

ALLOMÉTRIE DE CROISSANCE CHEZ LE LAPIN (*ORYCTOLAGUS CUNICULUS*)

V. — LE SQUELETTE

J. P. DULOR, A. VEZINHET, J. CANTIER et R. ROUVIER
avec la collaboration technique de Suzanne PAOLANTONACCI et E. BOUTHIER

*Station de Physiologie animale, I. N. R. A.,
École nationale supérieure agronomique,
Place Viala,
34060 Montpellier Cedex*

RÉSUMÉ

Nous avons étudié pour une souche de lapins communs âgés de 9 à 182 jours la croissance relative, dans les deux sexes, du squelette et de ses régions et sous-régions.

Nous mettons en évidence plusieurs types d'ajustements soit à une ou deux droites, soit curvilinéaires.

Bien que les coefficients d'allométrie ne diffèrent pas toujours significativement entre eux on peut relever un ordre de précocité dans le développement des régions et sous-régions du squelette.

On peut observer, pour l'ensemble du squelette, deux gradients (cranio-caudal et caudo-cranial) convergents au niveau dorso-lombaire. On note également, le long des membres, deux gradients (proximo-distal et disto-proximal) divergents à partir des carpes et des tarses.

Le squelette, comme la plupart des autres tissus et organes, connaît une phase de remaniement caractérisée par des variations de la vitesse de croissance, vers l'âge de 6 semaines.

Le développement du squelette est comparable dans les deux sexes.

INTRODUCTION

Dans le cadre d'une recherche d'ensemble sur le développement du lapin, dont nous avons précédemment traité plusieurs aspects (CANTIER *et al.*, 1969 ; BARON *et al.*, 1971 ; VEZINHET *et al.*, 1972 ; CANTIER *et al.*, 1974), nous envisageons le déroulement de la croissance pondérale des régions et des principales pièces du squelette, en leur appliquant la relation d'allométrie (HUXLEY, 1932 ; TEISSIER, 1934 ; CANTIER *et al.*, 1969).

MATÉRIEL, ET MÉTHODES

Le matériel animal, les techniques expérimentales et les méthodes statistiques utilisés pour l'échantillonnage des animaux et l'analyse des résultats ont été décrits précédemment (CANTIER et VEZINHET, 1968 ; CANTIER *et al.*, 1969).

L'analyse statistique des données pondérales concernant les régions et sous-régions du squelette a toujours été précédée de leur analyse graphique, l'une et l'autre ont d'abord été effectuées en prenant comme variable de référence commune le poids du corps vif vide (poids vif diminué du poids des contenus digestif et vésical) ; ces données ont aussi été traitées par rapport au poids du tissu osseux entier. Enfin la croissance des sous-régions du squelette appendiculaire a été envisagée en fonction de l'évolution pondérale du tissu osseux du membre correspondant. Dans ce dernier cas, nous nous sommes bornés à l'analyse graphique, nos précédents travaux ayant montré la grande similitude des ajustements retenus à partir des résultats de celle-ci et de ceux donnés par l'analyse statistique.

Pour des raisons déjà développées (CANTIER *et al.*, 1974), nous ne présentons ici que les résultats de certaines de ces démarches.

Nous appelons ajustements la droite ou l'ensemble de plusieurs droites successives de régression décrivant la relation des valeurs logarithmiques de la variable explicative et de la variable expliquée pour tous les animaux de même sexe (CANTIER *et al.*, 1969).

RÉSULTATS

Le tableau 1 donne, pour chaque grande région osseuse (de poids y), l'ajustement le plus précis retenu après analyse statistique et graphique, le poids (x) du squelette entier étant variable de référence.

Lorsque l'ajustement comporte deux droites, nous donnons la signification de la différence des pentes des deux droites successives aux seuils de probabilité 0,1 (*), 0,05 (**), et 0,01 (***)

Les figures 1 et 2 donnent, pour chaque sous-région du squelette appendiculaire (de poids y) l'ajustement le plus précis résultant de l'analyse graphique, le poids (x) du squelette du membre auquel elle appartient étant pris comme variable de référence.

