus longue. Pour cette raison, les ruminants, consommateurs ordinaires d'aliments peu digestibles, dont la mastication et la déglutition demandent souvent près de cinq heures, ont un rendement de la transformation de l'énergie métabolisable en énergie nette moins élevé que celui des porcs et des volailles, lesquels peuvent consommer la totalité de leurs aliments quotidiens en une demi-heure à une heure.

Ces observations nous ont conduit à attribuer à la masse de matière





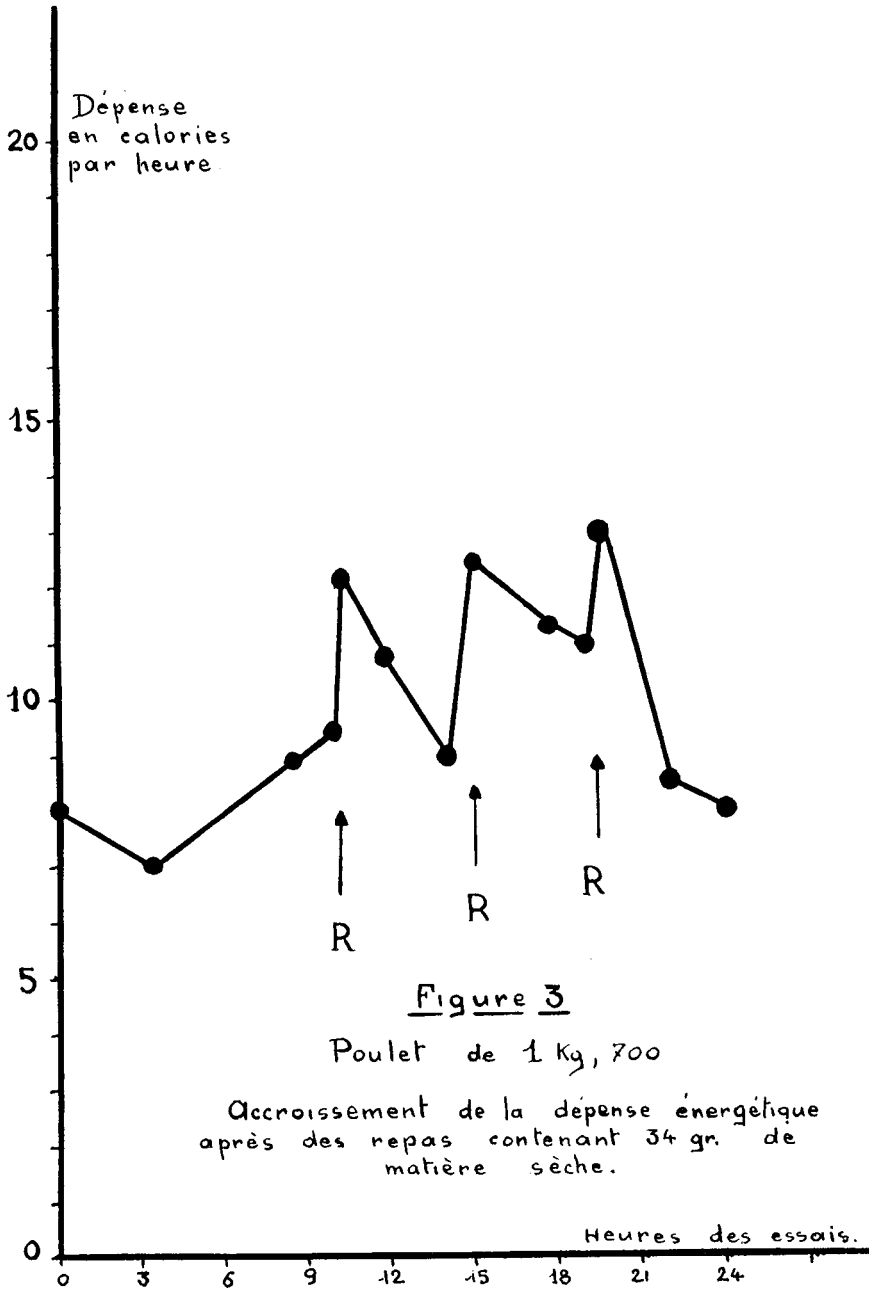
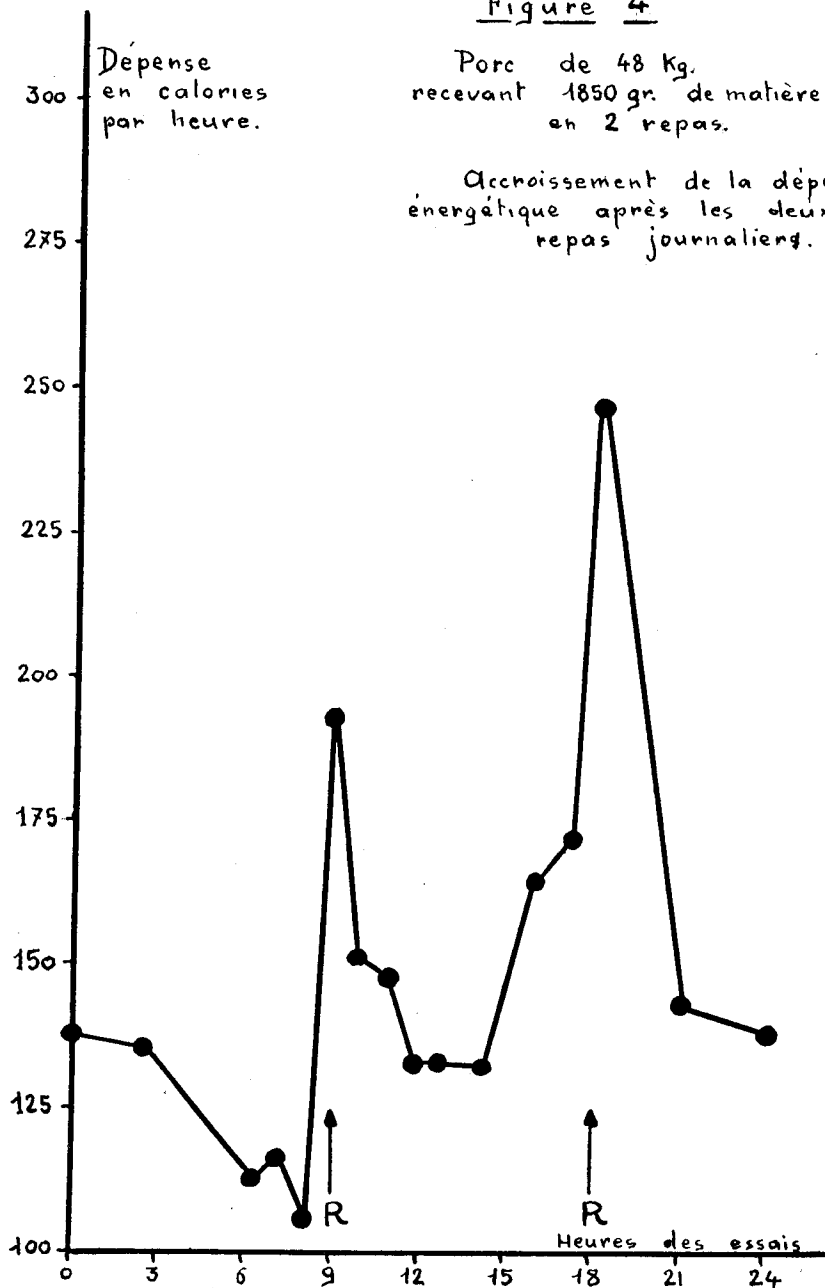


Figure 4

Porc de 48 kg.
recevant 1850 gr. de matière sèche
en 2 repas.

Accroissement de la dépense
énergétique après les deux
repas journaliers.



sèche ingérée une importance prépondérante, en ce qui concerne le mode d'utilisation des aliments.

Afin de mettre en évidence cette influence de la matière sèche, nous avons étudié attentivement les résultats expérimentaux publiés depuis le début de ce siècle, ayant pour objet des déterminations précises de balance énergétique effectuées sur des bovins, des ovins, des porcins, des volailles, ainsi que sur des lapins et des rats blancs de laboratoire. Parmi les travaux examinés figurent les mémoires fondamentaux de KELLNER et KOHLER, de FINGERLING, de FORBES et ses collaborateurs, de MOLLGAARD et de MITCHELL et HAMILTON. Nous y avons joint nos propres observations effectuées sur des moutons, des porcs et des volailles, ainsi que le remarquable travail d'A. HELLBERG sur l'alimentation des lapins, et enfin celui de FORBES, BRAMAN et KRISS sur le rat blanc. D'autres résultats rassemblés par nos soins sont venus compléter cette collection de documents. Nous avons donc ainsi réuni 337 séries de données concernant six espèces animales différentes, et se décomposant de la manière ci-après :

TABLEAU I

Nombres d'observations utilisées, classées par espèce animale

Observations faites	sur bovins	123
—	sur ovins	28
—	sur porcins	71
—	sur volailles	5
—	sur lapins	78
—	sur rats	32

Pour chacune des expériences que nous avons utilisées, nous avons rapproché les données concernant les mesures de la matière sèche ingérée, de l'énergie métabolisable, et de l'énergie de la production, qui correspond, selon le cas, à l'énergie nette de croissance ou d'engraissement, calculée d'après le bilan, ou à la production laitière, ou encore à l'énergie nette combinée des tissus formés et de la quantité du lait produit. La quantité d'énergie métabolisable a été désignée par la lettre M, celle de l'énergie nette de la croissance, de l'engraissement et de la production laitière a été désignée par P, tandis que nous avons appelé la quantité de matière sèche consommée, exprimée en grammes, par Ms. Pour déterminer les valeurs de l'énergie nette d'entretien, E, correspondant à chaque essai, nous nous sommes servis du poids moyen de chaque sujet observé au cours de l'expérience et des tables ci-après, reproduites d'après les normes pour l'alimentation énergétique extraites du rapport signé de notre nom figurant dans la publication du V^e Congrès International de Zootechnie (Paris, novembre 1949).

Pour la commodité du travail, ces données ont été utilisées par nous sous la forme de graphiques, afin d'éviter des calculs d'interpolation.

TABLEAU II

Tables pour la détermination des besoins de l'entretien évalués en grandes calories par 24 heures.

