

INRA Prod. Anim.,  
2000, 13 (5), 337-348

S. MIGNON-GRASTEAU, C. BEAUMONT

INRA, Station de Recherches Avicoles,  
37380 Nouzilly

Courriel : [grasteau@tours.inra.fr](mailto:grasteau@tours.inra.fr)

## Les courbes de croissance chez les oiseaux

En aviculture, la sélection des souches destinées à la production de viande se fait sur le poids à un âge donné, le plus souvent celui à l'abattage. Des progrès considérables ont ainsi été obtenus, qui ont par exemple permis de réduire d'un jour, à chaque génération, la durée nécessaire à l'élevage du poulet de chair, et ce depuis vingt ans. Cependant, cette sélection a modifié l'ensemble de la courbe de croissance et, par suite, entraîné des réponses corrélées indésirables sur l'état d'engraissement, la reproduction, les troubles locomoteurs ou encore le dimorphisme sexuel. La filière a pu jusqu'à présent en limiter l'impact par l'introduction de nouveaux critères de sélection comme l'état d'engraissement, ou encore par l'adaptation des conduites d'élevage, par exemple en rationnant les animaux. Mais cette stratégie a atteint aujourd'hui ses limites. La prise en compte de l'intégralité de la courbe de croissance pourrait apporter une réponse à ces problèmes.

L'usage de fonctions mathématiques pour décrire la croissance est très ancien et, dès 1945, Brody évoque la possibilité de sélectionner des animaux directement sur la forme de la courbe de croissance. En effet, celle-ci permet de résumer l'information à quelques paramètres et points stratégiques (Knizetova *et al* 1997) et de décrire l'évolution du poids avec l'âge. Il est ainsi possible de comparer

des animaux à des stades physiologiques équivalents, par exemple celui où la vitesse de croissance est maximale, ce que ne permet pas l'étude de pesées ponctuelles. Cette démarche a également été appliquée à l'étude de la croissance de différents organes et tissus, permettant ainsi de comprendre leurs relations d'allométrie (Hancock *et al* 1995). La relation avec l'âge ou le poids d'autres caractères, tels que la consommation alimentaire ou le gain de poids peuvent également être modélisés (Leclercq et Beaumont 2000). Mais, pour des raisons de simplicité, cette revue a été limitée aux modélisations de la courbe de croissance pondérale utilisées dans les espèces avicoles. Cette revue présente donc les fonctions les plus couramment utilisées, les méthodes d'estimation des paramètres de ces courbes de croissance, ainsi que leurs principaux facteurs de variation, en particulier génétiques.

### Résumé

Cette revue bibliographique présente, pour les espèces avicoles, les principales fonctions mathématiques utilisées pour la description de la courbe de croissance : fonction de Richards, de Gompertz, logistique et de Janoschek. Dans un deuxième temps sont rapportées les méthodes les plus courantes d'estimation des paramètres de ces fonctions.

L'influence sur ces derniers de différents facteurs tels que la taille et le mode de vie de l'espèce, le sexe et la sélection sont étudiés dans une troisième partie. Enfin, un bilan des estimations des paramètres génétiques de ces valeurs caractéristiques est présenté.

## 1/ Principaux modèles de description de la courbe de croissance

De nombreuses fonctions mathématiques ont été utilisées pour décrire la courbe de croissance. Les plus fréquemment utilisées pour les espèces avicoles sont recensées dans le tableau 1 et illustrée par la figure 1, qui représente l'évolution du poids et de la vitesse de croissance modélisées par ces différentes courbes, ajustées aux données de croissance de l'Oie obtenues par Knizetova *et al* (1995). Il en résulte des différences parfois conséquentes, en particulier pour la vitesse de croissance et l'estimation de l'âge à l'inflexion, d'où l'importance du choix de la fonction la mieux adaptée à la réalité biologique.

Toutes ces fonctions présentent une forme sigmoïde et comportent deux phases, séparées par le point d'inflexion, point en lequel la vitesse de croissance est maximale. Ces modèles comportent tous l'hypothèse d'une asymptote plate : le poids des animaux est supposé ne plus varier après la maturité sexuelle, alors qu'il peut être modifié par l'état d'engraissement et le cycle de reproduction (Knizetova *et al* 1991a). Poids asymptotique et poids adulte sont donc deux caractères au moins partiellement différents ; l'usage de ces courbes doit être restreint à leurs parties sigmoïdes (Laird *et al* 1965).

La courbe de Richards est la forme générale d'une famille de courbes qui décrit le poids ( $P_t$ ) à l'âge  $t$  à l'aide de quatre paramètres :  $P_t = A(1 + \delta B e^{-Kt})^m$  avec  $\delta = +1$  si  $m < 0$ , et  $\delta = -1$  si  $m > 0$ .  $A$  est le poids asymptotique ( $A = P_t$  quand  $t$  tend vers l'infini). Le paramètre  $m$  détermine notamment le rapport du poids à l'inflexion ( $P_I$ ) au poids asymptotique ( $A$ ) :  $P_I / A = (1 - \delta/m)^m$ .  $B$  est lié au rapport du poids à l'éclosion ( $P_0$ ) au poids asymptotique ( $A$ ), puisque :  $B = \delta [(P_0/A)^{1/m} - 1]$

Enfin, le paramètre  $K$  est un paramètre de vitesse de croissance fréquemment appelé facteur de maturation. Il est lié à la vitesse de croissance initiale spécifique ( $1/P_t \times dP_t/dt$ ) par l'équation suivante :

$$(1/P_t) \times (dP_t/dt) = (-\delta B m K e^{-Kt}) / (1 + \delta B e^{-Kt})$$

En particulier, au point d'inflexion, on a :  $[(1/P_t) \times (dP_t/dt)]_{t=T_I} = \delta m K / m - \delta$

La courbe de Richards peut convenir à un grand nombre d'espèces (Knizetova *et al* 1991a) parce que le rapport du poids à l'inflexion ( $P_I$ ) au poids asymptotique ( $A$ ) peut varier avec le paramètre  $m$ . Cependant, utiliser cette courbe implique d'estimer quatre paramètres, d'où la nécessité de disposer d'un minimum de 15 mesures de poids pour obtenir une estimation suffisamment précise (H. Knizetova, communication personnelle). Le nombre d'animaux mesurés est donc nécessairement limité. On utilise donc le plus souvent des cas particuliers de la courbe de Richards, en fixant le paramètre  $m$  et donc le rapport du poids à l'inflexion au poids asymptotique. Ainsi, selon que  $m$  vaut  $-1$  ou tend vers  $+\infty$ , on obtient respectivement les courbes logistique ( $P_I/A = 0,5$ ) et de Gompertz ( $P_I/A = 1/e$ ). Cette contrainte restreint l'utilisation de chacune de ces courbes aux espèces pour lesquelles le rapport  $P_I/A$  se rapproche de ces deux valeurs. Aussi utilise-t-on plutôt la fonction logistique pour la caille (Marks 1978), la forme générale pour l'Oie et le Canard, qui présentent des rapports  $P_I/A$  variant de 25 à 30 %, (Knizetova *et al* 1991b), et la courbe de Gompertz pour les espèces avicoles les plus étudiées, poulet et dinde (Anthony *et al* 1991a).

Les paramètres de cette dernière courbe présentent de plus l'intérêt d'avoir une signification biologique simple. Ainsi le paramètre  $B$  est-il égal au rapport de  $L$  sur  $K$ , où  $L$  est la vitesse de croissance initiale spécifique, soit :  $L = (1/P_t) (dP_t/dt)$  quand  $t$  est nul.