Le tableau 1 montre qu'en fonction du poids du squelette total, on rencontre, pour les régions étudiées, plusieurs modèles d'ajustements :

- à une droite (squelette du membre antérieur dans les deux sexes),
- à deux droites, correspondant à deux phases d'allométrie, dont la seconde est soit moins minorante soit plus majorante que la première ou dont la seconde est majorante, la première étant minorante (vertèbres thoraciques du mâle, rachis de la femelle, sternum de la femelle),
- à deux droites, correspondant à deux phases d'allométrie, dont la seconde est moins majorante que la première (vertèbres lombaires de la femelle),
- curvilinéaires enfin (à concavité supérieure : atlas dans les deux sexes ; à concavité inférieure : squelette du membre inférieur dans les deux sexes). La mise en évidence des ajustements curvilinéaires par l'analyse mathématique utilisée ici a déjà fait l'objet d'un commentaire (CANTIER *et al.*, 1974).

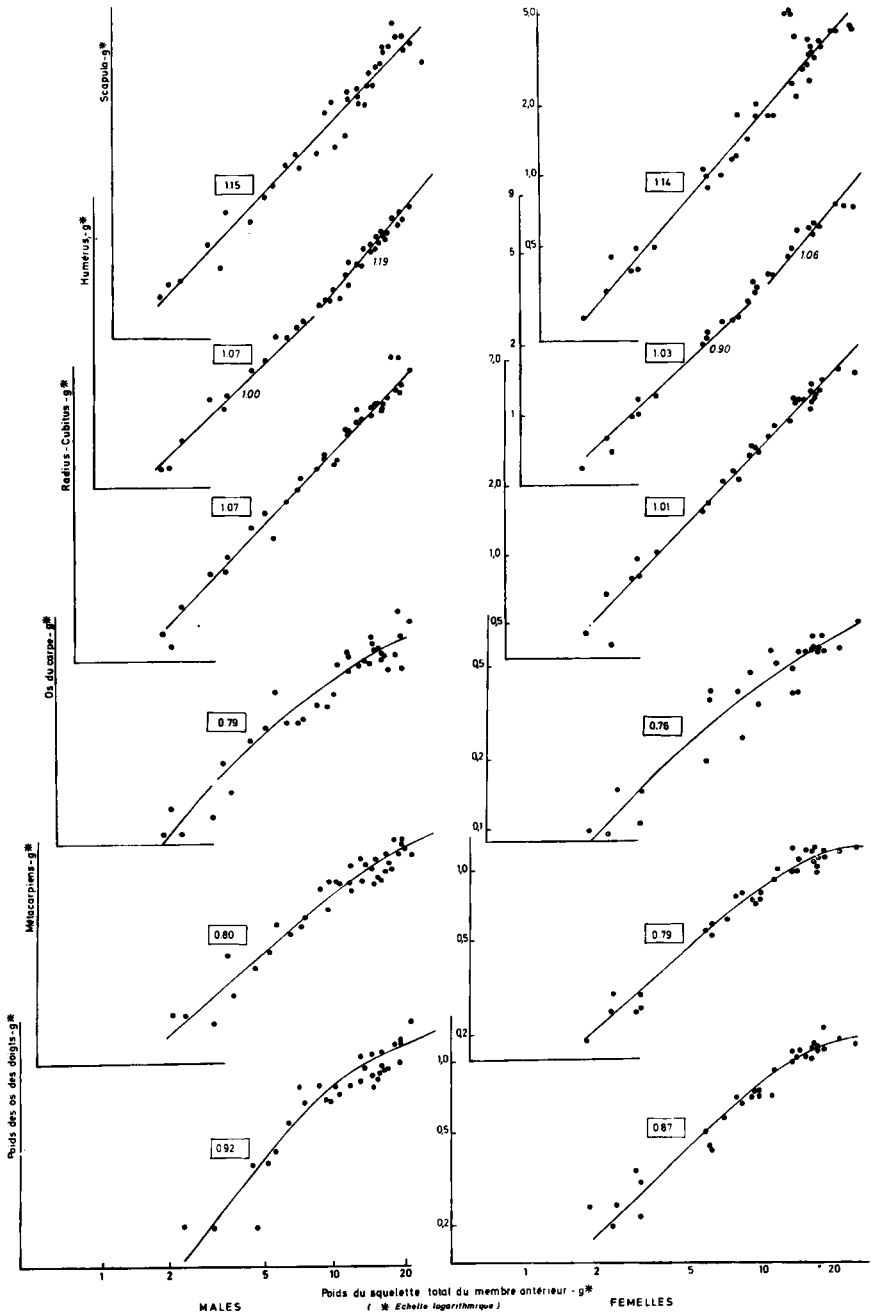


FIG. 1. — Évolution pondérale des sous-régions du squelette du membre antérieur en fonction du poids du squelette total du membre antérieur, chez le Lapin

0,79 Coefficient d'allométrie moyen.