<i>Bovins</i>					
Poids des animaux kg		Besoins d'entretien en cal. par 24 h.	Poids des animaux kg		Besoins d'entretien en cal. par 24 h.
100.....		2 080	500.....		7 000
200.....		3 500	600.....		8 000
300.....		4 750	700.....		8 960
400.....		5 880	800.....		9 900
<i>Ovins</i>					
Poids des animaux kg		Besoins d'entretien en cal. par 24 h.	Poids des animaux kg		Besoins d'entretien en cal. par 24 h.
10.....		540	50.....		1 210
20.....		780	60.....		1 325
30.....		960	70.....		1 435
40.....		1 090	80.....		1 515
<i>Porcins</i>					
Poids des animaux kg		Besoins d'entretien en cal. par 24 h.	Poids des animaux kg		Besoins d'entretien en cal. par 24 h.
25.....		1 060	150.....		2 760
50.....		1 560	175.....		3 000
75.....		1 950	200.....		3 260
100.....		2 240	225.....		3 460
125.....		2 520	250.....		3 630
<i>Volailles</i>					
Poids des animaux kg		Besoins d'entretien en cal. par 24 h.	Poids des animaux kg		Besoins d'entretien en cal. par 24 h.
0,2.....		27	1,8.....		148
0,4.....		58	2,0.....		162
0,6.....		65	2,2.....		176
0,8.....		80	2,4.....		182
1,0.....		96	2,6.....		198
1,2.....		110	2,8.....		203
1,4.....		122	3,0.....		216
1,6.....		136	3,2.....		228
<i>Lapins</i>					
Poids des animaux kg		Besoins d'entretien en cal. par 24 h.	Poids des animaux kg		Besoins d'entretien en cal. par 24 h.
1.....		65	3.....		141
1,5.....		89	3,5.....		160
2.....		106	4,0.....		178
2,5.....		125	4,5.....		195
			5,0.....		211
<i>Rats blancs</i>					
Poids des animaux g	Besoins d'entretien en cal. par 24 h.		Poids des animaux g	Besoins d'entretien en cal. par 24 h.	
	Animaux fortement alimentés cal.	Animaux rationnés cal.		Animaux fortement alimentés cal.	Animaux rationnés cal.
80.....	11,6	10,2	140.....	18,7	17,2
90.....	12,8	11,4	150.....	19,9	18,4
100.....	13,9	12,5	160.....	21,1	19,5
110.....	15,1	13,7	170.....	22,2	20,8
120.....	16,3	14,9	180.....	23,5	22,0
130.....	17,5	16,0	190.....	24,6	23,0
			200.....	25,8	24,2

Seul, le tableau des normes d'entretien correspondant aux rats blancs de laboratoire n'a pas été reproduit dans la publication du Congrès de Paris de 1949. Les données de ce tableau ont été extraites d'un important travail de BRODY, publié en juin 1930, et de celui de FORBES, KRISSE et MILLER, analysé en détail par nos soins. Elles montrent avec évidence que la mesure du métabolisme basal du rat, effectuée de 17 à 24 heures après la fin du dernier repas, donne des résultats légèrement différents, selon que l'on effectue la mesure sur des rats ayant reçu auparavant une ration de strict entretien, ou qu'on l'entreprend après avoir laissé pendant plusieurs jours les animaux consommer à volonté leur nourriture. Dans le deuxième cas, les résultats obtenus, pour des animaux de poids identiques, dépassent d'environ 10 p. 100 ceux du premier, comme l'indique notre tableau de normes.

Afin d'éviter l'influence de causes étrangères à l'action que nous voulions étudier, nous avons pris le soin de vérifier que les animaux dont nous examinons le métabolisme pourraient se maintenir en équilibre sans être mis dans l'obligation de faire appel à leurs réserves de matières azotées et de matières grasses, ce qui nous a conduit à éliminer toutes les expériences au cours desquelles les animaux présentaient un bilan énergétique fortement négatif.

De même, pour éviter les effets d'une alimentation azotée surabondante, nous avons écarté les essais pendant lesquels les animaux en période de croissance ou d'engraissement recevaient des quantités de matières protéiques digestibles sensiblement supérieures à 1 g par kilogramme de poids vif. Ainsi, par exemple, nous n'avons pas tenu compte des expériences de KELLNER et KOHLER au cours desquelles les bœufs utilisés par ces auteurs avaient reçu de fortes quantités de gluten. Nous avons également omis volontairement, pour une raison analogue, quelques-uns des résultats obtenus par FINGERLING. On sait, en effet, que les animaux qui ingèrent une quantité de matières azotées dépassant celle qui est indiquée par les normes usuelles éliminent par l'urine l'azote excédentaire, ce qui entraîne un accroissement de la dépense d'énergie calorifique, dont l'ordre de grandeur est de 8,4 calories par gramme d'azote ainsi éliminé, et contribue à diminuer le rapport normal de l'énergie nette à l'énergie métabolisable, comme l'ont signalé de nombreux auteurs, et tout particulièrement MOLLGAARD. Quelques-uns des résultats de KELLNER, provenant d'essais au cours desquels il avait été mélangé aux rations distribuées des quantités fort élevées de matière grasse, n'ont pas été non plus retenues par nous, parce que nous avons supposé que les conditions d'ingestion d'un régime alimentaire si éloigné de l'alimentation habituelle pouvaient influencer défavorablement les phénomènes que nous cherchions à mettre en évidence.

Pour chacun des essais retenus, le lecteur trouvera, avec les références bibliographiques, les résultats de la différence $M - (E + P)$ entre l'énergie métabolisable et l'énergie nette, calculée par gramme de matière sèche ingérée.

Première série

Expériences sur bovins en période de croissance et d'engraissement

N° de l'essai	Énergie métabolisable	Mat. sèche consommée	Énergie de l'entretien	Énergie de la production	M — (E + P) cal.	M — (E + P) Ms cal. par g
	M cal.	Ms g	E cal.	P cal.		
1. — Expériences de KELLNER et KOHLER (Landw. Versuchs Stationen, 53, 1; 1900)						
Bœuf A.....	16 368	6 170	8 190	1 549	6 629	1,07
— 2.....	16 389	7 120	8 310	832	7 247	1,02
— C I.....	26 789	10 960	8 040	7 478	11 271	1,03
— C II.....	29 928	12 539	8 510	8 886	12 532	1,00
— C III.....	33 085	12 597	8 650	9 748	14 687	1,16
— 5.....	15 135	6 600	8 020	1 487	5 628	0,85
— 6.....	15 918	6 540	8 430	1 684	5 804	0,89
— 20.....	17 440	7 210	8 690	957	7 793	1,08
— 3.....	19 666	7 810	8 470	3 007	8 139	1,04
— 4 II.....	18 791	7 770	8 300	1 761	8 730	1,13
— 5 IIa.....	20 488	7 940	8 190	4 268	8 030	1,01
— 5 IIb.....	20 706	7 910	8 380	4 014	8 312	1,05
— 6 IIb.....	21 152	7 970	8 720	4 062	9 370	1,17
— 6 III.....	24 350	8 900	8 880	5 414	10 056	1,13
— D I.....	25 958	10 707	8 810	6 617	10 531	0,98
— D II.....	30 594	12 383	9 230	8 769	12 595	1,02
— E I.....	26 397	10 694	8 710	5 918	11 769	1,10
— E H.....	25 327	10 737	9 150	4 336	11 841	1,10
— F I.....	23 406	10 142	7 830	4 593	10 142	1,09
— F II.....	23 417	10 539	8 155	4 230	11 032	1,04
— F III.....	17 680	7 076	7 960	2 061	7 659	1,07
Landw. Versuchs Stationen, 53, 1900).						
Bœuf F IV.....	22 993	8 830	8 180	5 388	9 425	1,07
— F VI.....	22 503	8 893	8 550	4 628	9 385	1,05
— G I.....	22 714	10 495	8 165	3 684	10 865	1,03
— G II.....	23 258	10 110	8 300	3 938	11 020	1,08
— G III.....	17 376	7 141	8 210	1 778	7 388	1,03
— G IV.....	23 030	8 880	8 430	5 367	9 233	1,04
— H I.....	21 973	10 283	8 440	2 737	10 798	1,05
— H II.....	25 446	10 204	8 530	6 258	10 658	1,04
— H III.....	24 042	8 834	8 615	5 808	9 619	1,09
— H IV.....	17 443	6 858	8 660	2 057	6 726	0,98
— H V.....	26 409	9 640	8 960	7 873	9 576	1,00
— H VI.....	23 102	8 731	9 080	6 379	7 643	0,88
— H VII.....	26 133	10 434	9 320	5 673	11 140	1,06
— J I.....	22 631	10 241	8 145	3 565	10 921	1,06
— J III.....	22 621	8 455	8 260	4 996	9 365	1,11
— J IV.....	17 871	6 907	8 335	2 302	7 234	1,04
— J V.....	26 433	9 658	8 605	7 140	10 688	1,10
— J VI.....	22 935	8 712	8 760	4 561	9 614	1,10
2. — Expériences de FINGERLING et coll. (Landw. Versuchs Stationen, 113, 1-68; 1932).						
Bœuf 10 I.....	19 121	7 780	8 700	1 702	8 719	1,10
— 10 V.....	17 941	7 025	9 520	360	8 061	1,14
(Landw. Versuchs Stationen, 114, 1-112; 1933).						
Bœuf U I.....	21 506	8 700	8 450	4 924	8 132	0,94
— U II.....	27 862	10 853	8 710	8 882	10 270	0,94
— U III.....	28 203	10 835	9 000	8 319	10 884	1,00
— U IV.....	21 581	8 751	8 990	4 521	8 340	0,95
— V I.....	22 152	8 777	8 000	5 909	8 243	0,94
— V III.....	29 184	10 823	8 590	9 528	11 066	1,02
— V IV.....	21 819	8 712	8 610	4 806	8 403	0,97

N° de l'essai	Énergie métabolisable	Mat. sèche consommée	Énergie de l'entretien	Énergie de la production	M — (E + P)	M — (E + P)
	(M) cal.	(Ms) g	(E) cal.	(P) cal.	cal.	Ms cal. par g

(Landw. Versuchs Stationen, 116, 1-63; 1933).

Bœuf U IV ...	21 581	8 751	8 960	4 251	8 370	0,96
— U VI ...	28 720	10 941	9 210	7 881	11 629	1,06
— U VII ...	21 847	8 865	9 540	3 633	8 674	0,98
— V IV ...	21 819	8 712	8 610	4 806	8 403	0,96
— V VI ...	28 749	10 887	9 000	8 263	11 486	1,05
— V VII ...	21 760	8 787	9 180	4 007	8 573	0,98

(Landw. Versuchs. Stationen, 120-121, 1-141; 1934)

Bœuf 17 I ...	21 425	8 257	8 350	5 130	7 945	0,96
— 17 V ...	28 491	10 885	9 000	7 203	12 288	1,13
— 17 VIII ...	21 607	8 339	9 400	3 660	8 547	1,02
— W I ...	21 902	8 255	8 410	4 285	9 307	1,12
— W III ...	27 719	10 265	9 000	6 084	12 635	1,12
— W IV ...	21 903	8 289	9 010	3 585	9 308	1,12
— X I ...	21 534	8 216	8 360	4 567	8 607	1,04
— X IV ...	21 939	8 285	9 020	3 961	8 958	1,08

3. — Expériences de FORBES E. B., BRAMAN W. W. et KRISS M.

(Journal of Agr. Res., 35, 233, 1928).