Dans ce cas particulier, le facteur de maturation  $K$  est également appelé vitesse de

**Tableau 1.** Equations des différentes courbes de croissance utilisées chez les oiseaux.

Courbe	Equation du poids à l'âge $t$ ( $P_t$ )	Age à l'inflexion ( $T_I$ )	Application à la croissance de
Richards	$A [1 + \delta B e^{-Kt}]^m$ $\delta = +1$ si $m < 0$ ; $\delta = -1$ si $m > 0$	$(-1/K) \times \ln -1/(mB) $	Poulet, Dinde, Caille, Canard, Oie
Gompertz	$A e^{-B e^{-Kt}}$	$(1/K) \times \ln  B $	Poulet, Dinde, Caille
logistique	$A [1 + B e^{-Kt}]^{-1}$	$(1/K) \times \ln (B)$	Caille
Janoschek	$A - (A - P_0) e^{-Rt^p}$ ( $p \neq 0$ )	$[(p-1)/pR]^{(1/p)}$	Canard

### Signification des paramètres

$A$  : poids asymptotique

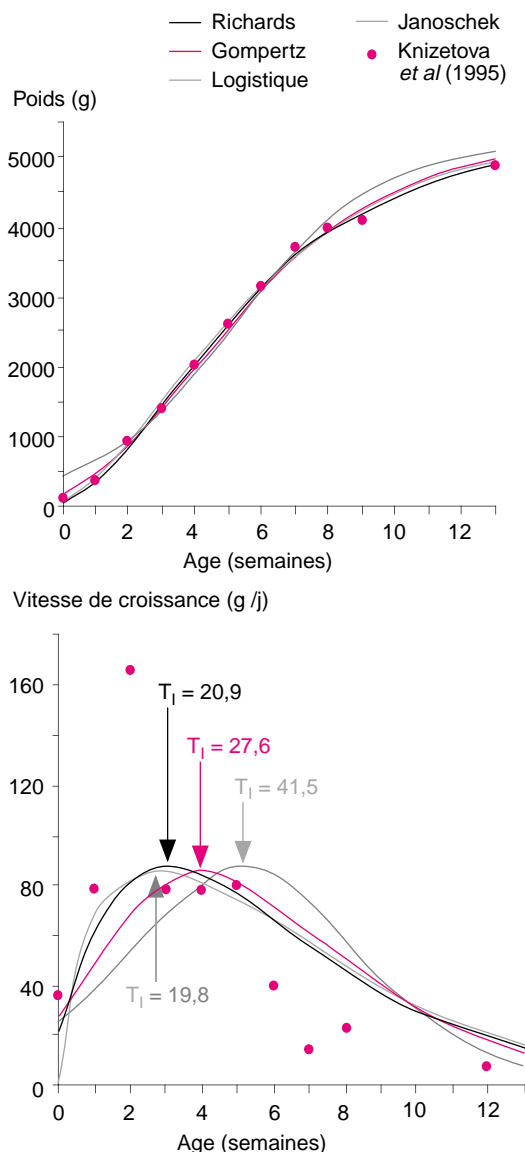
$P_0$  : poids à l'éclosion

$B$  : constante d'intégration =  $d [(P_0/A)^{1/m} - 1]$  où  $P_0$  est le poids à l'éclosion

$m, p$  : paramètres de forme déterminant la position du point d'inflexion par rapport à  $A$

$R$  : paramètre de vitesse de croissance

**Figure 1.** Ajustement des fonctions de Richards, de Gompertz, logistique et de Janoschek aux données de croissance de l'Oie (d'après Knizetova et al 1995).



décroissance exponentielle de la vitesse de croissance spécifique, car celle-ci est proportionnelle à  $e^{-kt}$ .

Avec la courbe de Janoschek, comme avec celle de Richards, le rapport du poids à l'inflexion au poids asymptotique est variable, ce qui permet un bon ajustement à la croissance du Canard et de l'Oie (Gille et Salomon 1994). Cette fonction présente l'avantage d'avoir des paramètres moins corrélés entre eux que ceux de la famille de Richards (Gille et Salomon 1994), mais, outre qu'elle suppose la vitesse de croissance initiale nulle, elle nécessite l'estimation de 4 paramètres, donc de nombreuses mesures. De plus, deux de ses paramètres ( $p$  et  $R$ ) n'ont pas d'interprétation biologique, ce qui est un frein dans la plupart des études, dont le but est plus de comprendre les mécanismes régissant la croissance que de la modéliser.

Du fait de son bon ajustement à la croissance des espèces avicoles prépondérantes et des possibilités d'interprétation biologique

qu'elle ouvre, c'est la courbe de Gompertz qui est la plus souvent utilisée pour l'étude de la croissance des espèces avicoles.

## 2/ Estimation des paramètres de la courbe de croissance

La méthode d'estimation la plus courante est la régression non linéaire. Cette procédure minimise la somme des carrés des écarts entre le poids prédit par la fonction mathématique et le poids observé. Pour améliorer significativement l'adéquation de la courbe estimée à la courbe mesurée, une pondération est appliquée aux observations, pour prendre en compte l'augmentation avec l'âge de la variance des poids (Pasternak et Shalev 1994). En outre, on peut introduire une contrainte sur l'intervalle d'estimation des paramètres, c'est-à-dire restreindre l'intervalle des valeurs que ceux-ci peuvent prendre. Cela est particulièrement utile pour le poids à l'éclosion, qui peut, dans le cas contraire, prendre des valeurs incohérentes très éloignées de la réalité (Grossman et Bohren 1985).

Plus récemment, des techniques Bayésiennes utilisant le Gibbs Sampling et une méthodologie voisine de celle appliquée à l'étude de la courbe de lactation (Varona *et al* 1997) ont été appliquées à l'estimation des paramètres de la courbe de croissance (Mignon-Grasteau *et al* 2000). Ces techniques permettent d'estimer simultanément les paramètres de la courbe de croissance et leurs paramètres génétiques. On peut ainsi tenir compte dans l'estimation des paramètres de la courbe de croissance non seulement des performances propres de l'individu, mais aussi de celles de ses apparentés. A même nombre de mesures, cette technique permet donc une estimation plus précise des paramètres.

Il est préférable d'estimer les composantes individu par individu pour tenir compte des variations de cinétique de croissance entre animaux. De plus, une estimation correcte des paramètres exige, pour chaque individu, un nombre suffisant de mesures répétées tout au long de croissance. Pour le poulet, Barbato (1991) préconise de peser les animaux toutes les semaines jusqu'à l'âge de 12 semaines afin d'obtenir une bonne estimation des paramètres  $L$  et  $K$  de la courbe de Gompertz. Limiter les pesées aux 6 premières semaines permet une estimation correcte de  $L$ , mais amène à sous-estimer  $K$ . De plus, considérer un grand nombre de mesures diminue l'importance relative d'un événement perturbateur (Brisbin *et al* 1986). Néanmoins, lorsque l'étude porte sur l'animal en croissance comme c'est le cas de la plupart des travaux portant sur des volailles de type chair, il faut veiller à n'utiliser que des mesures enregistrées durant la période où la courbe est sigmoïde. En effet, les poids mesurés à des âges plus avancés reflètent l'expression du potentiel génétique de croissance, mais aussi celle

de facteurs liés à la reproduction (Barbato 1996). Dans le cas d'une courbe de Gompertz, ajuster la courbe de croissance à des poids mesurés à des âges tardifs va donc amener à surestimer la vitesse de croissance spécifique initiale ( $L$ ) et l'âge à l'inflexion ( $T_1$ ) des femelles, tout en sous-estimant leur vitesse de maturation ( $K$ ), car les femelles prennent du poids à l'âge adulte. A l'inverse,  $L$  et  $T_1$  seront sous-estimés et  $K$  surestimé chez les mâles dont le poids a tendance à diminuer à l'âge adulte (Mignon-Grasteau 1999).

### 3/ Facteurs de variation des paramètres de la courbe de croissance

Les annexes 1 et 2 résument les estimations de la vitesse de croissance initiale spécifique ( $L$ ) et de la vitesse de maturation ( $K$ ) estimés avec une courbe de Gompertz, chez le Poulet et diverses espèces avicoles. Les valeurs de l'âge à l'inflexion ( $T_1$ ) et du poids asymptotique ( $A$ ), obtenues avec diverses modélisations, figurent dans les annexes 3 et 4.

Parmi les principaux facteurs de variations des paramètres de la courbe de croissance figurent la taille et le mode de vie de l'espèce, le sexe ainsi que le mode de sélection (Ricklefs 1968).