1,00 Coefficient d'allométrie partiel.

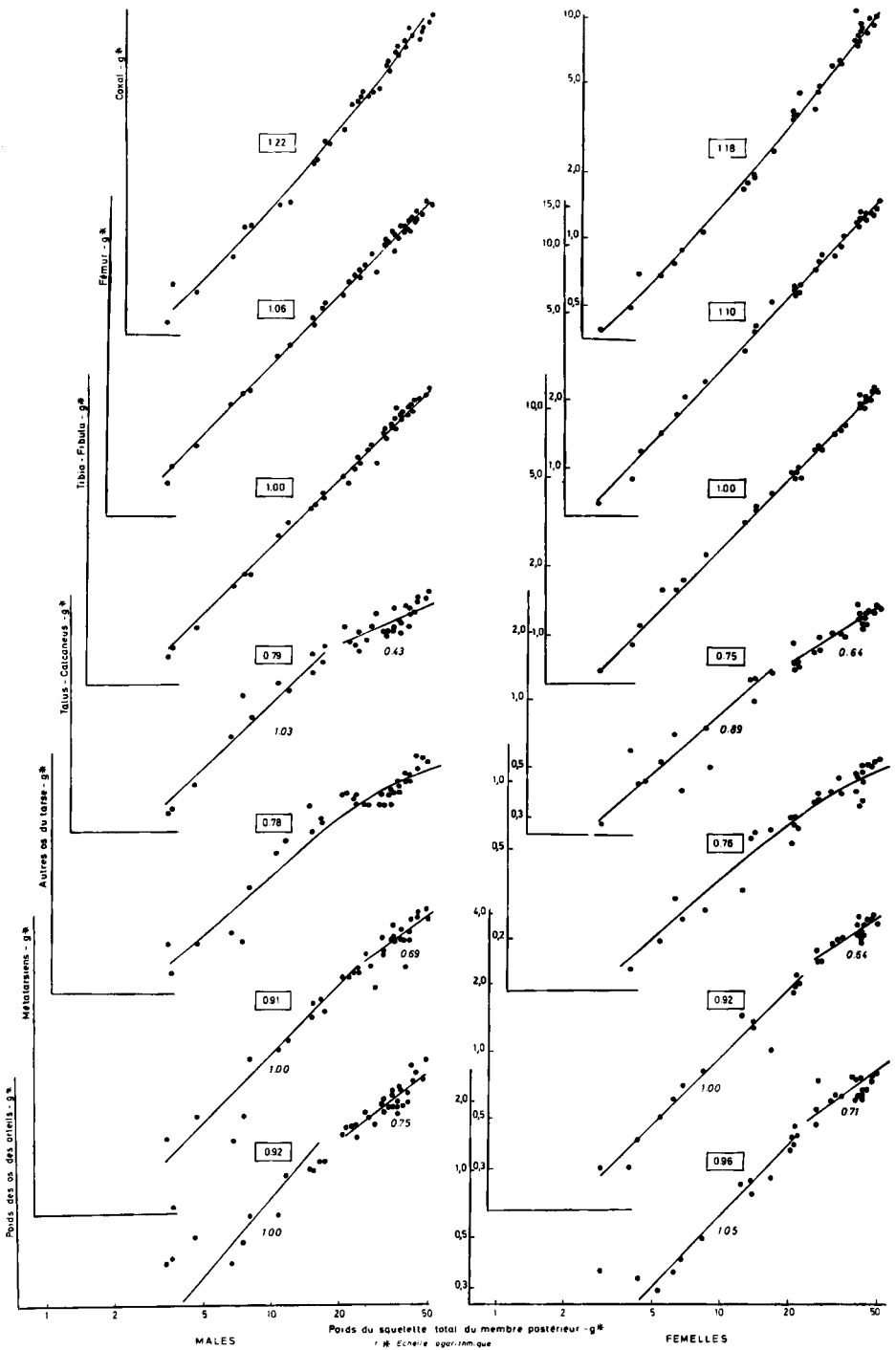


FIG. 2. — Évolution pondérale des sous-régions du squelette du membre postérieur en fonction du poids du squelette total du membre postérieur, chez le Lapin

0,79 Coefficient d'allométrie moyen.