I 47 ...	19 525	7 384	6 800	5 989	6 736	0,91
II 36 ...	18 619	7 037	6 790	4 732	7 097	1,01
III 47 ...	15 515	5 617	6 910	3 407	5 138	0,91
IV 36 ...	14 636	5 353	6 840	2 525	5 271	0,98
VII 47 ...	10 508	3 790	6 800	898	2 810	0,74
VIII 36 ...	10 248	3 762	6 790	218	3 250	0,86
IX 47 ...	11 615	5 771	7 000	444	4 171	0,73
X 36 ...	11 550	5 763	7 000	— 460	5 010	0,87

(Journal of Agr. Res., 40, 37; 1930).

I 60 ...	7 545	2 828	4 840	403	2 302	0,82
II 57 ...	8 243	3 085	5 460	399	2 384	0,78
III 60 ...	11 241	4 237	5 120	2 601	3 520	0,83
IV 57 ...	12 469	4 612	5 700	3 176	3 593	0,78
V 60 ...	14 902	5 704	5 400	3 925	5 577	0,98
VI 57 ...	16 363	6 233	5 900	4 484	5 979	0,96
VII 60 ...	19 467	7 520	5 810	5 583	8 074	1,07
VIII 57 ...	20 855	8 057	6 350	6 882	7 623	0,95
IX 60 ...	23 896	9 489	6 110	7 764	10 022	1,06
XII 57 (1) ...	10 188	5 155	6 120	501	3 567	0,71
XIII 60 (1) ...	9 658	5 013	6 000	167	3 491	0,70

(Journal of Agr. Res., 43, 11, 1015; 1931).

I 17 ...	9 114	4 827	5 500	— 42	3 656	0,76
III 17 ...	7 255	2 174	5 190	— 205	2 270	1,04
V 17 ...	7 706	2 994	5 100	525	2 081	0,70
IV 85 ...	8 790	4 431	5 120	— 602	4 272	0,96

(Journal of Agric. Res., 46, 8, 753; 1933).

III A ...	8 767	3 954	5 800	— 409	3 376	0,85
IV B ...	7 646	3 610	5 030	— 639	3 255	0,90
V A ...	12 659	5 103	6 000	2 521	4 138	0,81
VI B ...	11 155	4 661	5 140	1 937	4 078	0,87
VII A ...	8 980	3 970	5 950	212	2 818	0,71
VIII B ...	7 410	3 428	5 050	— 275	2 635	0,77

No de l'essai	Énergie métabolisable	Mat. sèche consommée	Énergie de l'entretien	Énergie de la production	M — (E + P)	M — (E + P)
	M cal.	Ms g	E cal.	P cal.	cal.	Ms cal. par g

(*Journal of Agr. Res.*, 46, 753; 1933).

IX A	12 891	5 206	6 120	2 222	4 549	0,87
X B	10 656	4 530	5 250	1 253	4 153	0,92
XI A	10 978	4 801	6 210	607	4 161	0,87
XIIB	9 025	4 148	5 330	— 350	4 045	0,97
XIIIB	12 558	5 315	5 600	1 760	5 198	0,98

4. — Expériences de H. H. MITCHELL et T. S. HAMILTON

(*Journal of Agr. Res.*, 45, 3; 1932).

Pleine ration...	29 881	11 229	7 880	10 969	11 032	0,98
4/5 de la pl. rat.	24 320	8 975	8 130	8 398	7 792	0,87
3/5 de la pl. rat.	18 982	6 806	8 210	4 562	6 210	0,91
2/5 de la pl. rat.	13 563	4 644	8 100	1 044	4 419	0,95

5. — Expériences de MEIGS et GRANT.

(*Proc. Amer. Soc. Animal Prod.*, 18; 1936).

Foin de luzerne seul	12 590	6 340	5 340	0	7 250	1,14
Foin de luzerne et tourteau de lin	12 640	5 310	7 420	0	5 220	0,98

6. — Expériences de K. L. BAXTER sur veaux de lait.

(*Journal of Nutrition*, 6, 12; 1952).

1	2 801	532	1 608 (1)	730	463	0,87
2	5 969	959	1 980 (1)	3 031	958	1,00

7. — Expériences de A. M. LEROY et Z. ZELTER sur veau de lait.

(*Annales de Zootechnie*, 1, 61-77; 1952).

17	4 771	938	1 520 (2)	2 459	792	0,85
15	3 420	680	1 530	1 124	766	1,12
16	4 882	1 200	1 710	2 095	1 017	0,85
17	6 731	1 251	1 770	3 678	1 283	1,02

8. — Expériences de MOLLGAARD sur vaches laitières.

(*Fütterungslehre des Milchviehs*, Ed. Schaper, Hannover, 1929).

40 I	23 562	8 867	6 000	10 518	7 044	0,80
40 II	23 867	8 860	6 000	8 508	9 359	1,05
46	24 974	10 153	5 610	10 950	8 414	0,83
48	43 215	15 517	7 150	21 574	15 821	1,02
49	29 693	11 646	5 820	12 736	11 137	0,96
81	30 332	11 975	7 650	11 159	11 523	0,97
55	26 671	9 917	7 020	10 622	9 029	0,91
78	30 833	12 085	7 610	12 087	11 136	0,92
50	30 007	11 639	5 910	13 146	10 951	0,94
2	21 923	9 388	5 890	7 867	8 166	0,87
53	25 976	9 717	7 020	9 582	9 374	0,97
66	24 064	9 645	5 600	9 327	9 137	0,95
51	31 659	11 544	6 420	14 740	10 499	0,91
63	24 401	9 690	5 600	10 772	8 029	0,83
65 engr.	23 546	9 440	5 910	8 289	9 347	0,99

(1) L'Énergie de l'entretien a été directement mesurée.

(2) L'Énergie de l'entretien a été directement mesurée.

Deuxième série

**ESPÈCE OVINE — CROISSANCE —
ENGRAISSEMENT — PRODUCTION LAITIÈRE**

N° de l'essai	Énergie métabolisable	Mat. sèche consommée	Énergie de l'entretien	Énergie de la production	M — (E + P) cal.	M — (E + P)
	M cal.	Ms g	E cal.	P cal.		Ms cal. par g

9. — Expériences de LEROY et ZELTER (données en instance de publication).

I. — Agneaux alimentés exclusivement avec le lait maternel.

1	1 031	171	498	351	182	1,07
2	936	152	521	257	158	1,04
3	1 680	250	565	846	269	1,07
4	880	143	448	262	170	1,19
5	796	135	490	162	144	1,07
6	850	136	474	232	144	1,06
7	1 037	167	368	504	165	0,99
8	904	146	392	354	158	1,08
9	909	146	423	335	151	1,03
10	734	124	400	164	170	1,37
11	938	153	424	382	132	0,86
13	1 286	232	540	528	218	0,94

II. — Agneaux en cours de sevrage et agneaux sevrés.

Avant sevr. :						
23	1 933	577	746	558	629	1,09
25	2 384	525	766	1 163	455	0,89
26	1 845	546	840	516	489	0,90
27	1 555	407	888	246	421	1,03
28	2 518	836	948	622	948	1,13
Apr. sevr. :						
29	1 864	728	997	22	845	1,16
30	2 002	696	1 003	496	503	0,72
31	2 079	817	1 034	491	854	1,04

III. — Brebis à l'engraissement.

33	3 880	1 544	1 430	878	1 572	1,02
----	-------	-------	-------	-----	-------	------

IV. — Brebis en lactation.

34	4 965	2 134	1 371	1 888	1 706	0,80
35	4 378	1 610	1 231	1 469	1 678	1,04
36	3 997	1 702	1 240	1 097	1 660	0,97

10. — Expériences de G. CHARLET-LÉRY, A.-M. LEROY et S. Z. ZELTER, sur la croissance d'agneaux Ile-de-France.

Poids des agneaux kg	Énergie métabolisable	Mat. sèche ingérée	Énergie de l'entretien	Énergie de la production	M — (E + P) cal.	M — (E + P)
	M cal.	Ms g	E cal.	P cal.		Ms cal. par g

(Annales de Zootechnie, 3, 169-187; 1954).

12,0	1 855	786	580	489	719	1,09
15,8	2 524	971	675	775	1 074	1,10
19,4	2 810	1 087	770	840	1 200	1,10
22,7	2 930	1 137	845	825	1 260	1,11

Troisième série

EXPÉRIENCES SUR PORCS

N° de l'essai	Énergie métabolisable	Mat. sèche ingérée	Énergie de l'entretien	Énergie de la production	M — (E + P)	M — (E + P)
	M cal.	Ms g	E cal.	P cal.	cal.	Ms cal. par g

11. — Expériences de FINGERLING.

(Landw. Versuchs Stationen, 113, 1; 1932).

Porc 3 :						
Per. 4	5 042	1 434	2 920	954	1 168	0,81
Per. 5	6 662	1 863	3 080	2 143	1 439	0,77
Per. 6	6 399	1 809	3 130	1 632	1 637	0,90
Per. 7	4 976	1 443	3 120	948	908	0,63

(Landw. Versuchs Stationen, 113, 273; 1932).

Porc 1 :						
Per. 2	5 086	1 434	3 060	796	1 230	0,86
Per. 3	6 718	1 863	3 130	1 985	1 603	0,86
Porc 3 :						
Per. 4	5 042	1 434	2 920	954	1 168	0,81
Per. 5	6 662	1 863	3 080	2 143	1 439	0,77

(Landw. Versuchs Stationen, 114; 1933).

Porc XVI :						
Per. 1	4 297	1 316	1 780	1 357	1 160	0,88
Per. 2	4 557	1 306	1 880	1 631	1 046	0,80
Per. 3	3 275	960	1 975	452	848	0,88
Per. 5	4 232	1 314	2 170	859	1 203	0,91

Porc XVII :						
Per. 1	4 357	1 316	1 660	1 652	1 045	0,80
Per. 2	4 550	1 306	1 780	1 781	989	0,76
Per. 3	3 215	960	1 875	640	700	0,73
Per. 5	4 367	1 314	2 080	1 175	1 112	0,85

(Landw. Versuchs Stationen, 116, 1).

Porc 6 :						
Per. 2	4 821	1 410	2 130	1 852	839	0,60
Per. 3	4 185	1 219	2 200	1 202	783	0,64
Per. 4	4 636	1 391	2 260	1 523	853	0,61

Porc 7 :						
Per. 1	4 701	1 387	2 130	1 779	892	0,64
Per. 2	5 366	1 586	2 240	2 234	892	0,57
Per. 3	4 745	1 394	2 330	1 552	863	0,62

(Landw. Versuchs Stationen, 118-119, 307).

Per. 1	5 093	1 424	2 150	1 864	1 079	0,76
Per. 2	5 742	1 605	2 250	2 164	1 328	0,83
Per. 3	5 697	1 601	2 280	2 054	1 363	0,85

(Landw. Versuchs Stationen, 120-121, 1; 1934).

A Per. 3	5 194	1 482	2 400	1 830	964	0,65
B Per. 3	5 155	1 482	2 410	1 662	1 083	0,73
19 Per. 2	5 052	1 497	1 880	1 871	1 301	0,87
Per. 4	4 817	1 445	2 150	1 534	1 133	0,79
23 Per. 2	5 022	1 497	1 870	1 929	1 223	0,82
Per. 4	4 818	1 445	2 140	1 565	1 113	0,77
4 Per. 2	6 085	1 761	2 520	2 431	1 134	0,65

12. — Expériences de LEROY et coll. (données non publiées), 1940.