#### 3.1 / Espèce

##### a / Taille de l'espèce

La vitesse de croissance d'un animal dépend de son espèce. Les animaux des espèces de petite taille ont une croissance plus rapide (Ricklefs 1979), ce qui se traduit par des valeurs des paramètres  $L$  et  $K$  élevées. Ainsi, les moyennes des estimations présentées dans les annexes 1 et 2 sont-elles, respectivement pour  $L$  et  $K$ , de  $0,228 \text{ j}^{-1}$  et  $0,071 \text{ j}^{-1}$  chez la Caille,  $0,132 \text{ j}^{-1}$  et  $0,029 \text{ j}^{-1}$  chez le Poulet et  $0,089 \text{ j}^{-1}$  et  $0,022 \text{ j}^{-1}$  chez la Dinde.

Les variations de  $K$  influant proportionnellement plus fortement sur  $T_1$  que celles de  $L$  (figure 2), la relation entre le poids asymptotique et l'âge à l'inflexion est globalement positive, comme l'illustre la figure 3. Ce dernier paramètre, très variable (cf. annexes 3 et 4), vaut en moyenne 18,8 jours pour la Caille, 21,0 jours pour l'Oie, 27,0 jours pour le Canard, 55,0 jours pour le Poulet, 75,7 jours pour la Dinde et 150,1 jours pour l'Autruche.

##### b / Mode de vie de l'espèce

Les espèces nidicoles présentent une vitesse de croissance initiale spécifique ( $L$ ) forte et une période de croissance courte, d'où une vitesse de maturation  $K$  élevée (Ricklefs 1985). En effet, dans ces espèces, les parents nourrissent leurs petits, ce qui évite aux poussins la dépense d'énergie liée à la recherche de nour-

Figure 2. Effet d'une variation de 10 % des paramètres de la fonction de Gompertz sur la courbe de croissance.

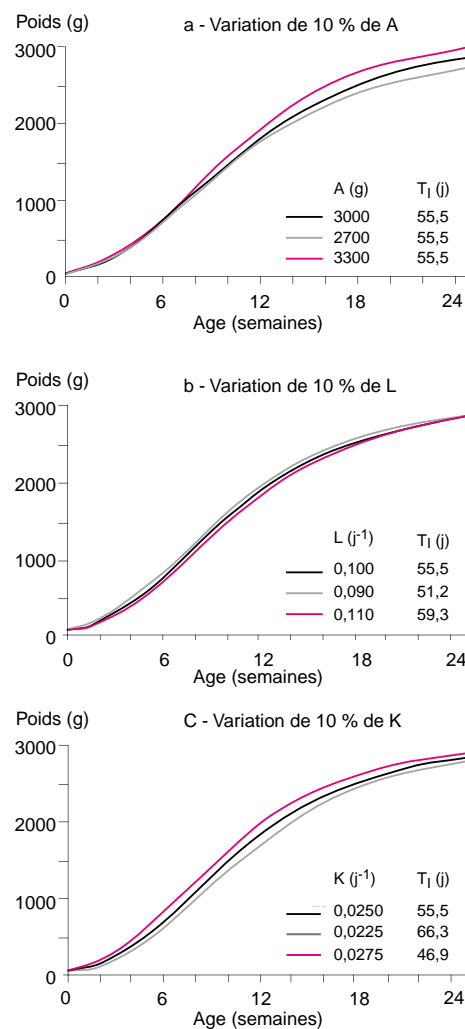
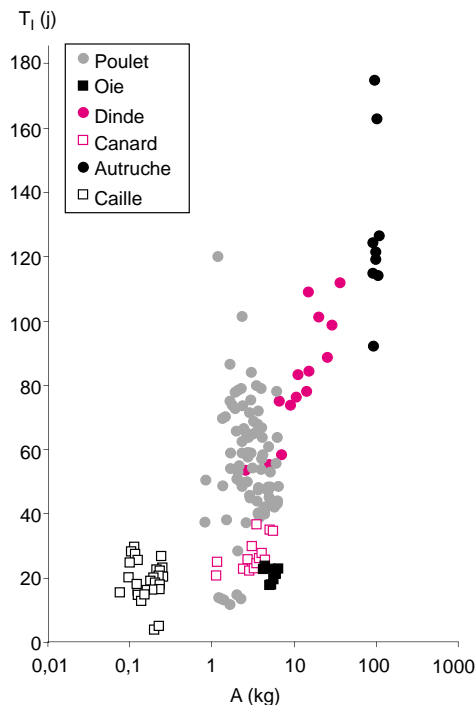


Figure 3. Relation entre le poids asymptotique ( $A$ ) et l'âge à l'inflexion ( $T_1$ ). Chaque point représente une lignée citée en annexe.



riture (Ricklefs 1968, Knizetova *et al* 1995). A l'opposé, les espèces précoces développent très tôt des fonctions matures telles que la régulation de la température ou l'aptitude au mouvement. Ces fonctions étant très coûteuses en énergie, les poussins de ces espèces ont proportionnellement moins d'énergie à consacrer à la croissance proprement dite (Ricklefs 1979).

Le mode de vie des animaux influence également la vitesse de croissance pondérale (Knizetova *et al* 1995). Chez les oiseaux aquatiques comme le Canard, la croissance est rapide et favorise l'accumulation de graisse qui isole de l'eau. De même, chez les oiseaux migrateurs des régions septentrionales tels que l'Oie, le tractus digestif se développe prioritairement, d'où une croissance rapide (Lilja 1983). Les animaux peuvent ainsi, au cours d'un été bref, atteindre un poids suffisant pour migrer. En revanche, Dinde et Poulet sont des oiseaux sédentaires, terrestres, de milieu tempéré, ce qui n'a pas particulièrement favorisé les animaux à croissance rapide. Ces différences entre espèces se traduisent par une grande variabilité de l'âge à l'inflexion. Celui-ci est beaucoup plus précoce chez le Canard et l'Oie (respectivement 27,0 et 21,0 jours) que chez le Poulet et la Dinde (respectivement 55,0 et 79,9 jours).

Le mode de vie module aussi la croissance relative des différents composants du corps (Knizetova *et al* 1995). Si les oiseaux aquatiques développent plus rapidement plumes et tissu adipeux, les oiseaux migrateurs ou ceux qui utilisent le vol pour fuir leurs prédateurs développent en priorité ailes et appareil locomoteur (Knizetova *et al* 1995). La présence de prédateurs contribue en outre à accélérer la croissance (Ricklefs 1968).

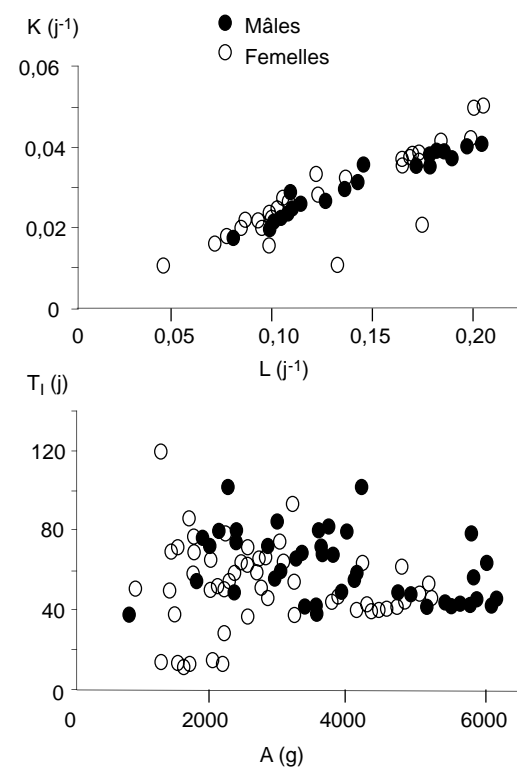
### 3.2 / Sexe

Barbato et Vasilatos-Younken (1991) ont montré que la croissance était affectée dans une proportion de 5 à 10 % par les effets liés au sexe de l'animal. Dans toutes les espèces où la femelle est plus légère que le mâle, comme le Poulet, la vitesse de croissance initiale spécifique ( $L$ ), l'âge à l'inflexion ( $T_I$ ) et le poids asymptotique ( $A$ ) sont un peu plus faibles (Barbato 1991) et la vitesse de maturation ( $K$ ) plus élevée chez les femelles (figure 4). Celles-ci ont une croissance plus précoce et atteignent le stade adulte plus rapidement que les mâles (Barbato 1991, Hancock *et al* 1995). Chez la Dinde, Johnson et Gowe (1962) notent également que la croissance des femelles cesse plus tôt que celle des mâles, et qu'elles sont, à un âge donné, à un stade de maturité plus avancé. Ces différences de précocité entre sexes sont également présentes dans la croissance des différents tissus. Par exemple, chez le Canard de Barbarie, le dépôt de tissu adipeux commence plus tôt chez les femelles. A un âge donné, celles-ci ont donc une proportion plus importante de tissu adipeux et une proportion moindre d'eau et de protéines. De plus, elles atteignent leur consommation alimentaire maximale une

