

à la laiterie. Cependant, l'assainissement du lait a dû être maintes fois compromis, car on retrouvait encore dans le lait après le traitement, dans les conditions ci-dessus, des coli-bacilles vivants.

Au surplus, il ne suffit pas que la couche mince ne dépasse pas le millimètre et que le parcours du lait entre les surfaces chauffantes ne soit pas inférieur à 10 mètres, il faut encore : 1<sup>o</sup> que l'épaisseur des parois métalliques soit de 1 mm., pas davantage. Sur un appareil de mille litres de débit par heure, en changeant les premiers tubes que le constructeur avait employés et qui mesuraient 1 ½ mm. d'épaisseur, j'ai pu constater immédiatement, par l'examen bactériologique direct du lait, que l'efficacité du chauffage s'était accrue sensiblement, toutes les autres conditions de l'opération n'ayant pas changé ; 2<sup>o</sup> il est également nécessaire que le métal choisi pour ces surfaces chauffantes, soit le cuivre rouge, c'est-à-dire le seul métal que l'on puisse facilement se procurer possédant la plus faible capacité calorifique, *propriété essentielle* pour assurer une transmission de la chaleur extrêmement rapide dans le contact infiniment bref qu'un microbe peut avoir, des millions de fois, avec les parois chauffantes. Les microbes, animés constamment du mouvement brownien, sont amenés contre ces parois (dans des contacts de l'ordre de grandeur et de durée des déplacements des bactéries) (1) par la force d'adhésion capillaire que ces mêmes parois exercent sur eux, le long du parcours qu'ils accomplissent contre elles, parois dont ils ne sont jamais plus éloignés de 5/10 de mm.

(A suivre.)

## DU CHOIX D'UN ANIMAL RÉACTIF POUR L'ÉTUDE DE L'ÉQUILIBRE NUTRITIF DES LAITS (a)

par

Mme L. RANDOIN et M. R. LECOQ

Utilisée seule, l'analyse chimique d'un aliment donné ne permet pas de connaître la valeur nutritive véritable de cet aliment ; il est maintenant prouvé que l'analyse chimique doit être complétée, dans tous les cas, par une analyse biologique faite avec plusieurs

(1) Par l'expression « ordre de durée des bactéries », je ne me rapporte pas à la durée de la vie des bactéries, mais simplement : a) à la durée de leurs déplacements ; b) à la durée nécessaire pour produire chez elles telle ou telle autre manifestation, notamment la coagulation de leur albumine par l'effet du chauffage ; c) à la durée des contacts qu'elles peuvent avoir entre elles ou avec des objets extérieurs, contacts minimes, mais toujours appréciables, non de l'ordre des *infiniment petits* ainsi que la cinétique en prévoit entre corps *infiniment petits non déformables*.

(a) A paru dans les *Annales de Falsifications et des Fraudes*, 1930, p. 132.

espèces animales de laboratoire employées comme réactifs (pigeon, rat en voie de croissance, cobaye).

C'est grâce aux travaux préliminaires de nombreux auteurs, notamment ELJKMAN, STEFF, FUNK, HOPKINS, OSBORNE et MENDEL, que les premières bases de l'expérimentation biologique purent être posées. Mais c'est McCOLLUM qui, en Amérique, créa en quelque sorte la *méthode biologique*, en l'appliquant systématiquement à l'étude de la valeur nutritive d'un grand nombre d'aliments naturels (1).

En France, des recherches pratiques de ce genre mirent également en évidence la nécessité d'utiliser l'analyse biologique pour constituer des régimes complets destinés à des organismes adultes ou en voie de croissance : telles furent les recherches de PERROT et LECOQ portant sur des farines composées alimentaires (2) et les expériences de M<sup>me</sup> L. RANDOIN qui précisa l'organisation et la mise au point de l'analyse biologique en général (3).

Pour l'étude spéciale de l'équilibre nutritif d'une substance alimentaire complexe, l'animal-réactif employé jusqu'à présent était le rat blanc ; les autres animaux de laboratoire, en particulier le pigeon et le cobaye, étaient plutôt réservés à la caractérisation et au dosage d'une vitamine déterminée, ou d'un groupe de vitamines (pigeon pour la recherche des vitamines B, cobaye pour la recherche des vitamines C).