Porc A :						
Per. 2	5 889	2 151	1 380	2 219	2 290	1,06
Per. 3	9 628	3 100	1 600	5 038	2 990	0,96
Per. 4	6 989	3 206	1 975	2 223	2 791	0,87
Per. 5	12 017	4 424	2 160	5 547	4 310	0,97
Per. 6	12 765	4 466	2 220	7 644	2 901	0,65

N° de l'essai	Énergie métabolisable	Mat. sèche ingérée :	Énergie de l'entretien	Énergie de la production	M — (E + P)	M — (E + P)
	M cal.	Ms g	E cal.	P cal.	cal.	Ms cal. par g

12. — Expériences de LEROY et coll. (données non publiées) 1940 (suite)

Porc B :						
Per. 2	5 149	2 015	1 380	1 826	1 943	0,96
Per. 4	7 487	2 623	2 080	2 620	2 787	1,06
Porc C :						
Per. 2	6 155	2 023	1 300	2 840	2 015	1,00
Per. 3	7 165	2 442	1 520	3 653	1 992	0,82
Per. 4	9 375	3 382	1 790	5 321	2 264	0,67
Per. 5	11 005	3 934	2 020	5 348	3 637	0,92
Per. 6	12 014	4 424	2 135	6 518	3 361	0,76
Per. 7	12 997	4 466	2 190	7 015	3 792	0,85

13. — Expériences de LEROY et LÉRY.

(Annales Agronomiques, 1^{er} trimestre 1946).

Porc de :						
2 K. 5	786	163	208	437	141	0,86
12 K. 7	2 785	815	645	1 335	805	0,99
25 K. 2	3 991	1 550	1 060	1 578	1 353	0,87
27 K. 4	4 879	1 610	1 120	2 163	1 596	0,99
30 K. 6	5 474	1 800	1 200	2 509	1 765	0,98

Poids de l'animal kg	Énergie métabolisable	Mat. sèche consommée	Énergie de l'entretien	Énergie de la production	M — (E + P)	M — (E + P)
	M cal.	Ms g	E cal.	P cal.	cal.	Ms cal. par g

14. — EXPÉRIENCES EXTENSIVES SUR PORCS AVEC DIVERS MODES D'ALIMENTATION

1. — Normes danoises avec lait écrémé et céréales.

15	2 125	613	715	900	510	0,83
25	3 280	948	1 060	1 425	795	0,84
35	4 725	1 361	1 280	2 200	1 245	0,91
45	6 110	1 762	1 470	3 060	1 580	0,90
55	7 100	2 047	1 650	3 650	1 800	0,88
65	7 875	2 259	1 810	4 050	2 015	0,89
75	9 025	2 593	1 950	4 750	2 325	0,90
85	9 700	2 777	2 050	5 150	2 500	0,90
96	10 200	2 914	2 165	5 450	2 585	0,89

2. — Normes françaises avec sérum de fromagerie.

(GUITTONNEAU et LEROY. *Le Porc*, par A.-M. LEROY, librairie Hachette).

kg						
40	5 684	1 710	1 400	2 625	1 659	0,97
60	7 366	2 220	1 730	3 509	2 127	0,96
80	8 770	2 640	2 020	4 147	2 603	0,98
100	10 483	3 240	2 240	5 240	3 003	0,93

3. — Expériences avec avoine.

(LEROY et ZELTER. — *Rapports d'expériences sur l'Alimentation du bétail* ; Conseil supérieur de l'Élevage, Paris, 1936).

kg						
16	1 957	580	800	616	541	0,93
18	2 613	750	870	1 159	584	0,78
22	3 456	1 060	950	1 521	985	0,93
20	2 524	735	920	957	827	0,89
23	3 607	1 065	960	1 650	997	0,93
28	4 100	1 250	1 140	1 866	1 094	0,88
45	6 067	1 880	1 490	2 900	1 677	0,89
79	9 962	3 080	1 790	5 222	2 950	0,96

Quatrième série

ESSAIS SUR LAPINS

17. — Expériences suédoises d'A. HELLBERG.
 (A. HELLBERG — Metabolism of rabbits at different planes of nutrition,
 ALMQUIST et WIKSELLS, Uppsala 1949).

N° de l'essai	Poids du sujet	Énergie métabolisable	Mat. sèche ingérée	Énergie de l'entretien	Énergie de la production	M — (E + P)	M — (E + P) Ms
	kg	M cal.	Ms g	E cal.	P cal.	cal.	cal. par g
Première partie :							
20-3	3,19	372	129	148	125	99	0,77
28-5	3,01	348	123	140	113	95	0,77
26-3	3,01	344	120	140	108	96	0,80
27-4	3,18	331	115	148	93	90	0,78
3-1	2,94	308	107	139	77	88	0,82
6-2	3,06	301	107	143	76	82	0,77
5-1	3,15	300	103	146	63	91	0,88
20-4	2,97	261	90	139	58	64	0,71
2-1	2,95	275	89	139	63	73	0,82
4-2	2,89	247	89	138	29	80	0,90
1-1	2,80	267	88	136	63	68	0,77
21-3	2,68	229	81	128	33	68	0,84
23-4	2,91	243	80	138	41	64	0,80
35-5	2,90	214	74	138	25	51	0,69
8-2	3,09	205	71	144	0	61	0,86
7-1	3,08	206	71	143	5	58	0,82
22-5	2,79	179	63	132	— 8	47	0,75
24-3	2,77	183	62	132	10	41	0,66
Deuxième partie :							
107-3	3,28	234	75	151	6	77	1,02
2	3,30	299	98	152	46	101	1,03
107-1	3,26	366	120	150	86	130	1,08
97-2	3,29	232	75	152	14	66	0,88
3	3,40	296	98	156	56	84	0,86
1	3,26	353	120	150	90	113	0,94
122-3	3,18	231	75	147	— 8	84	1,12
2	3,25	299	98	150	38	111	1,13
1	3,25	361	120	150	82	129	1,08
133-2	3,25	220	75	150	8	62	0,82
3	3,27	288	98	151	52	85	0,87
1	3,26	342	120	150	78	114	0,95
174-3	3,15	232	75	145	9	78	1,04
2	3,20	297	98	148	56	93	0,95
1	3,20	364	120	148	98	118	0,98
175-2	3,05	224	75	143	14	67	0,89
3	3,11	292	98	145	53	94	0,96
1	3,14	360	120	145	98	117	0,97
191-3	3,34	232	75	154	4	74	0,99
2	3,43	289	98	157	53	79	0,81
1	3,42	360	120	157	83	120	1,00
14-2	3,19	219	75	147	5	67	0,89
3	3,22	295	98	148	66	81	0,83
1	3,19	360	120	147	102	111	0,92
195 2	3,25	227	75	150	12	65	0,87
3	3,37	290	98	155	55	80	0,82
1	3,34	352	120	154	79	119	0,99
4-2	3,14	220	75	145	12	63	0,84
3	3,19	289	98	147	57	85	0,87
1	3,23	347	120	148	79	120	1,00

N° de l'essai	Poids du sujet kg	Énergie métabolisable	Mat. sèche ingérée	Énergie de l'entretien	Énergie de la production	M - (E + P)	$\frac{M - (E + P)}{Ms}$
		M cal.	Ms g	E cal.	P cal.	cal.	cal. par g

Deuxième partie (suite) :

185-3	3,30	224	75	152	0	72	0,96
2	3,38	292	98	156	56	80	0,82
1	3,47	362	120	158	98	106	0,88
184-2	3,24	212	75	150	6	56	0,75
3	3,32	282	98	152	56	74	0,76
1	3,43	351	120	157	93	101	0,84
12-3	3,15	225	75	145	5	75	1,00
2	3,18	292	98	147	51	94	0,96
1	3,19	351	120	147	90	114	0,95

Troisième partie :

I a	2,79	305	104	132	79	94	0,90
II a	2,70	305	103	129	92	84	0,82
II b	2,86	300	106	135	70	95	0,90
III a	2,54	295	109	123	72	100	0,92
III b	2,75	295	104	131	74	90	0,86
III c	2,99	293	101	140	60	93	0,92
III d	3,18	292	108	148	65	79	0,73
III e	3,42	284	104	157	50	77	0,74
III f	3,65	294	104	165	52	77	0,74
IV a	2,63	316	103	126	100	90	0,87
IV b	2,83	318	99	134	95	89	0,90
IV c	3,11	318	106	145	93	80	0,76
IV d	3,34	312	103	154	80	78	0,76
IV e	3,48	311	103	158	81	72	0,70
IV f	3,62	309	103	164	69	76	0,74
V a	2,60	308	103	125	93	90	0,87
V b	2,83	317	103	133	95	75	0,73
V c	3,03	303	103	142	74	87	0,85
V d	3,41	312	103	157	74	81	0,79
V e	3,51	315	103	160	74	81	0,79
V f	3,82	307	103	172	59	76	0,74

Au cours de l'impression de ce travail, nous avons eu connaissance d'une thèse publiée à Zurich, par J. BARBORIAK, sur le métabolisme énergétique du lapin. Au moyen des données de cet auteur, obtenues à la suite de 14 expériences effectuées avec 5 sujets, nourris d'aliments progressivement enrichis en cellulose brute, nous avons pu calculer un rapport $\frac{M - (E + P)}{Ms}$ de $0,90 \pm 0,053$. La

différence de cette moyenne avec celle de l'ensemble des résultats provenant des expériences de Hellberg, qui est de $0,040 \pm 0,054$, est dépourvue de signification.

Nous nous permettons de regretter que le travail de J. BARBORIAK nous soit parvenu trop tard pour nous permettre de faire figurer les données que nous avons pu en extraire à la suite des précédentes.

Cinquième série :

ESSAIS SUR VOLAILLES

DÉTERMINATION EXPÉRIMENTALE DE L'ÉNERGIE NETTE
DISPONIBLE POUR LES VOLAILLES PROVENANT DE L'INGESTION
DE DIVERSES CÉRÉALES

18. — DÉTERMINATION DE LA VALEUR ÉNERGÉTIQUE NETTE DE L'ORGE
ET DU MAÏS. (G. S. FRAPS. *Texas Agr. Exp. Station Bull.* 625 ; 1942).

Désignation du produit	Énergie métabo- lisable p. 100 g de produit ingéré	Mat. sèche correspondante	Énergie nette correspondante mesurée	Différence M — Ne	$\frac{M - Ne}{Ms}$ cal. par g
	M cal.		Ne cal.		
Orge	282,5	87,2	197	85,5	0,98
Maïs	338	88,2	243	95	1,07

19. — DÉTERMINATION DE LA VALEUR ÉNERGÉTIQUE NETTE DE L'AVOINE
(F. BACHMANN. — *C. R. du VIII^e Congrès international d'Aviculture*).