semaine avant les mâles (Leclercq 1990). Si ces différences entre sexes restent faibles en valeur absolue, elles sont significatives et ont une incidence importante sur la courbe de croissance (Anthony *et al* 1991a). De plus, elles expliquent en partie qu'une sélection appliquée à âge fixe ne donne pas la même réponse dans les deux sexes (Johnson et Gowe 1962). Chez la Caille, où la femelle est un peu plus lourde que le mâle, on observe le phénomène inverse.

Enfin, pour un paramètre donné, la différence entre animaux des deux sexes semble augmenter avec la valeur de ce paramètre. Cette relation est en partie due à un effet d'échelle, ce qui explique que, chez les espèces les plus lourdes, qui ont généralement des âges à l'inflexion plus élevés, l'effet du sexe soit particulièrement marqué. Mais cette relation provient également d'une différence de réponse à la sélection entre mâles et femelles. Intra-espèce, la sélection sur le poids entraîne en effet une augmentation des paramètres  $L$ ,  $K$  et  $A$  et une diminution de  $T_I$ , plus marquées chez les mâles que chez les femelles (Marks 1978).

**Figure 4.** Effet du sexe sur la vitesse de croissance initiale spécifique ( $L$ ), la vitesse de maturation ( $K$ ), l'âge à l'inflexion ( $T_I$ ) et le poids asymptotique ( $A$ ) chez le Poulet. Chaque point représente une lignée figurant dans les études citées en annexe.



### 3.3 / Mode de sélection des animaux

La courbe de croissance peut également être modifiée par le mode de sélection, en particulier si elle est réalisée sur le poids vif à un âge donné, le plus souvent celui à l'âge d'abattage. C'est sans doute pour cette raison que les relations entre paramètres à l'intérieur d'une espèce sélectionnée sur le poids sont

opposées à celles observées entre des espèces différentes. Ainsi, alors que les grandes espèces ont des valeurs de vitesse de croissance initiale spécifique (L) et de maturation (K) plus faibles, les poulets de type ponte, bien que plus légers, ont des valeurs de L et K plus faibles (Knizetova *et al* 1985) que ceux de type chair. De même, la sélection sur le poids juvénile a augmenté simultanément le poids juvénile, la vitesse de croissance initiale et le facteur de maturation (Barbato 1991 ; figure 5). Ces deux derniers présentent en effet une forte corrélation phénotypique (0,92 selon Barbato 1991). Ainsi, chez le Poulet, les études les plus anciennes sont celles pour lesquelles ce paramètre L est le plus faible (Laird 1966). A l'opposé, les estimations les plus élevées sont trouvées dans les lignées commerciales mâles les plus récentes, issues de nombreuses générations de sélection sur le poids (Tzeng et Becker 1981). La différence est bien sûr encore plus marquée si l'on compare des animaux sélectionnés pour un fort poids à ceux sélectionnés pour un faible poids (Anthony *et al* 1991a, Mignon-Grasteau *et al* 1999).

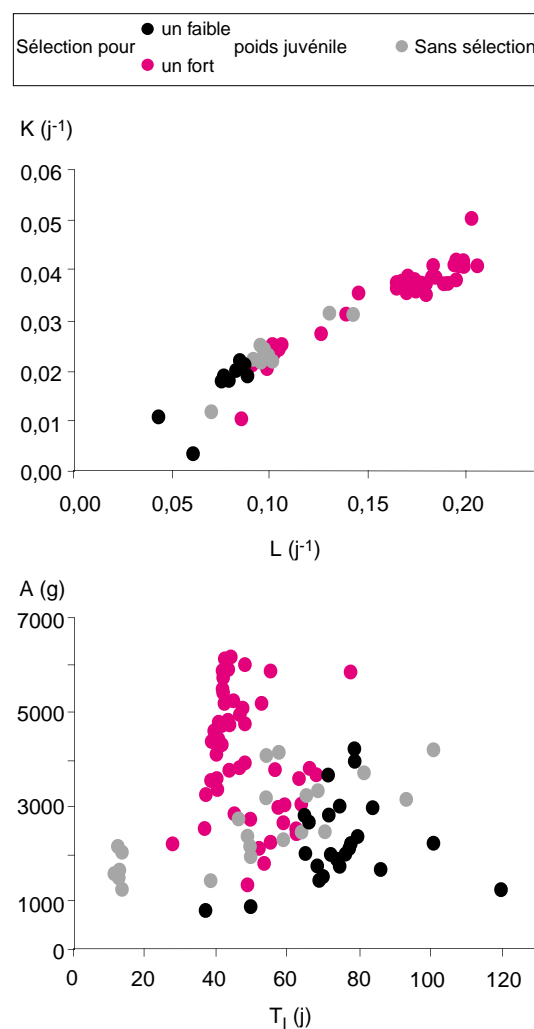
Même réalisée à un âge juvénile, la sélection pour un fort poids vif a entraîné une augmentation du poids tout au long de la croissance, et en particulier à l'âge adulte. De plus, elle a contribué à réduire l'âge à l'inflexion (Marks 1978, Anthony *et al* 1991a). Les animaux les plus lourds sont donc également ceux qui atteignent le point d'inflexion le plus tôt (cf figure 5). A nouveau, cette relation entre paramètres va à l'inverse de celle observée entre espèces chez lesquelles les plus lourdes atteignent le point d'inflexion plus tard. De même, chez le Poulet, les animaux de type ponte sont plus légers mais présentent un âge à l'inflexion plus élevé (Knizetova *et al* 1985). Enfin, on peut noter que, malgré un âge à l'inflexion plus faible, les animaux sélectionnés pour une forte vitesse de croissance atteignent des poids à l'inflexion plus élevés. La corrélation phénotypique entre ces deux caractères est en effet relativement modérée, entre 0,55 et 0,64 chez le Poulet et le Canard (Knizetova *et al* 1991).

L'âge à la sélection intervient également sur l'ampleur de l'évolution des paramètres. Ainsi, les expériences de Marks (1978) sur le Poulet ont montré qu'une sélection sur le poids vif à 42 jours augmenterait principalement la vitesse de croissance dans les 14 premiers jours. Barbato (1992) constate également que la sélection sur le poids affecte davantage les valeurs de L et  $T_1$  lorsqu'elle est pratiquée à 14 jours plutôt qu'à 42 jours. Enfin, chez la Caille, Anthony *et al* (1989) montrent que la réduction de  $T_1$  est d'autant plus forte que l'âge à la sélection est proche du point d'inflexion. En pratique, il est à noter que c'est le cas du Poulet et de la Dinde (Knizetova *et al* 1995).