Cependant, au cours d'expériences récentes, relatives à l'utilisation des glucides en général, — du lactose en particulier —, nous avons constaté que le pigeon adulte se montrait, dans de nombreux cas, un réactif de choix dans l'étude des équilibres alimentaires, à condition, bien entendu, de tenir compte de ses besoins indispensables en substances encombrantes (agar-agar et papier filtre) (4).

\* \* \*

A notre avis, l'un des aliments complexes les plus intéressants à étudier est le *lait*, qui représente la nourriture exclusive des nouveau-nés et qui entre, en forte proportion, dans le régime des très jeunes enfants et de nombreux malades.

Et cependant, il est certain que cet aliment n'est pas constamment bien toléré par tous les organismes. Nous avons donc entrepris une étude systématique de la valeur biologique des divers *laits*, en rapport avec leur origine (lait de vache, de femme, d'ânesse) et aussi en rapport avec les proportions de lactose que ces laits renferment (5).

(1) E. V. McCOLLUM. — *The newer Knowledge of Nutrition*, New-York, 1922, p. 20.

(2) E. PERROT et R. LECOQ. — *Bull. Sc. pharmacol.*, 1921, **28**, p. 177.

(3) M<sup>me</sup> L. RANDOIN. — *Ann. Falsif. et Fraudes*, 1925, **18**, p. 325.

(4) M<sup>me</sup> L. RANDOIN et R. LECOQ. — *C. R. Acad. Sc.*, 1929, **188**, p. 1188.

(5) M<sup>me</sup> L. RANDOIN et R. LECOQ. — *C. R. Soc. Biol.*, 1929, **102**, p. 371.

Ensuite, il nous a semblé intéressant de rechercher l'influence, sur la valeur biologique du lait de vache, de modifications couramment réalisées dans la pratique (1), telles que l'écémage (élimination des lipides) et l'addition de sucre (préparation de laits concentrés sucrés, par exemple).

En utilisant le pigeon comme réactif, nous sommes arrivés à cette conclusion que, pour le bon entretien de cet animal, les rapports unissant entre eux les divers principes constitutifs d'un régime renfermant du lactose doivent être particulièrement stricts, et que, en ce qui concerne notamment l'équilibre nutritif des laits, les études biologiques doivent être effectuées simultanément sur le jeune rat et le pigeon pour donner le maximum de renseignements utiles.

Les recherches que nous allons exposer montreront précisément combien cette manière de procéder peut être fructueuse, mais aussi combien l'interprétation des résultats obtenus est délicate dans certains cas.

\* \* \*

Nous avons expérimenté parallèlement avec du *lait entier desséché* et du *lait concentré sucré*.

Voici la composition centésimale de chacun de ces produits, avec, en regard, la composition correspondante, par litre, de chacun des laits qui ont servi à les préparer (2).

	Lait entier desséché (en gr. p. 100)	Lait ayant servi à préparer le lait entier desséché (en gr. par litre).
Eau.....	4,31	879,44
Cendres.....	5,35	6,74
Caséine.....	28,58	36,01
Beurre.....	24,30	30,62
Lactose.....	37,46	47,19
	Lait concentré sucré (en gr. p. 100)	Lait ayant servi à préparer le lait concentré sucré. (en gr. par litre).
Eau.....	23,34	870,89
Cendres.....	1,79	6,78
Caséine.....	9,31	34,72
Beurre.....	10,47	39,05
Lactose.....	13,02	48,56
Saccharose.....	42,07	»

(1) M<sup>me</sup> L. RANDOIN et R. LECOQ. — *C. R. Soc. Biol.*, 1929, **102**, p. 528.

(2) La composition du lait initial a été calculée en ramenant l'extrait sec supposé dégraissé et privé de saccharose (cendres + caséine + lactose) au chiffre théorique moyen de 90.

Le lait entier desséché et le lait concentré sucré ont été donnés comme alimentation exclusive, simplement additionnés de matières encombrantes :

- a) d'une part, à des rats en voie de croissance ;  
 b) d'autre part, à des pigeons adultes.

A) Deux lots de jeunes rats, mâles et femelles, de 50 à 70 gr. reçurent :

— Le premier lot, 15 gr. par animal et par jour de lait desséché et, en supplément, du papier filtre à volonté ;

— Le second lot, 19 gr. de lait concentré sucré (quantité comparable à la première, car ce lait renferme plus d'eau que le lait desséché) et, en supplément, du papier filtre à volonté.