Désignation du produit	Énergie métabo- lisable p. 100 g de produit ingéré	Mat. sèche correspondante	Énergie nette correspondante mesurée	Différence M — Ne	$\frac{M - Ne}{Ms}$ cal. par g
	M cal.		Ne cal.		
Avoine	265	88,8	174	91	1,02

20. — EXPÉRIENCES SUR VOLAILLES EN PONTE ET A L'ENTRETIEN
(A. M. LEROY et J. DELAGE. — *Annales de la nutrition et de l'Alimentation*, 209-244 ; 1954).

Volaille en ponte

Poids de la volaille	Poids de l'œuf pondu	Énergie métabo- lisable	Mat. sèche ingérée	Énergie de l'entretien	Énergie de la production	M — (E + P)	$\frac{M - (E + P)}{Ms}$ cal. par g
		M cal.		E cal.	E cal.		
kg	g	cal.	g	cal.	cal.	cal.	cal. par g
2,0	60	398	114	162	120	116	1,02

Volaille à l'entretien

2,0	228	67	162	—	66	0,99
-----	-----	----	-----	---	----	------

Sixième série

EXPÉRIENCES SUR RATS BLANCS

21. — Expériences de E. B. FORBES, M. KRISS, C. R. MILLER.
 Institut of animal nutrition. Pennsylvania state college. (*Journal of Nutrition*, 8, 535; 1934).

(Données analysées et revues par A. M. Leroy — exprimées en grandes calories).

N° des animaux	Essais	Poids des animaux g	Énergie dépensée en 24 heures (apr. correction) M cal.	Énergie de l'entretien (apr. correction) E cal.	Différence M — E cal.	Mat. sèche consommée g	M — E Ms	
							par essai	Moyennes
							cal. par g	cal. par g
457 ...	A	111	22,8	17,3	5,5	7,2	0,76	0,75
	B	101	17,3	14,8	2,5	3,6	0,70	
	C	116	20,8	16,6	4,2	5,4	0,78	
458 ...	A	115	23,0	16,0	7,0	7,2	0,98	0,97
	B	107	17,5	13,9	3,6	3,6	1,00	
	C	120	20,4	15,4	5,0	5,4	0,92	
459 ...	A	139	29,4	18,9	10,5	7,2	1,46	1,25
	B	107	20,1	15,8	4,3	3,6	1,19	
	C	120	22,2	16,3	5,9	5,4	1,09	
460 ...	A	123	24,2	15,2	9,0	7,2	1,25	1,11
	B	111	16,5	12,7	3,8	3,6	1,05	
	C	121	19,3	13,8	5,5	5,4	1,02	
461 ...	A	127	25,0	17,3	7,7	7,2	1,07	0,91
	B	108	17,0	13,8	3,2	3,6	0,89	
	C	120	19,4	15,2	4,2	5,4	0,78	
462 ...	A	124	23,4	15,5	7,9	7,2	1,10	0,97
	B	111	16,1	12,9	3,2	3,6	0,89	
	C	117	18,6	13,6	5,0	5,4	0,92	
463 ...	A	117	22,9	13,9	9,0	7,2	1,25	1,05
	B	103	14,3	11,3	3,0	3,6	0,83	
	C	114	18,3	12,5	5,8	5,4	1,07	
464 ...	A	128	28,9	16,8	12,1	7,2	1,68	1,11
	B	110	16,5	13,5	3,0	3,6	0,83	
	C	124	19,6	15,1	4,5	5,4	0,83	

22. — Expériences de E. AARS-JORGENSEN et H. DAM.
 Dep. of biocemistry and nutrition — Polytechnie Institut — Copenhagen
 (*British Journal of Nutrition*, 8, 3; 1954).

Résultats moyens pour groupes de six rats chacun

6 DERNIÈRES SEMAINES DE L'EXPÉRIENCE

No de l'essai	Poids moyen d'un sujet g	Mat. sèche ingérée Ms g	Énergie métabolisable M cal.	Énergie de l'entretien E (1) cal.	Énergie de la production P (2) cal.	M — (E + P) cal.	M — (E + P) Ms
							cal. par g
1	198	7,3	34,7	25,8	1,5	7,4	1,01
2	213	7,8	37,1	26,8	1,5	8,8	1,13
3	210	6,0	33,6	26,5	1,7	5,4	0,90
4	204	8,6	39,5	25,7	1,7	12,1	1,40
5	226	9,2	39,4	28,2	1,7	9,5	1,03
6	235	7,0	36,8	29,2	1,8	5,8	0,83
7	221	6,5	36,9	27,6	1,7	7,6	1,17
8	238	7,0	37,5	29,6	1,7	6,2	0,89

(1) Évalué d'après la table correspondant aux animaux abondamment nourris.

(2) Évalué d'après le gain de poids vif, à raison de 2 cal. par g de gain.

Comme il est aisé de le constater, les quotients ainsi obtenus se groupent autour d'une même valeur moyenne $\frac{M - (E + P)}{Ms}$, qui, pour chacune des espèces animales envisagées, est voisine de 1 calorie par gramme de matière sèche. Voici, classés par espèces, les résultats de ces calculs, accompagnés de leur moyenne générale.

TABLEAU III

Valeurs, pour chaque espèce animale considérée, des moyennes du quotient $\frac{M - (E + P)}{Ms}$ exprimé en calories, la matière sèche étant exprimée en grammes.

Espèce animale	Valeur moyenne du coefficient
	$\frac{M - (E + P)}{Ms}$
Bovins	0,974 ± 0,007
Ovins	1,032 ± 0,016
Porcins	0,849 ± 0,010
Lapins	0,860 ± 0,009
Volailles	1,016 ± 0,011
Rats blancs	1,022 ± 0,022
Moyenne générale	0,928 ± 0,005

La figure 5 montre comment les données de chacune de ces collections se groupent autour de la valeur moyenne correspondante. La dispersion régulière de ces données semble conforme à la loi de Gauss.

Différences entre les données obtenues avec chaque espèce :

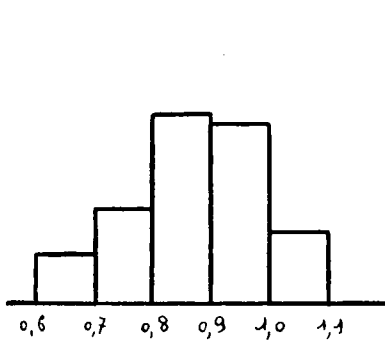
Si la différence entre les moyennes des résultats observés sur les bovins et les ovins est à la limite de la signification, l'écart que nous pouvons calculer entre la moyenne des porcins et celle des lapins est du même ordre de grandeur que son erreur. Mais l'écart entre le coefficient des bovins et celui des porcins, ainsi que celui qui existe entre les coefficients des bovins et des lapins, sont suffisamment éloignés de leur limite d'erreur pour que nous puissions les prendre en sérieuse considération, comme le montrent les données du tableau 4 :

TABLEAU IV

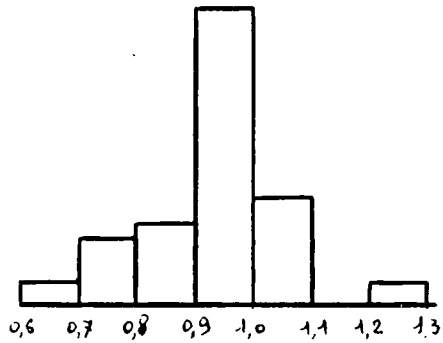
Ecarts entre les coefficients $\frac{M - (E + P)}{Ms}$ correspondant aux espèces animales examinées.

Entre le coefficient des bovins et celui des ovins	0,058 ± 0,0175
Entre le coefficient des porcins et celui des lapins	0,011 ± 0,0134
Entre le coefficient des bovins et celui des porcins	0,125 ± 0,0122
Entre le coefficient des bovins et celui des lapins	0,114 ± 0,0114

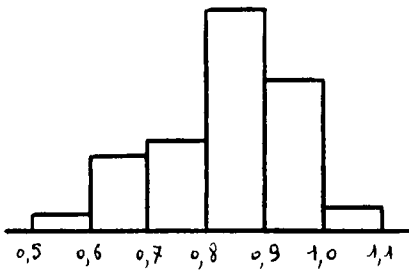
Figure 5



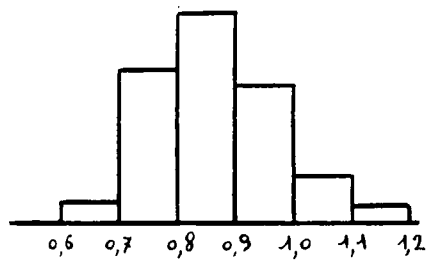
Bovins.



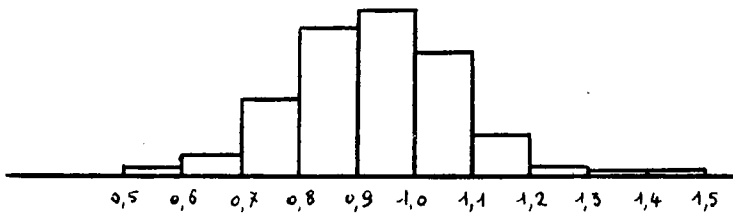
Ovins.



Porcins.



Lapins.



Toutes données réunies.

Il semble donc exister une différence entre les ruminants et les monogastriques, en ce qui concerne le jeu de l'action dynamique spécifique des aliments, ce qui peut sans doute s'expliquer par la rapidité avec lesquels ces derniers peuvent ingérer leur nourriture. Si les résultats obtenus avec les volailles et les rats paraissent faire exception à cette règle, c'est vraisemblablement parce que le petit nombre des mesures dont nous disposons et aussi les difficultés de celles-ci, ne nous ont pas permis de calculer les indices correspondants avec la même précision que pour les quatre autres espèces. De nouvelles recherches devraient donc être entreprises pour vérifier l'exactitude de cette opinion.

Analyses des résultats obtenus pour chaque espèce :

Un examen attentif des données que nous avons précédemment reproduites nous montre que le coefficient d'accroissement du métabolisme par rapport à la matière sèche paraît dépendre du rapport de l'énergie nette totale, $E + P$, à l'énergie d'entretien E . Pour vérifier le bien-fondé de cette constatation, nous avons calculé le coefficient de corrélation entre les valeurs du rapport $\frac{E + P}{E}$ et celles des rapports $\frac{M - (E + P)}{M_s}$ correspondants. Voici, pour les bovins, les porcins et les lapins, les valeurs respectives de ces coefficients de corrélation (tableau 5).

TABLEAU V

<i>Corrélation entre les valeurs des rapports $\frac{M - (E + P)}{M_s}$, et les valeurs correspondantes du rapport $\frac{E + P}{E}$</i>	Coefficient de corrélation
Bovins	+ 0,221
Porcins	+ 0,393
Lapins	- 0,062

Pour les bovins, le calcul de ce coefficient de corrélation pour la seule série des expériences de FORBES donne comme résultat + 0,363.