Les expériences de Merrit (1974) et de Ricard (1975), menées chez le Poulet, ont montré qu'en sélectionnant non plus sur le poids à un seul, mais à deux âges différents, on pouvait modifier la forme de la courbe de croissance. Ainsi, Ricard (1975), a sélectionné

quatre lignées de poulets sur les quatre combinaisons de forts ou faibles poids à 8 et 36 semaines. Chez les mâles, le progrès génétique a été estimé par la différence entre lignées sélectionnées et lignée témoin. Pour le poids à 8 semaines, il a été, en moyenne sur 13 générations, de -10,7 g pour la lignée à faible poids à 8 semaines et fort poids à 36 semaines (X-), +6,3 g pour la lignée à fort poids à 8 semaines et faible poids à 36 semaines (X+), +7,9 g pour la lignée à forts poids à 8 et 36 semaines (X++) et -19,7 g pour la lignée à faibles poids à 8 et 36 semaines (X-). A 36 semaines, les progrès génétiques par génération étaient de +51,4 g pour la lignée X-, -19,0 g pour la lignée X+, +64,6 g pour la lignée X++ et -44,7 g pour la lignée X- (Mignon-Grasteau *et al* 2000). Le succès de telles expériences laissait donc, dès 1975, supposer que les paramètres des courbes de croissance étaient héréditaires.

**Figure 5.** Effet d'une sélection sur le poids juvénile chez le Poulet sur la vitesse de croissance initiale spécifique (L), la vitesse de maturation (K), l'âge à l'inflexion ( $T_1$ ) et le poids asymptotique (A). Chaque point représente une lignée figurant dans les études citées en annexe.



## 4 / Paramètres génétiques des valeurs caractéristiques de la courbe de croissance

En raison du grand nombre de mesures par animal nécessaires à l'estimation des paramètres de la courbe de croissance, les estimations de paramètres génétiques des paramètres de courbes de croissance sont rares : six références seulement sont disponibles. Du fait de la lourdeur de ces mesures, les effectifs d'animaux étudiés sont souvent restreints, ce qui explique sans doute que les résultats obtenus soient extrêmement variables (tableau 2). Les trois études les plus conséquentes sont celles de Barbato (1991) qui a estimé l'héritabilité des paramètres d'une courbe de Gompertz sur un effectif de 640 poulets et avec un dispositif de croisement diallèle, et celles de Mignon-Grasteau *et al* qui ont appliqué la méthode de maximum de vraisemblance restreint ou REML (1999) puis le Gibbs sampling (2000) aux performances de 7143 animaux issus de l'expérience de sélection sur la forme de la courbe de croissance de Ricard, en utilisant également la fonction de Gompertz.

### 4.1/ Estimations de l'héritabilité des paramètres

L'héritabilité de L semble élevée : 0,48 pour Barbato (1991), 0,47 et 0,43 respectivement chez les mâles et les femelles pour Mignon-Grasteau *et al* (1999).

Chez le Poulet, les estimations de l'héritabilité de la vitesse de maturation varient entre 0,28 et

0,60 (Grossman et Bohren 1985, Barbato 1991, Mignon-Grasteau *et al* 1999 et 2000). Chez la Caille, Akbas et Oguz (1998) et Akbas et Yaylak (2000) ont obtenu des estimations variant de 0,32 à 0,40 suivant la fonction utilisée.

Les estimations de l'héritabilité de  $T_I$  varient très largement, de 0,18 à 0,50 chez le Poulet (Grossman et Bohren 1985, Barbato 1991, Mignon-Grasteau *et al* 1999). Mignon-Grasteau *et al* (1999) ont de plus montré que l'héritabilité de ce paramètre diffère significativement selon le sexe (0,43±0,03 chez les mâles et 0,49±0,02 chez les femelles). Le paramètre  $T_I$  étant un indicateur de précocité, cette différence d'héritabilité entre sexes confirme les différences de précocité observées au niveau phénotypique.

Chez le Poulet comme chez la Caille, l'héritabilité de A est modérée à forte, sauf pour Barbato (1991). On peut noter que, pour trois de ces études (Barbato 1991, Akbas et Oguz 1998, Mignon-Grasteau *et al* 1999), l'héritabilité du poids asymptotique est proche de celle des poids mesurés autour de l'inflexion. Cette similitude s'explique par le fait que poids asymptotique et poids à l'inflexion étant proportionnels, les paramètres génétiques de ces deux caractères sont identiques.

L'héritabilité du poids asymptotique A diffère également entre sexes. Mignon-Grasteau *et al* (1999) estiment ce paramètre à 0,31±0,02 chez les mâles et 0,54±0,01 chez les femelles. Cette différence entre sexes est, sans doute du fait de la plus faible précocité des mâles, en partie imputable aux effets maternels, sans effet sur le poids asymptotique des femelles, mais représentant 7 % de la variance totale de ce caractère chez les mâles.

**Tableau 2.** Estimations des paramètres génétiques des valeurs caractéristiques de la courbe de croissance des oiseaux. Les héritabilités figurent en rouge et les corrélations génétiques en noir. Estimations variables selon : <sup>(1)</sup> la lignée, <sup>(2)</sup> le sexe, <sup>(3)</sup> la méthode d'estimation utilisée.

	Courbe		L	K	$T_I$	A	B	
<b>Poulet</b> Grossman et Bohren (1985) <sup>(1)</sup>	Logistique	K	-	0,18±0,32 à 0,46±0,32	-0,01±0,45 à 0,05±0,31	-0,16±0,65 à 1,93	-	
		$T_I$	-	-	0,36±0,44 à 0,50±0,28	-	-	
Barbato (1991)	Gompertz	L	0,48	0,36	-0,38	0,70	-	
		K	-	0,28	-0,28	0,59	-	
		$T_I$	-	-	0,18	-0,63	-	
		A	-	-	-	0,12	-	
		B	-	-	-	-	-	
Mignon-Grasteau <i>et al</i> (1999) <sup>(2)</sup>	Gompertz	L	0,43±0,03 à 0,47±0,03	0,93±0,01	-0,83±0,01	-0,16±0,02	-	
		K	-	0,48±0,02 à 0,49±0,02	-0,98±0,01	-0,39±0,01	-	
		$T_I$	-	-	0,43±0,03 à 0,49±0,02	0,51±0,01	-	
		A	-	-	-	0,31±0,02 à 0,54±0,01	-	
		B	-	-	-	-	-	
Mignon-Grasteau <i>et al</i> (2000)	Gompertz	K	-	0,43±0,03	-0,43±0,04	-	0,40±0,04	
		A	-	-	0,54±0,02	-	0,75±0,02	
		B	-	-	-	-	0,43±0,03	
<b>Caille</b> Akbas et Ouz (1998)	Gompertz	K	-	0,38±0,27	-	-0,06±0,54	1,83±3,38	
		A	-	-	-	0,56±0,29	0,13±1,18	
		B	-	-	-	-	0,06±0,24	
	Logistique	K	-	0,32±0,27	-	0,38±0,48	-	
		A	-	-	-	1,01±0,30	-	
	Bertalanffy	K	-	0,40±0,28	-	-0,42±0,99	-	
		A	-	-	-	0,26±0,26	-	
	Akbas et Yaylak (2000) <sup>(3)</sup>	Gompertz	K	-	0,32±0,12 à 0,33±0,13	-0,92±0,25 à -0,94±0,28	-0,08±0,27 à -0,14±0,26	-0,01±0,28 à -0,60±0,27
			$T_I$	-	-	0,23±0,12 à 0,41±0,14	0,13±0,23 à 0,16±0,23	-0,20±0,36 à 0,32±0,24
A			-	-	-	0,18±0,06 à 0,35±0,12	0,13±0,22 à 0,39±0,24	
B			-	-	-	-	0,26±0,11 à 0,39±0,13	
B			-	-	-	-	-	

#### 4.2/ Estimations des corrélations génétiques entre les différents paramètres

Barbato (1991) estime la corrélation génétique entre  $P_1$  et  $T_1$  à -0,63. Le signe de cette estimation est à l'opposé de ceux de la corrélation phénotypique obtenue par ce même auteur (0,58) et de la corrélation génétique estimée par Mignon-Graстеau *et al* (1999) chez le Poulet (0,51). Ces deux dernières estimations semblent plus cohérentes, car elles impliquent que l'âge au point d'inflexion et le poids à cet âge augmentent en même temps.

Les estimations des corrélations génétiques entre K et A varient également beaucoup chez le Poulet, de -0,39 à 0,59 (Grossman et Bohren 1985, Barbato 1991, Mignon-Graстеau *et al* 1999). Les estimations négatives pourraient s'expliquer par le fait qu'une vitesse de maturation élevée entraîne une rapide diminution de la vitesse de croissance après le point d'inflexion, et donc un poids final plus faible (Mignon-Graстеau *et al* 1999).