B) Deux lots de pigeons adultes reçurent :

— Le premier lot, 18 gr. par animal et par jour de lait desséché, et, en supplément, 2 gr. de matières encombrantes (soit 1 gr. 60 d'agar-agar et 0 gr. 40 de papier filtre) ;

— Le second lot, 23 gr. de lait concentré sucré (quantité comparable à la première) et, en supplément, 2 gr. de matières encombrantes (soit 1 gr. 60 d'agar-agar et 0 gr. 40 de papier filtre).

L'expérimentation fut poursuivie pendant cinq mois.

Les résultats généraux que nous avons obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous et reproduits graphiquement sur les figures 1, 2 et 5. — (Courbes 834, 835, 832, 833, 852, 854).

		Lait entier desséché	Lait concentré sucré
Expériences sur RATS.	Poids moyen pendant les derniers mois	mâles .... 170-195 gr. femelles .. 120-145 gr.	210-240 gr. 150-180 gr.
	Reproduction	limitée : 1 portée de 7 petits	bonne : 2 portées } 10 pet. 8 pet.
	Poids maximum et vie des petits	90-110 gr. Vie prolongée	25-30 gr. Mort entre le 30 <sup>e</sup> et le 40 <sup>e</sup> jour.
Expériences sur PIGEONS.	Adultes	Vie normale au-delà de 5 m.	Mort entre le 35 <sup>e</sup> et le 65 <sup>e</sup> jour.

Avec le jeune rat comme réactif, le lait concentré sucré se montre donc supérieur au lait sec, sauf toutefois en ce qui concerne la durée de la vie des petits, nés vers le 2<sup>e</sup> et le 4<sup>e</sup> mois de l'expérience. Mais il est bien évident que le lait ne saurait être considéré comme un aliment pouvant faire face à tous les besoins de la vie entière,