1,00 Coefficient d'allométrie partiel.

TABLEAU I
Ajustements retenus pour les régions du squelette
 (Variable de référence : poids du squelette entier)

	Mâles		Femelles	
	Coefficient d'allométrie moyen ± tsa $\hat{p} = 0,95$	Coefficients d'allométrie réels	Coefficient d'allométrie moyen ± tsa $\hat{p} = 0,95$	Coefficients d'allométrie réels
Squelette céphalique	0,88 ± 0,01	0,59 ± 0,18 ** 1,09 ± 0,22	0,85 ± 0,09	0,72 ± 0,08 * 1,01 ± 0,21
Rachis	1,05 ± 0,05	0,93 ± 0,10 *** 1,19 ± 0,13	1,10 ± 0,03	1,06 ± 0,12 1,13 ± 0,10
Atlas	0,87 ± 0,07	Ajustement curvilinéaire à concavité supérieure	0,88 ± 0,06	Ajustement curvilinéaire à concavité supérieure
Axis	0,91 ± 0,07	Ajustement curvilinéaire à concavité supérieure	0,97 ± 0,06	0,82 ± 0,15 * 1,02 ± 0,16
Cinq vertèbres cervicales suivantes	1,08 ± 0,07	0,94 ± 0,15 * 1,51 ± 0,24	1,06 ± 0,07	0,88 ± 0,25 * 1,28 ± 0,30
Vertèbres thoraciques	0,94 ± 0,09	0,70 ± 0,19 * 0,90 ± 0,01	1,15 ± 0,10	Ajustement curvilinéaire à concavité supérieure
Vertèbres lombaires	1,16 ± 0,05	Ajustement curvilinéaire à concavité inférieure	1,17 ± 0,06	1,18 ± 0,19 1,07 ± 0,32
Sacrum	1,13 ± 0,11	Ajustement curvilinéaire à concavité supérieure	1,16 ± 0,08	Ajustement curvilinéaire à concavité supérieure
Vertèbres caudales	1,13 ± 0,11		1,09 ± 0,14	
Sternum	0,86 ± 0,35	Ajustement curvilinéaire à concavité supérieure	0,98 ± 0,11	0,77 ± 0,15 ** 1,21 ± 0,21
Côtes	1,06 ± 0,14	Ajustement curvilinéaire à concavité supérieure	1,13 ± 0,07	0,93 ± 0,13 ** 1,27 ± 0,25
Squelette du membre antérieur	0,97 ± 0,04		0,94 ± 0,04	
Squelette du membre postérieur	1,04 ± 0,04	Ajustement curvilinéaire à concavité inférieure	1,07 ± 0,04	Ajustement curvilinéaire à concavité inférieure

Les figures 1 et 2 montrent pour les sous-régions du squelette appendiculaire plusieurs modèles d'ajustement :

- à une droite (scapula),
- à deux droites, correspondant à une phase d'isométrie suivie d'une phase d'allométrie majorante (humérus du mâle) ou à deux phases d'allométrie, dont la première est minorante et la seconde majorante (humérus de la femelle),
- à deux droites, correspondant à une phase d'allométrie minorante, suivant une phase d'isométrie ou d'allométrie soit moins minorante soit majorante (métatarse du mâle, de la femelle, os des orteils de la femelle),
- curvilinéaires à concavité inférieure (radius-cubitus).

DISCUSSION

I. — *Croissance postnatale moyenne*

Le classement des régions et sous-régions du squelette selon les valeurs croissantes des pentes de leurs ajustements respectifs à une droite, prises comme coefficients d'allométrie moyens pendant la période de 9 à 182 jours (CANTIER *et al.*, 1969), s'effectue de la façon suivante :

Régions.

Squelette céphalique, squelette du membre antérieur, squelette du membre postérieur, rachis entier, côtes. Seul le sternum prend une place sensiblement différente d'un sexe à l'autre avec un coefficient d'allométrie moyen plus faible que ceux des autres régions du squelette chez le mâle, alors que chez la femelle sa valeur se situe entre les coefficients d'allométrie moyens du membre antérieur et du membre postérieur.