La corrélation génétique positive entre L et K estimée par Barbato (1991) et Mignon-Graстеau *et al* (1999) (0,36 et 0,93 respectivement) confirme la forte corrélation phénotypique observée entre ces deux paramètres (Barbato 1991) ainsi que les tendances relevées chez plusieurs espèces avicoles, en particulier le Poulet.

Enfin, le signe de la corrélation génétique entre K et  $T_1$  (Barbato 1991, Mignon-Graстеau *et al* 1999) découle très logiquement de la formule reliant ces deux paramètres (cf. tableau 1).

Les paramètres de la courbe de croissance présentent donc de fortes corrélations génétiques entre eux qui ne peuvent être réduites à un simple artefact mathématique, puisque Merritt (1974) puis Ricard (1975) ont pu modifier par sélection la forme et par suite les paramètres de la courbe de croissance. Il est de plus à noter que de très faibles variations de l'un des paramètres peut modifier sensiblement la courbe de croissance. Ainsi, une modification de 10 % de L ou K entraîne un déplacement du point d'inflexion de 7 à 8 % et de 15 à 19 % respectivement.

## Conclusion

En décrivant la croissance par des fonctions simples dont les paramètres ont, le plus souvent, une signification biologique, les courbes de croissance permettent de comparer la vitesse de développement des animaux, ou d'apprécier les effets sur la croissance de la sélection, du sexe ou de différents facteurs écologiques.

Néanmoins, l'utilisation des courbes de croissance est encore limitée au plan expérimental par le grand nombre de mesures nécessaire à un bon ajustement. De ce fait, les effectifs étudiés sont nécessairement réduits, d'où un très faible nombre d'estimations des paramètres génétiques des valeurs caractéristiques de ces courbes. A l'avenir, le développement de l'automatisation des pesées permettra très probablement de contourner ce problème et ainsi de sélectionner plus efficacement sur la forme de la courbe de croissance. Cette approche permettra sans doute de mieux raisonner les stratégies de sélection du poids vif mais aussi de suggérer la prise en compte en sélection de la cinétique de croissance d'autres tissus. Ainsi, les courbes de croissance des os pourraient-elles être utilisées pour réduire l'incidence des troubles locomoteurs. De même, les troubles cardiaques dus à une croissance insuffisante du cœur pourront être contournés. A l'opposé, on pourra également chercher à maîtriser la croissance du tissu adipeux, plus importante que celle du reste du corps, ce qui par corrélation devrait améliorer l'indice de consommation et la reproduction. Enfin, la prise en compte de la différence d'âge physiologique entre mâles et femelles pourrait également être une voie de réduction du dimorphisme sexuel.

## Remerciements

Les auteurs remercient les deux référés pour leurs corrections ainsi qu'Hubert de Rochambeau et Jean-Paul Poivey pour leur contribution au travail de thèse de Sandrine Mignon-Graстеau, dont cet article est issu.

## Références

- Akbaş Y., Oguz I., 1998. Growth curve parameters of lines of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*), unselected and selected for four-week body weight. Arch. Geflügelkd., 62, 3, 104-109.
- Akbaş Y., Yaylak E., 2000. Heritability estimates of growth curve parameters and genetic correlations between the growth curve parameters and weights at different age of Japanese quail. Arch. Geflügelk., 64, 4, 141-146.
- Anthony N.B., Nestor K.E., Bacon W.L., 1986. Growth curves of Japanese quail as modified by divergent selection for 4-week body weight. Poult. Sci., 65, 1825-1833.
- Anthony N.B., Dunnington E.A., Siegel P.B., 1989. Embryo growth of normal and dwarf chickens from lines selected for high and low 56-day body weight. Arch. Geflügelkd., 53, 3, 116-122.
- Anthony N.B., Emmerson D.A., Nestor K.E., 1991a. Research note : influence of body weight selection on the growth curve of turkeys. Poult. Sci., 70, 192-194.
- Anthony N.B., Emmerson D.A., Nestor K.E., Bacon W.L., Siegel P.B., Dunnington E.A., 1991b. Comparison of growth curves of weight selected populations of turkeys, quails and chickens. Poult. Sci., 70, 13-19.
- Barbato G.F., 1991. Genetic architecture of growth curve parameters in chickens. Theor. Appl. Genet., 83, 24-32.
- Barbato G.F., 1992. Divergent selection for exponential growth rate at fourteen or forty-two days of age. I. Early responses. Poult. Sci., 71, 1985-1993.
- Barbato G.F., 1996. Genetics of the growth curve in poultry : physiological implications. 2nd Eur. Poultry Breeders Roundtable, Landbrugs, 6-8th Sep. 1995, 73, 153-166.
- Barbato F., Vasilatos-Younken R., 1991. Sex-linked and maternal effects on growth in chickens. Poult. Sci., 70, 709-718.
- Brisbin I.L., White G.C., Bush P.B., Mayack L.A., 1986. Sigmoid growth analyses of wood ducks: the effects of sex, dietary protein and cadmium on parameters of the Richards model. Growth, 50, 41-50.
- Brody S., 1945. Bioenergetics on growth. Reinhold Publ. Corp., New York.
- Buffington D.E., Jordan K.A., Boyd L.L., Jumila W.A., 1973. Mathematical models of growth data of male and female Wroslstad white turkeys. Poult. Sci., 52, 1694-1700.