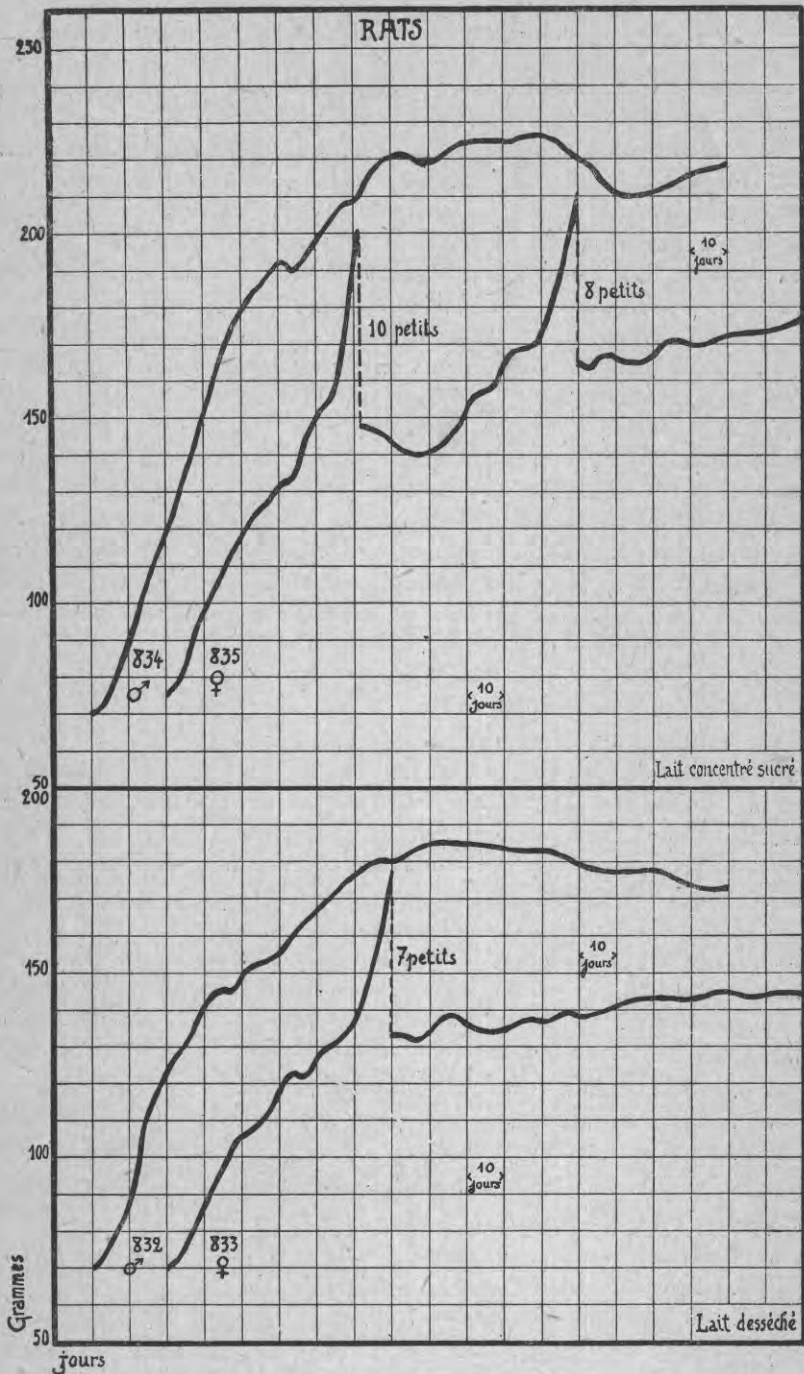


Fig. 1. — Courbes de croissance de rats soumis à l'alimentation exclusive au lait concentré sucré et au lait desséché.

notamment à la totalité des besoins qu'exige l'accomplissement des fonctions de reproduction chez la femelle.

Si l'on demande simplement au lait d'assurer le développement normal des jeunes enfants pendant une année environ, on peut dire, en prenant le rat comme réactif, que le lait concentré sucré, bien que proportionnellement moins riche que l'autre en caséine, beurre, vitamines et sels, présente, au point de vue de la croissance, un certain avantage sur le lait entier desséché.

Avec le pigeon adulte comme réactif, l'avantage est, très nettement cette fois, du côté du lait entier desséché, le lait concentré sucré ne permettant même pas la vie des animaux au delà de deux mois. Ces résultats nous ont paru tout à fait *surprenants*.

En effet, des recherches récentes nous avaient montré que l'addition de sucre ordinaire à du lait sec entier (50 p. 100 de lait sec + 40 p. 100 de sucre) ne portait pas préjudice à la valeur nutritive de ce lait, administré à des pigeons (1).

Comment interpréter ces résultats contradictoires d'analyse biologique ? Il nous était impossible de résoudre la question sans entreprendre de nouvelles expériences.

\* \* \*

En examinant la composition des produits à partir desquels le lait desséché et le lait concentré sucré ont été préparés, on remarque ce fait : le lait initial ayant servi à la préparation du lait entier desséché est moins riche en beurre (30,62 par litre) que le lait ayant servi à la préparation du lait concentré sucré (39,05 de beurre par litre).

D'autre part, si l'on calcule la proportion de saccharose qui entre dans la ration quotidienne à base de lait concentré sucré, administrée au pigeon, on trouve 9 gr. 9, soit 10 gr. environ (pour 20 gr. de ration sèche). La composition centésimale du régime pourrait donc être représentée comme suit (en poids secs) :

40 p. 100 de caséine + beurre + lactose + sels,  
50 p. 100 de saccharose,  
10 p. 100 d'aliment encombrant.

Dans nos expériences antérieures effectuées avec un régime comprenant :

50 p. 100 de lait entier desséché (caséine + beurre + lactose + sels),  
40 p. 100 de saccharose,  
10 p. 100 d'aliment encombrant,

le pigeon ne manifestait, — nous l'avons dit plus haut —, aucun accident. La proportion des principes constitutifs du lait était,

(1) M<sup>me</sup> L. RANDOIN et R. LECOQ (*loc. cit.*). — *C. R. Soc. Biol.*, 1929, **102**, p. 528.

dans ce cas, plus forte ; la proportion de saccharose était, par contre, moins élevée.

Nous avons effectué successivement deux séries d'essais pour tâcher de connaître les raisons des singulières contradictions observées.

A. — *La proportion de beurre a-t-elle une influence sur l'utilisation, par l'organisme du pigeon, de laits non sucrés ?*

Pour répondre à cette question, nous avons utilisé 3 nouveaux laits desséchés (non additionnés de sucre) :

1° Un lait entier renfermant 30 p. 100 de beurre (*full-cream*) (39,55 par litre du lait initial) ;

2° Un lait demi-gras renfermant 10 p. 100 de beurre (11,19 par litre du lait initial en grande partie écrémé) ;

3° Un lait complètement écrémé.