S'il existe bien, pour les bovins et les porcins, un coefficient de corrélation nettement positif, la relative faiblesse de ce dernier montre que la règle de proportionnalité qui paraît lier l'augmentation de l'énergie dépensée par gramme de matière sèche et le quotient de l'énergie nette totale à l'énergie de l'entretien souffre de nombreuses exceptions. Cette constatation peut parfaitement s'expliquer si l'on se souvient que ce qui conditionne l'influence de la hausse du métabolisme pendant les repas sur la dépense calorifique totale des 24 heures, c'est essentiellement la

durée de l'ingestion des aliments. Or, d'un animal à l'autre, la durée d'ingestion d'une même quantité de matière sèche peut parfaitement varier, selon les dimensions de l'armature buccale des animaux et surtout la plus ou moins grande vivacité de leurs mouvements de mastication et de déglutition. Ainsi peuvent s'expliquer les différences qui s'observent sur des animaux de la même espèce, autant que l'on en peut juger par l'examen comparé des données ci-après correspondant à des individus déterminés (tableau VI).

TABLEAU VI

<i>Différence entre les rapports</i>		$\frac{M - (E + P)}{Ms}$
<i>correspondant à des individus de la même espèce</i>		
		Coefficient moyen $\frac{M - (E + P)}{Ms}$
<i>Bovins</i>		Calories par g de matière sèche
Expériences de KELLNER :		
Animal N° 5		1,04
— N° 6		1,15
— D		1,00
— E		1,10
— F		1,06
Expériences de FINGERLING :		
Animal W		1,12
— 17		1,04
— X		1,06
Expériences de FORBES :		
Animal A		0,82
— B		0,90
<i>Porcins</i>		
Expériences de FINGERLING :		
Animal XVI		0,87
— XVII		0,78
<i>Lapins</i>		
Expériences de A. HELLBERG :		
Animal 112		1,11
— 14		0,88
— 174		0,99
— 184		0,78

Différences obtenues sur des sujets appartenant à la même espèce, observés par des expérimentateurs différents :

Il existe des différences significatives entre les résultats obtenus sur des bovins par les auteurs allemands, d'une part, par les auteurs américains et par MOLLGAARD, d'autre part, comme l'indiquent les données du tableau 7 ci-dessous.

TABLEAU VII

Différences entre les rapports $\frac{M - (E + P)}{M_s}$

correspondant aux expériences sur bovins faites par différents auteurs.

Valeurs de $\frac{M - (E + P)}{M_s}$:

	Calories par g de m.s. :
Expériences de KELLNER et de FINGERLING :	a) 1,03 ± 0,007 ;
Expériences de FORBES et de MITCHELL-HAMILTON :	b) 0,89 ± 0,010 ;
Expériences de MOLLGAARD :	c) 0,93 ± 0,013.

Différence entre a et b : 0,14 ± 0,012 très significatif ;

Différence entre a et c : 0,10 ± 0,015 très significatif ;

Différence entre b et c : 0,04 ± 0,016 non significatif.

Si la différence entre les résultats calculés d'après les données des auteurs allemands et ceux qui concernent les vaches laitières observées par MOLLGAARD peuvent éventuellement s'expliquer par des dépenses énergétiques différentes provenant de la transformation des matériaux nutritifs en matières azotées et grasses, dans le cas de la croissance et de l'engraissement, ou en matières azotées, lactose et matières grasses, dans le cas de la production laitière, on ne saurait expliquer de la même manière la différence constatée entre les données des auteurs allemands et des auteurs américains, qui ont opéré sur des animaux en état d'entretien ou d'engraissement.

Remarquons, tout d'abord, que le rapport moyen $\frac{E + P}{E}$ pour les expériences effectuées par KELLNER et FINGERLING s'élève à 1,55, alors qu'il n'est que de 1,30 pour la série des expériences de Forbes. Mais une observation attentive des conditions expérimentales dans lesquelles ont travaillé ces auteurs peut nous faire comprendre la raison de cette différence. En effet, la durée totale des repas quotidiens d'un animal ne dépend pas seulement de la quantité totale de matière sèche ingérée au cours de ces repas ; elle dépend aussi de la structure physique de cette matière sèche, ainsi que de la plus ou moins forte quantité d'eau qui accompagne les matériaux organiques de la ration ingérée.

Tandis qu'il faut à un bovin de 20 à 30 minutes pour absorber un kilogramme de la matière sèche contenue dans le foin, selon la qualité de cet aliment, une quantité analogue de matière sèche provenant d'un aliment concentré présenté sous forme d'agglomérés peut être consommée en moins de dix minutes. Le plus ou moins grand degré d'appétence de l'animal pour les aliments qu'on lui présente exerce également une action sur la durée de consommation de l'ensemble des matériaux nutritifs composant la ration journalière, et cette appétence peut d'ailleurs fort bien ne pas être la même pour des individus d'un même troupeau,

car tous les animaux ne subissent pas d'une manière uniforme l'effet des excitants, agissant à la fois sur leur vue, leur odorat ou leur goût, qui conditionne le phénomène. Or, les animaux observés par FORBES et ses collaborateurs, d'une part, et par MITCHELL et HAMILTON, d'autre part, ont reçu des quantités d'aliments concentrés proportionnellement beaucoup plus grandes que celles des bœufs de KELLNER et de FINGERLING, ce qui explique fort bien l'existence de la différence entre les indices précédemment constatée.

L'influence exercée par la plus ou moins grande quantité d'eau absorbée avec les aliments peut être mise en évidence, pour les porcs, par la comparaison des données concernant l'alimentation avec sérum de fromagerie, d'une part, et l'alimentation effectuée selon les normes danoises, avec lait écrémé, d'autre part. Pour les porcs nourris au sérum, l'énergie calorifique perdue par gramme de matière sèche ingérée est de 0,96 calories, alors qu'elle n'est que de 0,88 calories pour les porcs nourris d'après la méthode danoise. Tandis qu'un porc de 60 kg nourri au sérum doit absorber 12 à 15 litres de liquide par jour, la ration d'un porc danois limitée à 7-8 litres de liquide est consommée beaucoup plus rapidement, ce qui réduit la durée pendant laquelle la dépense énergétique de l'animal atteint son niveau maximum, et donne aux porcs ainsi alimentés un net avantage par rapport à ceux recevant du sérum.

Pour la même raison, une ration abondante de pommes de terre cuites est consommée moins vite qu'une quantité équivalente, sous le rapport de l'énergie métabolisable, d'un aliment comportant des cossettes de pommes de terre desséchées. Il en résulte — à quantité égale de matière sèche — une légère réduction de l'équivalent nutritif des tubercules par rapport à la substance obtenue après leur dessiccation préalable. A deux reprises, nous avons apporté nous-mêmes, avec nos collaborateurs R. FEVRIER et G. CHARLET-LERY, des preuves expérimentales de l'influence d'une réduction de la durée de consommation des aliments sur l'efficacité nutritive de ces derniers. En opérant avec des porcs, nous avons montré qu'en réduisant la durée totale des deux repas journaliers à 20 minutes, il était possible d'accroître d'environ 8 p. 100 l'efficacité des matériaux ingérés, par rapport à la même alimentation distribuée ad libitum. Autrement dit, en réglementant strictement la durée de l'accès des animaux à leur mangeoire, sans modifier en quoi que ce soit la quantité journalière de matière sèche ingérée, nous avons constaté qu'il fallait 8 p. 100 de matière sèche de moins pour obtenir de nos animaux un accroissement d'un kilogramme de poids vif.

Dans une autre expérience, après avoir constaté que des volailles consommaient plus rapidement une ration composée de grains et de granules qu'une autre composée des mêmes aliments présentés sous la forme de farine grossière, nous avons mesuré exactement, sur deux lots

de poules aussi identiques que possible, la quantité d'aliments consommée correspondant à la ponte d'un œuf de 60 grammes.

Les résultats obtenus nous ont montré que l'effet nutritif de 100 grammes d'une nourriture composée de granulés était entièrement comparable à celui de 110 grammes du même aliment consommés sous forme de mash sec. Tout ceci prouve à l'évidence que la durée de consommation des aliments exerce une action indéniable sur l'utilisation de la quantité d'énergie métabolisable qu'ils apportent. L'éleveur doit donc s'ingénier à rechercher des animaux mangeant le plus vite possible une quantité d'aliments en rapport avec leur capacité de transformation de ces derniers en viande ou en lait. L'expérience montre, par exemple, que les grandes championnes laitières sont douées d'un robuste appétit, que les éleveurs s'efforcent de rassasier au moyen d'aliments ingérés rapidement, sous forme de produits concentrés correctement équilibrés. De même, les porcs gros mangeurs sont ceux qui s'engraissent le plus vite, avec la moindre dépense de matériaux nutritifs par rapport à leur gain de poids vif.

Influence de l'excès de l'alimentation azotée sur la dépense supplémentaire entraînée par la consommation d'un gramme de matière sèche

Si nous considérons maintenant les résultats des expériences au cours desquelles les animaux ont reçu des quantités de matières azotées digestibles dépassant largement leurs besoins, nous pouvons constater que la dépense supplémentaire d'énergie par gramme de matière sèche, en supplément de l'énergie du strict entretien E, se trouve augmentée dans une notable proportion. Il suffit pour cela d'examiner les données du tableau ci-après :

TABLEAU VIII

Référence	N° de l'essai	Mat. azotée digest. par kg vif g	Mat. sèche ingérée g	Énergie métabolisable cal.	Énergie de l'entretien cal.	Énergie de la production cal.	M - (E + P) cal.	$\frac{M - (E + P)}{Ms}$ cal. par g	
<i>Expériences de KELLNER et KOHLER</i>									
Landw. Vers. Stat. V. 53	B 1	1,90	12 237	33 455	8 339	8 077	17 039	1,39	
	B 3	1,77	12 597	34 216	8 580	8 758	16 978	1,35	
	C 3	2,43	12 597	33 085	8 650	9 748	14 687	1,16	
	3-3	1,24	8 235	22 371	8 710	4 077	12 787	1,16	
	3-4	1,96	8 930	25 068	8 920	5 287	10 861	1,21	
	4-3	1,35	8 410	22 697	8 310	4 010	10 377	1,23	
	D-4	2,34	12 371	32 229	9 880	8 221	14 128	1,14	
	E-4	2,12	10 618	26 703	9 600	3 146	13 957	1,31	
	J-2	1,61	10 205	25 836	8 270	5 205	12 361	1,20	
	<i>Expériences de FINGERLING</i>								
	Landw. Vers. Stat. 118-119	16,3	2,35	9 459	25 360	9 300	3 321	12 739	1,34
16,4		2,57	9 450	24 659	9 310	3 238	12 111	1,28	

Avec l'ensemble des données de KELLNER et KOHLER, il est possible de montrer l'existence d'une corrélation positive entre l'excédent de dépense calorifique par gramme de matière sèche ingérée et la teneur de la ration en matière azotée totale digestible par kilogramme de poids vif des animaux. Le coefficient de corrélation correspond est de + 0,498. La hausse du métabolisme, provenant de l'excès des matières azotées, est nettement supérieure à celle que l'on pourrait obtenir en appliquant la loi formulée par BORSOOCK, d'après laquelle cet accroissement de perte énergétique serait, comme nous l'avons rappelé précédemment, de 8,4 c par gramme d'azote excédentaire éliminé par l'urine. Il semble donc bien que les matières azotées distribuées en excédent stimulent certaines fonctions organiques, et diminuent de ce fait fortement le coefficient d'utilisation de l'énergie métabolisable. Il convient donc, pour obtenir le maximum d'efficacité des aliments distribués, de respecter scrupuleusement les règles de l'alimentation rationnelle, qui sont, rappelons-le, les suivantes :

TABLEAU IX

Règles à respecter pour éviter à la fois l'insuffisance et l'excès des matériaux azotés de la ration alimentaire

Quantité de matière azotée exprimée, pour les ruminants, en équivalents protéiques, et, pour les monogastriques, en matières protéiques digestibles :

Animaux à l'entretien : 0,5 g par kg de poids vif ;

Animaux adultes, à l'engraissement : 1,0 g par kg de poids vif.