- Cilliers S.C., Du Preez J.J., Maritz J.S., Hayes J.P., 1995. Growth curves of ostriches (*Struthius camelus*) from Oudtshoorn on South Africa. *Anim. Sci.*, 61, 161-164.
- Degen A.A., Kam M., Rosenstrauch A., Plavnik I., 1991. Growth rate, total body water volume, dry-matter intake and water consumption of domesticated ostriches (*Struthius camelus*). *Anim. Prod.*, 52, 225-232.
- Du Preez J.J., Sales J., 1997. Growth rate of different sexes of the european quail (*Coturnix coturnix*). *Br. Poult. Sci.*, 38, 314-315.
- Du Preez J.J., Jarvis M.J.F., Capatos D., de Koch J., 1992. A note on the growth for the ostrich (*Struthius camelus*). *Anim. Prod.*, 54, 150-152.
- Gille U., Salomon F.V., 1994. Heart and body growth in ducks. *Growth Dev. Aging*, 58, 75-81.
- Gous R.M., Moran E.T., Stilborn H.R., Bradford G.D., Emmans G.C., 1999. Evaluation of the parameters needed to describe the overall growth, the chemical growth, and the growth of feathers and breast muscles of broilers. *Poult. Sci.*, 78, 812-821.
- Grossman M., Bohren B.B., 1985. Logistic growth curve of chickens: heritability of parameters. *J. Hered.*, 76, 459-462.
- Grossman M., Bohren B.B., Anderson V.L., 1985. Logistic growth curve: a comparison of techniques to estimate parameters. *J. Hered.*, 76, 397-399.
- Hancock E., Bradford G.D., Emmans G.C. Gous R.M., 1995. The evaluation of the growth parameters of six strains of commercial broiler chickens. *Br. Poult. Sci.*, 36, 247-264.
- Johnson A.S., Gowe R.S., 1962. Modification of the growth patterns of the domestic turkey by selection at two ages. *Proc. 12th World's Poultry Cong., Sydney, Australie*, 57-62.
- Knizetova H., Hyaneck J., Hajkova H., Knize B., Siler R., 1985. Growth curves of chickens with different type of performance. *Z. Tierz. Züchtungsbiol.*, 102, 256-270.
- Knizetova H., Hyaneck J., Knize B., Roubicek J., 1991a. Analysis of growth curve of fowl. I. Chickens. *Br. Poult. Sci.*, 22, 1039-1053.
- Knizetova H., Hyaneck J., Knize B., Prochatzova H., 1991b. Analysis of growth curve of fowl. II. Ducks. *Br. Poult. Sci.*, 22, 1027-1038.
- Knizetova H., Hyaneck J., Veselsky A., 1994. Analysis of growth curves of fowl. 3. Geese. *Br. Poult. Sci.*, 35, 335-344.
- Knizetova H., Hyaneck J., Hyankova L., Belicek P., 1995. Comparative study of growth curves in poultry. *Genet. Sel. Evol.*, 27, 365-375.
- Knizetova H., Hyankova L., Dedkova L., 1997. Divergent selection for shape of growth in japanese quail. *Proc. 12th Int. Symp. Aviagen, Prague*, 1-3 Septembre, 91-98.
- Laird A.K., 1966. Postnatal growth of birds and mammals. *Growth*, 30, 349-363.
- Laird A.K., Tyler S.A., Barton A.D., 1965. Dynamics of normal growth. *Growth*, 29, 233-248.
- Leclercq B., 1990. Croissance et composition corporelle du Canard de Barbarie. In : B. Sauveur et H. de Carville (eds), *Le Canard de Barbarie*, 23-39. INRA, Paris.
- Leclercq B., Beaumont C., 2000. Etude par stimulation de la réponse des troupeaux de volailles aux apports d'acides aminés et de protéines. *INRA Prod. Anim.*, 13, 47-59.
- Leclercq B., Guy G., Rudeaux F., 1989. Growth characteristics and lipid distribution in two lines of chickens selected for low or high abdominal fat. *Genet. Sel. Evol.*, 21, 69-80.
- Lilburn M.S., Renner P.A., Anthony N.B., 1992. Interaction between step-up versus step-down lighting from four to sixteen weeks on growth and development in turkey hens from two commercial strains. *Poult. Sci.*, 71, 419-426.
- Lilja C., 1983. A comparative study of postnatal growth and organ development in some species of birds. *Growth*, 47, 317-339.
- Marks H.L., 1978. Growth curve changes associated with long term selection for body weight in japanese quail. *Growth*, 42, 129-140.
- Maruyama K., Kanemaki N., Potts W., May J.D., 1993. Body and muscle growth of domestic turkeys (*Meleagris gallopavo*) and expression of myosin heavy chain isoforms in breast muscle. *Growth Dev. Ag.*, 57, 31-43.
- Maruyama K., Akbar M.K., Turk C.M., 1999. Growth patterns and carcass development in male ducks selected for growth rate. *Br. Poult. Sci.*, 40, 233-239.
- Merritt E.S., 1974. Selection for growth rate in broilers with a minimum increase in adult size. *1st World Cong. Genet. Appl. Livest., Madrid*, 1, 951-958.
- Mignon-Grasteau S., 1999. Etude génétique du dimorphisme sexuel chez le poulet et le canard de Barbarie. Thèse de Docteur-Ingénieur, INA-PG, Paris, 269 pp.
- Mignon-Grasteau S., Beaumont C., Le Bihan-Duval E., Poivey J.P., de Rochambeau H., Ricard F.H., 1999. Genetic parameters of growth curve parameters in male and female chickens. *Br. Poult. Sci.*, 40, 1, 44-51.
- Mignon-Grasteau S., Piles M., Varona L., Poivey J.P., de Rochambeau H., Blasco A., Beaumont C., 2000. Genetic analysis of growth curve parameters for male and female chickens resulting from selection on shape of growth curve. *J. Anim. Sci.*, 78, 2515-2524.
- Pasternak H., Shalev B.A., 1983. Genetic-economic evaluation for traits in a broiler enterprise: reduction of food intake due to increased growth rate. *Br. Poult. Sci.*, 24, 531-536.
- Pasternak H., Shalev B.A., 1994. The effect of feature of regression disturbance on the efficiency of fitting a growth curve. *Growth Dev. Aging*, 58, 33-39.
- Ricard F.H., 1975. Essai de sélection sur la forme de la courbe de croissance chez le Poulet. Dispositif expérimental et premiers résultats. *Ann. Génét. Sél. Anim.*, 7, 427-443.
- Ricklefs R.E., 1968. Patterns of growth in birds. *Ibis*, 110, 4, 419-451.
- Ricklefs R.E., 1979. Patterns of growth in birds. V. A comparative study on development into starling, common tern and japanese quail. *Auk*, 96, 10-30.
- Ricklefs R.E., 1985. Modification of growth and development of muscles of poultry. *Poult. Sci.*, 64, 1563-1576.
- Salomon F.V., Sager G., Al Hallack M., Pingel H., 1987. Wachstumspezifische Approximationen von 11 Körperdimensionen bei Geflügel. 4. Mitteilung : Analyse der Wachstumreihen bei Gänsen. *Arch. Geflügelkd.*, 51, 6, 205-209.
- Sang J.H., 1962. Analysis of the growth of selected lines of brown Leghorns. *12th World's Poultry Cong., Sydney, Australia*, 49-51.
- Tzeng R.Y., Becker W.A., 1981. Growth patterns of body and abdominal fat weights in male broiler chickens. *Poult. Sci.*, 60, 1101-1106.
- Varona L., Moreno C., Garcia-Cortes L.A., Altarriba J., 1997. Multiple trait genetic analysis of underlying biological variables of production functions. *Livest. Prod. Sci.*, 47, 201-209.
- Zelenka D.J., Dunnington E.A., Siegel P.B., 1986. Growth to sexual maturity of dwarf and non-dwarf White Rock chicken divergently selected for juvenile body weight. *Theor. Appl. Genet.*, 73, 61-65.

## Abstract

### *Growth curves in birds.*

This bibliographic review presents, for poultry species, the main mathematical functions used to describe the growth curve : Richards, Gompertz, logistic and Janoschek functions. In a second part, methods commonly used to estimate the parameters of these curves are reported.

The influence of species size, ecological factors, sex and selection are studied in a third part. Finally, the available estimations of the genetic parameters of the parameters of the growth curve are presented.

MIGNON-GRASTEAU S., BEAUMONT C., 2000. Les courbes de croissance chez les oiseaux. *INRA Prod. Anim.*, 13, 337-348.

**Annexe 1.** Estimations de la vitesse de croissance spécifique initiale (L) et de la vitesse de maturation (K) obtenues dans l'espèce Poule avec une courbe de Gompertz.

Référence	Lignée et/ou sélection	L (j <sup>-1</sup> )		K (j <sup>-1</sup> )	
		Mâles	Femelles	Mâles	Femelles
<b>Lignées commerciales</b>					
Laird (1966)	Type chair	0,104	0,104	0,026	0,027
Tzeng et Becker (1981)	Type chair	0,189	-	0,037	-
Pasternak et Shalev (1983)	Type chair	0,178 - 0,204	0,174 - 0,201	0,031 - 0,041	0,036 - 0,050
Barbato (1991)	Type chair	0,183	0,174	0,038	0,038
Gous <i>et al</i> (1999)	Type chair	0,195	0,175	0,038	0,036
	Type chair	0,192	0,180	0,037	0,037
Pasternak et Shalev (1994)	Type chair	0,145	-	0,035	-
Hancock <i>et al</i> (1995)	Type chair	0,171 - 0,177	0,165 - 0,172	0,036 - 0,037	0,036 - 0,038
Laird (1966)	Type ponte	0,107	0,120	0,028	0,033
<b>Lignées expérimentales sélectionnées sur le poids</b>					
Anthony <i>et al</i> (1991b)	Fort poids à 56 j. (L1)	-	0,092	-	0,021
	Faible poids à 56 j. (L2)	-	0,043	-	0,011
	F2 de L1 x L2	-	0,070	-	0,016
Barbato (1992)	Fort poids à 42 j.	0,086		0,010	
Mignon-Grasteau <i>et al</i> (1999)	X- -	0,088	0,085	0,021	0,022
	X++	0,105	0,101	0,024	0,024
	Faible poids à 8 sem. et fort poids à 36 sem (X+)	0,095	0,091	0,021	0,022
	Fort poids à 8 sem. et faible poids à 36 sem. (X+-)	0,112	0,107	0,026	0,027
Mignon-Grasteau <i>et al</i> (2000)	X- -	0,079	0,076	0,018	0,018
	X++	0,102	0,098	0,023	0,023
	X+-	0,089	0,083	0,019	0,020
	X+	0,106	0,102	0,025	0,025
<b>Lignées expérimentales non sélectionnées sur le poids</b>					
Ricklefs (1985)	Domestique	-	-	0,024 - 0,029	
	Poule de jungle	-	-	0,025	
Barbato (1991)	Conservation du sperme	0,142	0,131	0,031	0,031
	Non sélectionnée	0,102	0,098	0,022	0,023
Mignon-Grasteau <i>et al</i> (1999)	Non sélectionnée	0,100	0,098	0,023	0,024
Mignon-Grasteau <i>et al</i> (2000)	Non sélectionnée	0,096	0,092	0,022	0,022

**Annexe 2.** Estimations de la vitesse de croissance spécifique initiale (L) et de la vitesse de maturation (K) obtenues dans les espèces avicoles autres que la Poule avec une courbe de Gompertz.