Sous-régions du rachis.

Atlas, axis, cinq cervicales suivantes, caudales, sacrées, lombaires. Le segment thoracique se classe différemment d'un sexe à l'autre : entre l'axis et les cinq cervicales suivantes chez le mâle, et entre les caudales et les sacrées chez la femelle.

Sous-régions du squelette appendiculaire (mâles et femelles).

— *Membre antérieur :*

- Ordre disto-proximal : carpe, radius, humérus, scapula.
- Ordre proximo-distal : carpe, métacarpe, squelette digital.

— *Membre postérieur :*

- Ordre disto-proximal : tarse antérieur, talus-calcaneus, tibia-fibula, fémur, coxal.
- Ordre proximo-distal : tarse antérieur, métatarse, squelette des orteils.

Bien que les coefficients d'allométrie moyens de certaines régions ou sous-régions ainsi ordonnées ne diffèrent pas entre eux de façon significative, un tel classement

traduit un ordre général dans le développement postnatal du squelette, la valeur du coefficient moyen d'allométrie postnatal d'un élément étant d'autant plus élevée que celui-ci a atteint à la naissance un moindre développement relativement à son état adulte.

Plusieurs gradients sont ainsi mis en évidence (fig. 3).

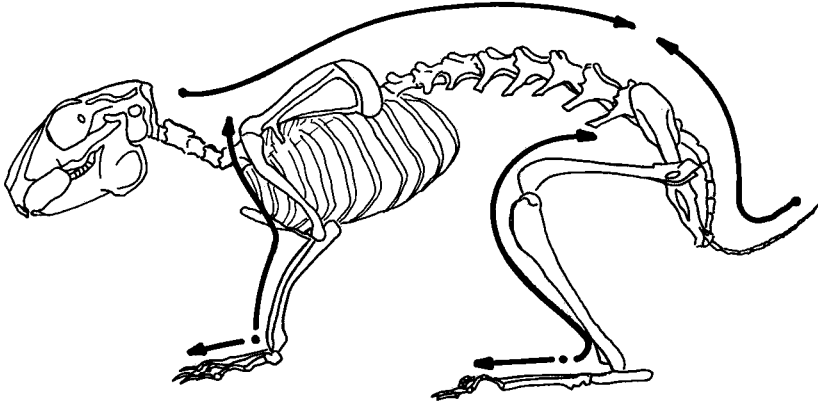


FIG. 3. — Représentation des gradients de croissance mis en évidence pour le squelette, chez le Lapin

a) Chez la femelle.

— Deux gradients (cranio-caudal et caudo-cranial) se développant à partir de la tête d'une part et des vertèbres caudales d'autre part.

— Deux gradients, le long des membres antérieurs et postérieurs, se développant à partir des carpes et des tarses dans le sens disto-proximal d'une part et proximo-distal d'autre part.

b) Chez le mâle.

Les mêmes gradients de précocité moyenne à la naissance peuvent être mis en évidence. Cependant les gradients se développant le long du rachis, sont moins nets chez la femelle.

La loi des gradients de croissance, énoncée par HUXLEY (1932), HAMMOND (1932) et son école, et mise en évidence pour le tissu musculaire chez le Lapin (VEZINHET *et al.*, 1972) se vérifie aussi pour le tissu osseux chez cette même espèce.

2. — Croissance postnatale réelle

L'analyse des changements d'allométrie des régions osseuses par rapport au squelette total permet les remarques suivantes :

a) Les changements d'allométrie se situent dans un intervalle de l'échelle des poids du squelette total correspondant à 105-115 g chez la femelle et 115-125 g chez le mâle. Cet intervalle est plus important pour les côtes et le sternum chez le mâle.

b) L'analyse graphique et l'analyse statistique montrent que pour les ajustements de type curvilinéaire retenus, la curvilinéarité est maximum dans les intervalles de poids du squelette total définis précédemment.

c) Les changements d'allométrie apparaissent vers le quarantième jour de la vie postnatale (pour un poids vif vide de 900-1 030 g), au début de la phase de remaniement général définie par CANTIER *et al.* (1969). Ils précèdent ceux des régions musculaires décrits par VEZINHET *et al.* (1972). La précocité moyenne plus grande pour l'os que pour le muscle, décrite par HAMMOND (1932) chez les ovins, et par CANTIER *et al.* (1969) chez le Lapin, se retrouve donc au niveau des zones de changement d'allométrie de ces deux tissus.

d) Les ajustements à deux droites, ou curvilinéaires retenus, présentent tous une concavité supérieure traduisant une accélération de croissance, à l'exception de ceux des vertèbres lombaires et du squelette du membre postérieur pour lesquels la concavité est inférieure.