Pour la production laitière, en supplément de la ration d'entretien, par kg de lait produit

Vaches laitières : 60 g ;

Brebis et truies : 100 à 120 g.

Utilisation pratique des données précédentes :

De l'importante documentation qui précède, il est possible de déduire une méthode d'alimentation, qui possède l'avantage d'être à la fois moins empirique et plus facile à exposer que les méthodes faisant appel à la conception de l'énergie nette, dont le prototype est celle des équivalents en amidon de KELLNER.

En effet, l'équation fondamentale de l'équilibre énergétique d'un animal, placé dans des conditions de température telles que ni la chaleur ni le froid excessifs ne peuvent intervenir sur son métabolisme, s'énonce, nous l'avons vu, de la manière suivante :

$$M = E + K Ms + P$$

(Energie métabolisable) (Energie de l'entretien) (m. sèche ingérée) (Energie nette des produits obtenus)

dans laquelle la valeur de K est égale, pour simplifier, à 1,00 pour les ruminants et les volailles, et à 0,9 pour les lapins et les porcs.

A partir des teneurs en matière organique digestible des aliments qui figurent dans les tables usuelles, nous pouvons calculer rapidement la quantité d'énergie métabolisable correspondante. Il suffit pour cela d'ajouter au total de la matière organique digestible contenue dans un kilogramme de l'aliment considéré, le résultat de la multiplication de la quantité de matière grasse digestible par le coefficient 1,25. On obtient ainsi la somme des « éléments digestibles totaux » désignés par les auteurs américains sous le nom de T. D. N. (Total digestible nutrients). La somme en question, multipliée par 3,65 (cas des ruminants), 4,1 (cas des porcs, des jeunes ruminants non sevrés et des volailles), ou par 4,2 (cas des lapins), fournit une mesure suffisamment précise de l'énergie métabolisable, comme il est possible de s'en assurer par la comparaison des mesures directes de cette énergie effectuées par KELLNER, FINGERLING, MOLLGAARD, LEROY-ZELTER, HELLBERG, aux quantités de matières organiques digestibles correspondantes :

TABLEAU X

Justification des coefficients à utiliser pour le calcul de l'énergie métabolisable à partir des éléments digestibles totaux

Expérimentateurs	Espèce animale envisagée	Nombre d'expériences	Coefficient de multiplication
KELLNER et KOHLER....	Bovins	39	3,59 ± 0,009
FINGERLING	Bovins	28	3,68 ± 0,010
MOLLGAARD	Vaches laitières	15	3,69 ± 0,010
	Moyenne pour les expériences sur bovins ..	92	3,64 ± 0,006
LEROY-ZELTER.....	Agneaux récemment sevrés	3	4,10 ± 0,056
LEROY-ZELTER.....	Brebis	4	3,69 ± 0,029
FINGERLING	Porcins	32	4,12 ± 0,003
HELLBERG	Lapins	67	4,19 ± 0,008

D'autre part, lorsque l'on connaît le poids d'un animal, il est aisé de déterminer l'importance de ses besoins d'entretien, exprimés en grandes calories, à l'aide du tableau 2. Il suffit ensuite de savoir quel est, exprimée en calories, la quantité de produit que l'on veut obtenir, pour calculer la masse des aliments nécessaires à l'animal. Voici, au moyen d'un exemple simple, comment on peut de cette manière établir un rationnement.

Supposons que nous voulons connaître le poids de foin de pré de très bonne qualité nécessaire au maintien en équilibre énergétique d'une vache laitière de 600 kg donnant 15 kg de lait à 4 p. 100 de matière grasse, dont la valeur calorifique est de 750 calories par kg. Le foin que nous cherchons à utiliser contient 535 g de matière organique digestible par kg et sa teneur en matière grasse digestible est de 15 g par kg. Un kilogramme de ce foin fournit à l'animal une quantité d'énergie métabolisable de $(535 + 15 \times 1,25) \times 3,65 = 2\ 020$ calories, pour 840 g de matière sèche.

L'équation qui nous donne la solution du problème présente la forme suivante, dans laquelle x figure la quantité de foin cherchée, exprimée en kilogrammes :

$$2\ 020\ x = 8\ 000 + 840\ x + 11\ 250$$

M
 E
 Ms
 P

d'où

$$x = 16,3 \text{ kg de foin.}$$

Des problèmes plus compliqués peuvent être résolus de cette manière. Ainsi, par exemple, il suffit de connaître la composition de la ration de base composée de produits de la ferme, distribuée à des vaches, pour être en mesure de calculer la quantité d'énergie métabolisable que représente cet apport. Avec des aliments concentrés appropriés, il est facile de composer une formule de mélange, équilibrée en matières azotées digestibles et en matières minérales, et de déterminer la quantité d'énergie métabolisable correspondant à un kilogramme de cette dernière. Un calcul analogue au précédent permet dans ces conditions d'obtenir rapidement la quantité de ce mélange à utiliser pour satisfaire les besoins d'énergie d'une vache dont on connaît le poids et la production quotidienne.

Le problème des substitutions alimentaires :

Imaginons qu'un animal, en parfait équilibre énergétique, reçoive une ration de base R, complétée par un kilogramme d'un aliment de référence A. L'équation qui rend compte de cet équilibre s'écrit de la manière ci-après en choisissant le coefficient de multiplication de la matière sèche égal à 1 (cas des ruminants).

$$(1) \quad R + m = E + Ms \times 0,9 + ms \times 0,9 + P$$

dans laquelle :

R représente la quantité d'énergie métabolisable de la ration de base ;
 m représente la quantité d'énergie métabolisable apportée par 1 kg de A ;
 Ms représente la quantité de matière sèche de la ration de base ;
 ms représente la quantité de matière sèche apportée par 1 kg de A ;
 E représente le besoin d'entretien de l'animal ;
 P représente le besoin de production ;

1,0 est le coefficient de multiplication de la matière sèche.

Nous voulons calculer la quantité x d'un aliment B, qui, substituée à un kg de A, continue à maintenir l'animal dans les mêmes conditions, c'est-à-dire qui permet de satisfaire les mêmes besoins d'énergie nette, $E + P$.

Appelons m' l'apport d'énergie métabolisable par kg de B, et ms' la quantité correspondante de matière sèche.

La nouvelle équation d'équilibre devient après la substitution :

$$(2) \quad R + m'x = E + Ms \times 1,0 + ms' \times 0,95 \times x + P.$$

Retranchons membre à membre l'équation 2 de la première ; il vient :

$$(3) \quad m - m'x = (ms - ms'x) \times 1,0$$

de laquelle nous tirons :

$$x = \frac{m' - ms'}{m - ms}$$

A titre d'exemple, calculons par cette méthode la quantité de foin de pré de bonne qualité (celui de l'exemple précédent), qui pourrait être substituée à un kilogramme d'orge moyenne, dans la ration d'un ruminant.

Les éléments de ces calculs sont les suivants :

TABLEAU XI

Désignation de l'aliment	Mat. organique digestible par kg	Mat. grasse digestible par kg	Mat. sèche par kg	Énergie métabolisable par kg
Orge	726	23	872	2,756 cal.
Foin de pré, très bonne qualité	535	15	840	2,015 cal.

$$\text{Équivalent de substitution du foin } x = \frac{2,756 - 872}{2,015 - 840} = 1,550 \text{ kg.}$$

Mais l'équilibre ainsi établi n'existe qu'à la condition expresse que l'alimentation azotée de notre animal demeure également en parfait équilibre. S'il n'en était pas ainsi, l'excès de la matière azotée distribuée, par le jeu de l'action dynamique spécifique provenant de l'azote excédentaire, occasionnerait une perte supplémentaire qui ferait disparaître l'équilibre de la balance énergétique. Dans le cas de la substitution du foin de pré à l'orge, nous augmenterions ainsi la quantité de matières azotées digestibles de 84 grammes, correspondant à 13,3 g d'azote. L'élimination de cet azote par l'urine entraînerait théoriquement une perte d'énergie de 112 calories (13,3 × 8,4). Après correction, pour tenir compte de cette contingence, l'équivalent du foin se trouverait ainsi ramené à 1,800 kg.

Pratiquement, à la condition d'utiliser deux ou plusieurs substitutions combinées de telle manière qu'elles n'apportent aucun changement à la quantité totale de matières azotées digestibles disponible pour les animaux, convenablement équilibrée auparavant, les divers aliments peuvent se substituer proportionnellement aux quantités calculées par la méthode précédente. Il est aisé de constater que les équivalents déterminés de cette manière correspondent très exactement aux données essentielles du système des unités fourragères scandinaves, dont la simplicité de conception et les modalités d'emploi se prêtent fort bien à la vulgarisation et qui demeurent toujours pour cette raison hautement recommandables.

Application pratique éventuelle des considérations qui précèdent

L'action dynamique spécifique des aliments ingérés, proportionnelle à l'ingestion de la matière sèche, est la source d'une production de chaleur que l'animal peut utiliser, lorsqu'il s'agit pour lui de lutter contre le froid. Dans le cas de la stabulation libre, par exemple, il est logique de conseiller d'accroître les quantités des aliments grossiers distribués et, dans la mesure du possible, de multiplier le nombre des repas, puisque chaque fois que l'animal mange, l'accroissement de ses activités métaboliques le réchauffe en augmentant son bien-être. Il serait même très utile de placer l'heure du premier repas au moment où la température est la plus froide, c'est-à-dire avant la naissance du jour. Les hygiénistes qui se sont intéressés au problème de l'alimentation de l'homme dans les régions glaciaires préconisent aujourd'hui de fractionner en cinq ou six repas quotidiens d'importance égale les aliments à consommer dans ces conditions, ce qui peut être considéré comme une élégante preuve de la valeur pratique des observations précédentes.