Voici la composition centésimale de ces trois produits :

	Lait entier desséché (en gr. p. 100)	Lait demi-gras desséché (en gr. p. 100)	Lait écrémé desséché (en gr. p. 100)
Humidité .....	5,24	5,98	6,80
Cendres .....	4,62	6,73	6,89
Beurre .....	29,54	10,40	0,57
Caséine .....	27,08	32,38	36,83
Lactose .....	35,52	44,51	48,91
<i>Beurre par litre du lait initial</i> .....	<i>39,55</i>	<i>11,19</i>	»

Les résultats obtenus avec ces 3 laits secs, additionnés comme à l'ordinaire de 10 p. 100 de matières encombrantes, sont les suivants (Voir également les figures 2 et 3) :

	Lait entier desséché	Lait demi-gras desséché	Lait écrémé desséché
Pigeons adultes	Survie :	Mort du 70 <sup>e</sup>	Mort du 30 <sup>e</sup>
	au delà de 5 mois ; pratiquement indéfinie.	au 100 <sup>e</sup> jour.	au 50 <sup>e</sup> jour.

Incontestablement, lorsque le lait desséché n'est pas additionné de sucre, l'écrémage, c'est-à-dire l'élimination de la plus grande partie des matières grasses du lait de vache, rend cet aliment incapable de subvenir aux besoins de l'organisme du pigeon, même quand on lui adjoint les substances de lest indispensables.

Il en est de même, d'ailleurs, avec le rat en voie de croissance pris comme réactif.

B. — *La proportion de beurre a-t-elle une influence sur l'utilisation,*

par l'organisme du pigeon, de laits additionnés d'une proportion de saccharose égale à celle qui se trouve dans les laits concentrés sucrés ?

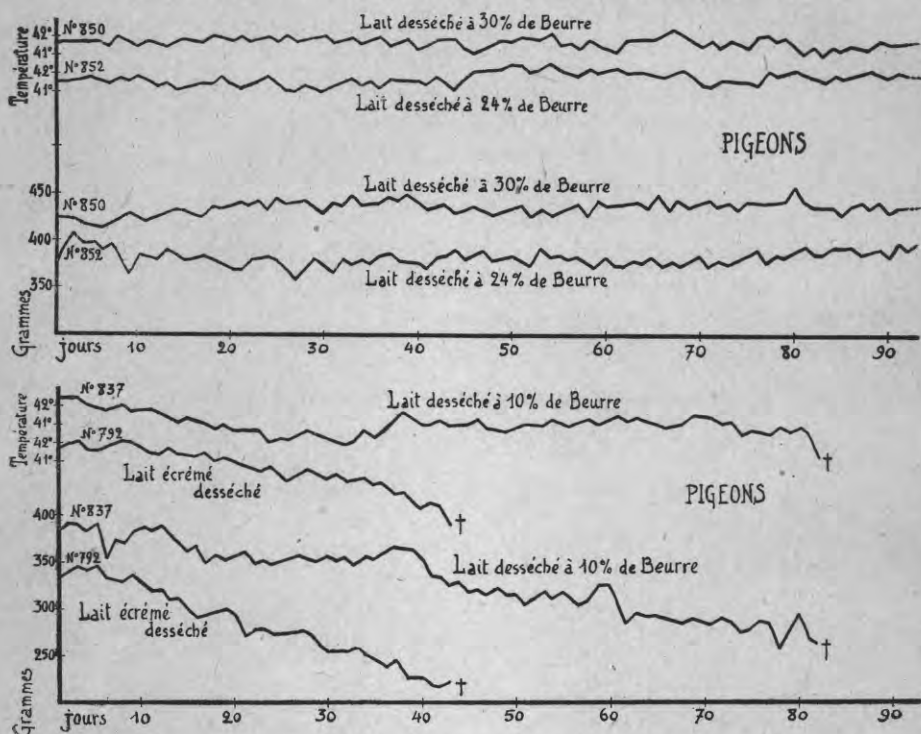


Fig. 2 et 3. — Courbes de croissance et de température de pigeons exclusivement nourris avec des laits desséchés entiers (à 30 et 24 p. 100 de beurre), du lait desséché demi-gras et du lait desséché écrémé, agar-agar, et papier filtre fournissant en supplément, les substances encombrantes indispensables.