	L(j <sup>-1</sup> )		K(j <sup>-1</sup> )	
	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles
<b>Caille</b>				
Laird (1966)	0,211	-	0,071	-
Anthony <i>et al</i> (1991b)	-	0,188-0,215	-	0,042-0,070
Du Preez et Sales (1997)	0,356	0,272	0,097	0,077
Akbas et Oguz (1998)	0,301	0,243	0,075	0,064
<b>Dinde</b>				
Laird (1966)	0,096	-	0,064	-
Buffington <i>et al</i> (1973)	0,132	0,124	0,027	0,027
Anthony <i>et al</i> (1991a)	0,101	0,113	0,017	0,022
Anthony <i>et al</i> (1991b)	-	0,103-0,121	-	0,021-0,023
Lilburn <i>et al</i> (1992)	-	0,033 - 0,036	-	0,012 - 0,013
<b>Autruche</b>				
Degen <i>et al</i> (1991)	0,060		0,012	
Du Preez <i>et al</i> (1992)	0,047-0,079	0,043-0,081	0,010-0,017	0,009-0,014
Cilliers <i>et al</i> (1995)	0,047	0,046	0,009	0,008

**Annexe 3.** Estimations de l'âge ( $T_1$ ) à l'inflexion et du poids asymptotique (A) chez le Poulet.

	Lignée et/ou sélection	$T_1$ (j)		A (g)	
		Mâles	Femelles	Mâles	Femelles
<b>Lignées commerciales</b>					
Laird (1966)	Type chair	53,7	49,0	1780	1389
Tzeng et Becker (1981)	Type chair	44,0	-	4735	-
Pasternak et Shalev (1983)	Type chair	39,1 - 46,5	27,9 - 43,6	3547 - 4643	2111 - 3555
Knizetova <i>et al</i> (1985)	Type chair	63,7	60,7	6059	4799
Barbato (1991)	Type chair	41,0	40,4	4719	4114
Knizetova <i>et al</i> (1991a)	Type chair	48,2 - 55,7	47,1 - 52,8	4723 - 5853	3836 - 5171
Pasternak et Shalev (1994)	Type chair	40,3	-	3565	-
Hancock <i>et al</i> (1995)	Type chair	41,9 - 44,2	39,2 - 41,8	5171 - 6145	4279 - 4705
Sang (1962)	Type ponte	-	12,0 - 14,0	-	1260 - 2150
Laird (1966)	Type ponte	49,1	38,5	2339	1440
Grossman <i>et al</i> (1985)	Type ponte	14,6 - 15,0	15,1 - 16,7	-	-
Knizetova <i>et al</i> (1985)	Type ponte	73,8	59,3	2354	1731
<b>Lignées expérimentales sélectionnées sur le poids</b>					
Zelenka <i>et al</i> (1986)	Fort poids à 56 j (L1)	-	50,0	-	2717
	Faible poids à 56 j (L2)	-	120,0	-	1240
	Croisement L1 x L2	-	50,0	-	1970
	Croisement L2 x L1	-	50,0	-	1965
	L1 nanifiée	-	50,0	-	2181
	L2 nanifiée	-	50,0	-	863
Anthony <i>et al</i> (1991a)	Fort poids à 56 j (L1)	-	70,4	-	-
	Faible poids à 56 j (L2)	-	135,9	-	-
	F2 entre L1 et L2	-	92,2	-	-
Mignon-Grasteau <i>et al</i> (1999)	X--	71,9	65,2	2822	1993
	X++	62,8	59,1	2441	2664
	Faible poids à 8 s. et fort poids à 36 s. (X--)	71,6	66,1	3626	2688
Mignon-Grasteau <i>et al</i> (2000)	Fort poids à 8 s. et faible poids à 36 s. (X+-)	57,8	52,3	2968	2101
	X--	83,8	78,0	2978	2175
	X++	66,5	64,3	3806	3033
	X-+	79,0	75,0	3960	2984
	X+-	59,2	55,0	3016	2245
<b>Lignées expérimentales non sélectionnées sur le poids</b>					
Leclercq <i>et al</i> (1989)	Lignée maigre	57,8	54,3	4148	3203
	Lignée grasse	54,1	46,4	4079	2801
Barbato (1991)	Conservation du sperme	48,2	45,5	3885	2806
	Non sélectionnée	68,3	62,8	3635	2507
Mignon-Grasteau <i>et al</i> (1999)	Non sélectionnée	65,6	59,1	3259	2332
Mignon-Grasteau <i>et al</i> (2000)	Non sélectionnée	68,6	63,9	3341	2449

**Annexe 4.** Estimations de l'âge ( $T_1$ ) à l'inflexion et du poids asymptotique (A) dans les espèces avicoles autres que la Poule.

	$T_1$ (j)		A (g)	
	Mâles	Femelles	Mâles	Femelles
<b>Caille</b>				
Laird (1966)	15,3	-	81	-
Marks (1978)	14,7 - 24,4	18,1 - 27,1	97 - 232	121 - 262
Ricklefs (1979)	29,0	-	-	-
Anthony <i>et al</i> (1991b)	-	16,1-26,5	-	-
Knizetova <i>et al</i> (1997)	16,1	16,7	230	262
Du Preez et Sales (1997)	13,4	16,4	148	192
Akbas et Oguz (1998)	18,5	20,8	203	244
Akbas et Yaylak (2000)	22,2	23,1	234	255
<b>Dinde</b>				
Laird (1966)	53,8	-	2531	-
Buffington <i>et al</i> (1973)	58,5	55,8	6810	5080
Anthony <i>et al</i> (1991a)	101,0	76,0	19830	10730
Anthony <i>et al</i> (1991b)	-	73,3-78,4	-	-
Lilburn <i>et al</i> (1992)	-	78,3 - 84,4	-	14369 - 15217
Maruyama <i>et al</i> (1993)	112,0	-	35700	-
<b>Canard Pékin</b>				
Laird (1966)	35,6	-	4832	-
Knizetova <i>et al</i> (1991b)	25,3 - 27,6	24,1 - 26,8	3366 - 4369	3177 - 3953
Maruyama <i>et al</i> (1999)	22,5 - 25,2	-	3008 - 4437	-
Gille et Salomon (1994)	23,0 - 26,0	-	2382 - 2613	-
<b>Canard Pékin x Canard de Barbarie</b>				
Gille et Salomon (1994)	25,0	-	1155	-
<b>Canard de Barbarie</b>				
Leclercq (1990)	35,0	30,0	5194	3058
Gille et Salomon (1994)	-	-	3409	-
<b>Canard Colvert</b>				
Gille et Salomon (1994)	21,0	-	1155	-
<b>Oie</b>				
Laird (1966)	23,2	-	3763	-
Salomon <i>et al</i> (1987)	-	24,3	-	4453
Knizetova <i>et al</i> (1994)	21,1 - 23,5	18,7 - 21,1	5649 - 6336	5346 - 5677
<b>Autruche</b>				
Degen <i>et al</i> (1991)		126,0		104000
Du Preez <i>et al</i> (1992)	92,0-163,0	115,0-175,0	94200-102100	92600-104900
Cilliers <i>et al</i> (1995)	180,8	199,2	119200	122300