Inversement, dans les pays tropicaux, il est utile de donner aux vaches laitières des repas limités à deux au maximum, composés pour les 3/4 d'aliments concentrés, car la modification obtenue dans ces conditions de la matière sèche ingérée par rapport à l'énergie métabolisable nécessaire réduit de plusieurs milliers de calories la quantité de chaleur-déchet dont l'organisme animal doit se débarrasser, par un mécanisme énergétiquement dispendieux, lorsque la température du milieu qui l'entoure dépasse 25°. Il est recommandable également d'alimenter les animaux de préférence pendant la nuit, au moment où la température extérieure est à son plus bas niveau. Des observations exactement conformes à cette manière de voir ont été faites par un zootechnicien hollandais à l'occasion des Journées d'études organisées en septembre 1954 à Lucerne par la Fédération Européenne de Zootechnie.

CONCLUSION

La méthode de calcul des rations faisant l'objet de ce mémoire possède, sur les procédés utilisés jusqu'alors, un certain nombre d'avantages. Tout d'abord, elle s'applique de la même manière à toutes les espèces animales, quel que soit le format des individus qu'il s'agit de nourrir, ce qui lui confère une très remarquable unité. Elle se rapproche, en outre, par sa conception, des expériences de mesures directes du métabolisme, car le total de l'énergie d'entretien augmenté de la dépense supplémentaire provenant de la matière sèche ingérée représente la perte d'énergie de l'animal, telle qu'elle pourrait être mesurée par calorimétrie

directe ou indirecte. Elle présente aussi l'avantage de nous faire comprendre les raisons pour lesquelles des animaux de la même espèce et de la même race, soumis à la même alimentation, peuvent tirer de celle-ci des effets différents. Si nous possédions le moyen de mesurer par un procédé simple et relativement précis le coefficient de dépense supplémentaire correspondant à l'ingestion d'un gramme de matière sèche, nous aurions le moyen de sélectionner nos animaux d'après ce précieux indice, et de trouver des groupes d'individus caractérisés par la possibilité de s'accroître ou de produire du lait avec une dépense d'aliments inférieure à celle de la moyenne des autres, ce qui pourrait devenir la source d'économies sensibles. L'étude attentive du phénomène de hausse du métabolisme pendant la durée des repas pourrait nous permettre d'en analyser les causes, et d'augmenter nos connaissances encore fragmentaires du mécanisme complexe de l'action dynamique spécifique des aliments. Elle ouvrirait ainsi un champ de recherches d'un intérêt scientifique évident, et pourrait aboutir très rapidement à des applications pratiques capables de rendre de grands services aux éleveurs.

RÉSUMÉ

1° L'étude de 337 expériences de métabolisme énergétique, entreprises sur les animaux de six espèces différentes, par 12 groupes d'auteurs allemands, américains, anglais, français, et scandinaves, montre que la chaleur perdue en 24 heures par un animal normalement alimenté, placé dans des conditions d'équilibre, est égale à la dépense d'entretien augmentée d'autant de fois k calories que la nourriture absorbée renferme de grammes de matière sèche.

2° La valeur de ce coefficient k , qui mesure l'action dynamique spécifique des aliments, considérée dans son ensemble, est, pour toutes les espèces examinées, voisine de 1 calorie par gramme de matière sèche.

Les mesures dont nous donnons le détail dans notre mémoire, ont fourni les résultats ci-après :

	Accroissement de l'action dynamique spécifique provenant des aliments ingérés, par g de matière sèche.
Espèce bovine	0,97 \pm 0,007
— ovine	1,03 \pm 0,016
— porcine	0,85 \pm 0,010
Lapins	0,86 \pm 0,009
Volailles	1,02 \pm 0,011
Rats blancs	1,02 \pm 0,022
Moyenne pour toutes les espèces	0,93 \pm 0,005

3° Pour les ruminants et les porcs, il existe une tendance à l'accroissement de ce coefficient lorsque le rapport de l'énergie nette totale ($E + P$) à l'énergie d'entretien E tend lui-même à augmenter. Le coeffi-

cient de corrélation entre la grandeur de l'indice k et le rapport $\frac{(E + P)}{E}$

est de + 0,22, pour les bovins, et de + 0,39, pour les porcins.

4° L'explication de cette dernière constatation pourrait en partie provenir de l'existence d'un accroissement de la dépense d'entretien lorsque la valeur énergétique nette totale de la ration ($E + P$) tend à s'éloigner notablement de E .

5° Il existe entre les coefficients k mesurés sur certains individus appartenant à une même espèce des différences notables, ce qui donne à penser que l'on peut trouver, parmi les animaux d'une même troupeau, de bons et de mauvais utilisateurs d'aliments.

6° La grandeur du coefficient k est en relation avec la durée totale des repas journaliers de l'animal. Elle a tendance à diminuer quand l'animal consomme sa ration avec une grande rapidité, pendant des périodes de temps limitées volontairement par l'éleveur.

7° A l'aide de la détermination de l'énergie métabolisable correspondant à une ration donnée, et par la connaissance de la quantité totale de matière sèche contenue dans les aliments ingérés, on peut aisément vérifier qu'un animal dont le besoin d'énergie nette totale $E + P$ est connu se trouve ou non en état d'équilibre énergétique. — Le calcul des rations effectué d'après cette méthode donne dans la pratique d'excellents résultats.

8° Il serait utile d'entreprendre des expériences systématiques avec les aliments des différentes catégories (foins, ensilages, racines, tubercules, aliments concentrés) distribués isolément ou en mélange, afin de déterminer l'influence des structures physiques et chimiques de ces fourrages sur leur vitesse de consommation calculée par gramme de matière sèche. Ces essais devraient être effectués au début, au milieu, et à la fin des repas, de manière à pouvoir rechercher dans quelle mesure l'état de réplétion de l'estomac conditionne la vitesse de l'absorption de cette matière sèche.

(Reçu en publication le 23 nov. 1954).

BIBLIOGRAPHIE

- AXELSON (J.). — *Wiss. Abhandlung des deut. Akademic der Land. Wissenschaften zu Berlin*, BV, 2, 1954.
- AXELSON (J.), ARIKSSON (S.). — *Annals of the Royal Agric. College of Sweden*, vol. 20.
- BACHMANN (F.). — *C. R. VIII^e Congrès Intern. d'Aviculture*.
- BARBORIAK (J.). — These; Imp. Brunner et Bodmer, Zürich, 1953.
- BLAXTER (K. L.). — *Nutr. Abstr. and Review*, 20, 50, 1, 1949.
- BLAXTER (K. L.). — *Journal of Nutrition*, 6, 12, 1952.
- BORSOOK-KEIGHLY. — *Science*, 17, 75, 1933.
- BORSOOK-WINEGARDEN. — *Proc. Nat. Ac. Sc.* 16, 559, 1930; *Proc. Nat. Ac. Sc.* 17, 3, 1931; *Proc. Nat. Ac. Sc.* 17, 75, 1931.

- BREIREM (K.). — *162 Beretn. fra Forsogslaborat. Kobenhavn. Tierernahrung*, **11**, 487, 528. *Tids fordet Norske Landbruks*, **60**, 25, 52, 1953.
- BRODY (S.). — *Un. of Missouri. Agr. Exp. Station. Res. Bulletin*, 96, 143, 176, 180, 190, 193, 220, 223, 238, 1926 à 1934.
- FINGERLING (G.). — *Land. Versuchs Stat.*, **113**, **1**, 1932 ; *Land. Versuchs Stat.*, **114**, **1**, 1933 ; *Land. Versuchs Stat.*, **116**, **1**, 1933 ; *Land. Versuchs Stat.*, **118-119**, **1**, 307, 1933 ; *Land. Versuchs Stat.*, **120-121**, **1**, 1934.
- FISSMER (F. E.). — *Zeitsch. für Tierernahrung und Futtermittelkunde*, **5**, **1**, 109, 1941.
- FRAPS (G. S.). — *Texas Agr. Exp. Stat. Bull.* 625, 1942.
- FORBES (E. B.), BRAMAN (W. W.), KRISS (M.). — *Journal of Agr. Res.* 35, 233 ; 1928 ; *Journal of Agr. Res.* 40, 37, 1930 ; *Journal of Agr. Res.* 43, **11**, 105 ; 1931 ; *Journal of Agr. Res.* 46, 8, 753 ; 1933.
- FORBES (E. B.), KRIS (M.), MILLER (R. C.). — *Journal of Nutr.*, **8**, 5-535 ; 1934.
- GOLDSTEIN (S.). — These. Inst. für haustierernahrung an der E.T.H., Juris Verlag, Zürich ; 1950.
- HANSEN-LARSEN (L.), CLAUSEN (H.), JESPERSEN (J.). — *C. R. VI^e Congrès Intern. de Zootechnie, Copenhague* ; 1952.
- HELLBERG (A.). — Thèse. Lib. Almqvist et Wiksells, Uppsala ; 1949.
- JORGENSEN (E. A.), DAM (H.). — *British Journal of Nutr.*, **8**, **3**, 1954.
- KELLNER (O.) KOHLER. — *Land. Vers. Stat.*, 53-1-1900.
- KLEIBER (M.). — *Schweiz. land. Monashefte*, **8**, **13**, 1935 ; 33^e Ann. Proc. of the amer. Soc. of Animal Production ; 1940.
- LEHMANN (F.). — *Zeitschrift für Tierernahrung und Futtermittel kunde*, 155-173 ; 1941.
- LEROY (A. M.). — *C. R. V^e Congrès Intern. de Zootechnie, Paris* ; 1949.
- LEROY (A. M.). — *Ann. de Zootechnie*, Sup. **1**, 47 ; 1952.
- LEROY (A. M.), CHARLET-LERY (G.), ZELTER (Z.). — *Ann. de Zootechnie*, **3**, 169 ; 1954.
- LEROY (A. M.), DELAGE (J.). — *Ann. de la Nutrition et de l'Alimentation*, 209 ; 1954.
- LEROY (A. M.), FÉVRIER (R.). — *Annales Agronomiques*, **5** ; 1947 ; *Annales agronomiques*, **4** ; 1949.
- LEROY (A. M.), LERY (G.). — *Annales Agronomiques*, **1** ; 1946 ; *Annales de Zootechnie*, **1** ; 1952.
- LEROY (A. M.), ZELTER (Z.). — *Publ. Conseil Supérieur de l'Élevage, Paris* ; 1936 ; *Annales de Zootechnie*, **1**, 61-77 ; 1952. *Annales de Zootechnie* ; 1955 (à paraître).
- MEIGS, GRANT. — *Proc. Amer. Soc. of Animal Prod.*, **18** ; 1936.
- MITCHELL (H. H.), HAMILTON (T. S.). — *Journal of Agr. Res.* 45, **3** ; 1932.
- MOLLGAARD (H.). — *Fütterungslehre des Milchviehs*, Lib. Schäper, Hanovre ; 1929. *Wissench. Abhandung des deuts. Akademie der Landwirts. wissenschaften zu Berlin*, **5**, **2** ; 1954.
- RUBNER. — *Handbuch der Normalen und pathol. Physiologie*, 139 ; 1928.
- SCHURCH (A.). — *Schweiz. Landw. Monatshefte*, **18**, **2** ; 1949.
- VOISIN (A.). — *Ann. de Zootechnie*, sup. **1**, **1** ; 1952.