Nous avons fait des essais, d'une manière comparative, en ajoutant une forte proportion de sucre à deux laits précédemment utilisés :

1<sup>o</sup> Au lait entier desséché contenant 30 p. 100 de beurre (le litre de lait initial contenait 39,55 de beurre, approximativement autant que celui qui avait servi à préparer le lait concentré sucré utilisé au début de nos expériences).

2<sup>o</sup> Au lait demi-gras desséché contenant 10 p. 100 de beurre.

Nous avons préparé 2 régimes ayant la composition centésimale suivante :

Lait desséché . . . . .	40
Sucre ordinaire . . . . .	50
Agar-agar . . . . .	8
Papier filtre . . . . .	2

et chaque pigeon a reçu, par gavage, 20 gr. par jour du mélange.

Voici les résultats que nous avons obtenus (Voir figure 4) :

	Régime à base de lait entier (30 p. 100 beurre)	Régime à base de lait demi-gras (10 p. 100 beurre)
Pigeons adultes } Mort du 40 <sup>e</sup> au 75 <sup>e</sup> jour.	—	Survie : au-delà de cinq mois ; pratiquement indéfinie.

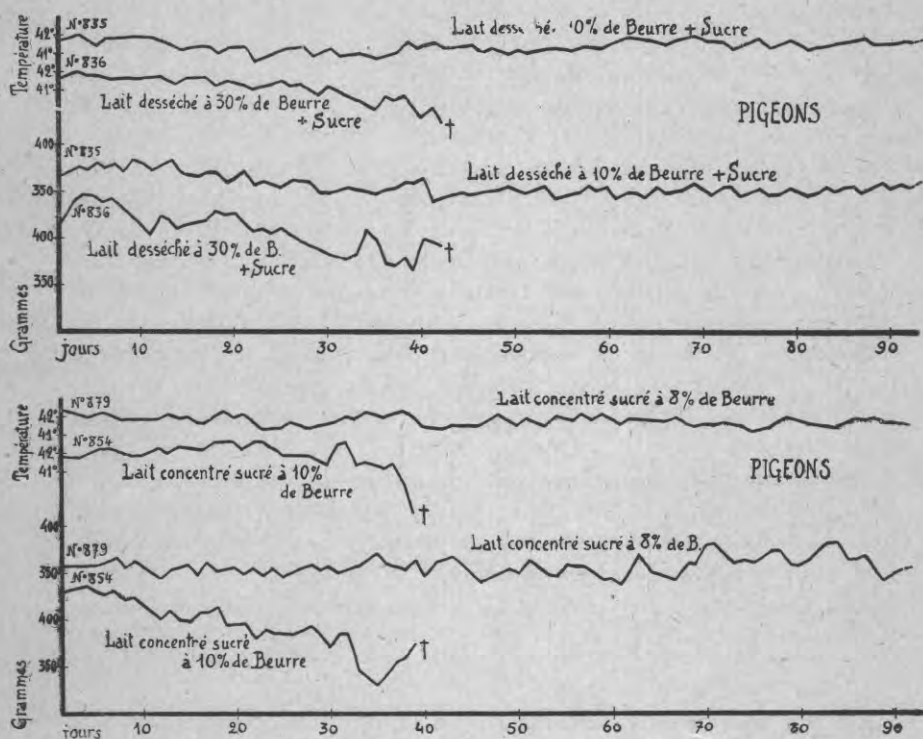


Fig. 4 et 5. — Courbes de croissance et de température de pigeons nourris avec des laits desséchés entier et demi-gras, additionnés de fortes proportions de sucre, et avec des laits concentrés sucrés à 8 et 10 p. 100 de beurre.

En présence de ces derniers résultats, il nous est enfin permis de tirer de l'ensemble de faits expérimentaux, une conclusion nette :

*Lorsque le lait est additionné d'une très forte proportion de sucre (50 p. 100 par exemple), un excès de beurre se montre préjudiciable pour l'organisme du pigeon.*

Et cependant, le lait entier qui agit ici d'une manière défec-  
tueuse est réellement très supérieur au lait demi-gras ; de même, le

lait concentré sucré, utilisé au début, était un produit de qualité supérieure, comme le prouvaient d'ailleurs les essais sur les rats en voie de croissance.