Il est intéressant, à cet égard, d'établir un parallèle avec le développement des régions musculaires. En effet, seuls les muscles profonds du dos et ceux du membre postérieur présentent une concavité inférieure (VEZINHET *et al.*, 1972). Ces développements analogues des systèmes musculaires et osseux aux niveaux dorso lombaire et du membre postérieur pourraient être mis en relation avec la conformation particulière de l'arrière-train du lapin. Des études sur d'autres mammifères sauteurs ou sur un rongeur à port érigé tel le Mara ou Lièvre des Pampas (*Dolichotis patagonum* Z) apporterait peut-être des éclaircissements dans ce domaine.

e) Le développement du squelette est à quelques nuances près le même dans les deux sexes.

CONCLUSION

L'application de la relation d'allométrie au développement pondéral du squelette du Lapin a permis de :

- vérifier pour le tissu osseux chez le Lapin, la loi des gradients de croissance établie par HAMMOND et son école chez d'autres espèces,
- confirmer la notion de phase de remaniement général au cours de laquelle apparaissent simultanément pour divers organes et tissus ou éléments d'un même tissu des variations de la vitesse de croissance relative,
- confirmer l'analogie de développement existant entre les sexes dans cette espèce,
- établir un parallélisme entre le développement du squelette et celui, légèrement plus tardif, du système musculaire.

Reçu pour publication en novembre 1975.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été en partie réalisé grâce au contrat n° 73-7-1654 de la Délégation générale à la Recherche scientifique et technique.

SUMMARY

GROWTH ALLOMETRY OF THE RABBIT.

V. — THE SKELETON

Using allometric equations, common rabbits of both sexes aged 9 to 182 days are investigated for relative growth of the skeleton and its main anatomical regions and sub-regions.

Several types of adjustments are defined : one or two straightline relationships and curvilinear relationships. Though average allometric coefficients do not differ significantly, a priority system is observed in the growth of skeletal regions and sub-regions.

In both sexes there are two growth gradients (antero-posterior and postero-anterior) for the whole skeleton, converging at dorso-lumbar level. Two gradients (infero-superior and supero-inferior) are also determined along the legs, diverging from the carpus and tarsus.

In the skeleton, as well as in other tissues and organs, there is a phase of general change towards 6 weeks of age.

Skeletal growth is comparable in both sexes.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARON R., VEZINHET A., CANTIER J., 1970. Allométrie de croissance chez le Lapin (*Oryctolagus cuniculus*). II. Thymus. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **10**, 535-548.
- CANTIER J., VEZINHET A., 1968. Guide pour la dissection et l'identification des principaux muscles de la carcasse chez le Lapin. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **8**, 107-139.
- CANTIER J., VEZINHET A., ROUVIER R., DAUZIER L., 1969. Allométrie de croissance chez le Lapin (*Oryctolagus cuniculus*). I. Principaux organes et tissus. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **9**, 5-39.
- CANTIER J., VEZINHET A., DULOR J. P., ROUVIER R., 1974. Allométrie de croissance chez le Lapin (*Oryctolagus cuniculus*). IV. Principaux muscles de la carcasse. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **14**, 271-292.
- HAMMOND J., 1932. *Growth and development of mutton qualities in the sheep*. 599 p. Oliver and Boyd, Edimbourg.
- HUXLEY J. S., 1932. *Problems of relative growth*. 276 p. Ed. Methuen, London.
- TEISSIER G., 1934. Disharmonies et discontinuités dans la croissance. *Actualités scientifiques et industrielles* n° 95. Hermann, Paris, p. 39.
- VEZINHET A., ROUVIER R., DULOR J. P., CANTIER J., 1972. Allométrie de croissance chez le Lapin (*Oryctolagus cuniculus*). III. Principales régions du système musculaire. *Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys.*, **12**, 33-45.