Un expérimentateur non averti, trompé par la grande sensibilité du pigeon à l'équilibre lactose-saccharose-beurre, *serait donc tenté d'attribuer une plus grande valeur alimentaire à un lait en partie écrémé qu'à un lait entier contenant tout son beurre, lorsque ce dernier lait se trouve normalement sucré selon la pratique industrielle.*

Nous avons voulu décrire ces faits pour montrer que l'analyse biologique ne doit être maniée qu'avec beaucoup de prudence car le réactif-animal, — qui est souvent comparable mais jamais identique à l'homme ou aux animaux domestiques —, peut ménager des surprises et exige, par conséquent, de la part de ceux qui l'utilisent, une longue et profonde expérience.

Mais il est un fait d'ordre physiologique sur lequel nous nous permettons d'insister, fait qui nous est révélé par le pigeon, animal très sensible, trop sensible pourrait-on dire, à certains déséquilibres alimentaires : il n'est vraisemblablement pas indifférent d'introduire n'importe quelle quantité de graisses dans un régime comportant déjà de fortes proportions de sucres (saccharose et lactose dans les expériences précitées). Il semble que, dans certains cas, et à partir d'un certain état d'équilibre (protides, lipides, glucides), — variable d'ailleurs d'une espèce à l'autre —, il est préférable de substituer les sucres aux graisses, ou inversement.

Nous avons donc retrouvé, sur le pigeon, et avec le lait entier à 30 p. 100 de beurre additionné de sucre, les mêmes résultats qu'avec le lait concentré sucré (très riche en beurre), dont nous avons donné plus haut la composition centésimale.

Le lait demi-gras, au contraire, assurait parfaitement l'entretien du pigeon.

\* \* \*

Il nous restait à expérimenter avec un lait concentré sucré d'une richesse moyenne en beurre (déjà sensiblement, mais beaucoup moins écrémé que le lait demi-gras).

Nous avons donc demandé à la « Compagnie générale du lait », qui nous avait procuré les produits précédents, de bien vouloir nous préparer un lait concentré sucré faiblement écrémé, correspondant au « standard » américain, qui, ainsi qu'on le sait, ne doit pas renfermer moins de 8 p. 100 de beurre. C'est du reste pour cette raison que, pratiquement, les laits américains n'en renferment habituellement pas davantage.

Le produit essayé présentait la composition centésimale ci-après :

	Lait concentré sucré en gr. p. 100.
Eau .....	22,96
Cendres .....	1,91
Caséine .....	10,47
Beurre .....	8,00
Lactose .....	14,55
Saccharose .....	42,21
Beurre par litre du lait initial .....	27,10

Donné à des pigeons dans les mêmes conditions que précédemment, ce lait concentré sucré, moins riche en beurre que le premier, a permis l'entretien parfait du pigeon au delà de trois mois (*Voir figure 5*). Un faible écrémage, là encore, favorise donc l'entretien de cet animal.

La question est, comme on voit, extrêmement complexe et nous nous proposons de l'étudier ultérieurement d'une manière plus approfondie.

#### CONCLUSIONS

I. — Pour effectuer l'analyse biologique au point de vue spécial de l'équilibre nutritif d'un aliment, le choix de l'animal réactif ne saurait être indifférent. Il importe d'ailleurs d'utiliser parallèlement *plusieurs espèces animales*, si l'on veut pouvoir interpréter les résultats en toute certitude.

II. — Par exemple, tandis que le jeune rat se développe normalement quand il est soumis au régime exclusif d'un lait concentré sucré très riche en beurre, le pigeon, au contraire (même quand il reçoit, avec ce lait, les substances de lest indispensables), ne présente guère que des survies de 35 à 65 jours.

III. — Une proportion élevée de beurre dans un lait desséché, sans autre addition, n'est pas défavorable au développement du pigeon. Au contraire, cette même proportion élevée de beurre apparaît préjudiciable à l'organisme du pigeon lorsqu'elle se trouve dans un lait concentré sucré, ou dans un lait préalablement desséché et additionné de très fortes proportions de sucres.

IV. — Il semble se produire pour le pigeon, dans ces conditions spéciales, c'est-à-dire en présence d'une grande quantité de sucres (saccharose, lactose), une sorte d'« hyperlipidose », qui tendrait à fausser les conclusions de l'analyse biologique, faisant attribuer la supériorité biologique à un lait en partie écrémé. Il faut donc tenir compte de l'excès de sensibilité du pigeon, surtout dans les cas où les glucides entrent en fortes proportions dans le régime.

[*Travail du Laboratoire de Physiologie du Centre de Recherches sur l'Alimentation (Institut des Recherches Agronomiques)*].