

## **“ STRUCTURE D'UN PROCESSUS DE CROISSANCE ”**

Roger Buis, Professeur émérite à l' I.N.P.-E.N.S.A. de Toulouse

25 Novembre 1994, Institut de Paléontologie Humaine, Paris

Le professeur Buis nous a adressé ce texte en place et lieu du compte-rendu de son intervention au GDP qui est plus didactique, tout en actualisant l'état de ses travaux sur les processus de croissance.

### **1 - Cursus de croissance**

L'étude d'une cinétique de croissance repose sur la recherche d'une fonction mathématique - dite *fonction de croissance* - exprimant les variations temporelles de telle variable physique (taille, surface, masse, concentration, nombre). Soit, dans le cas univarié :  $y = f(t)$ .

On sait que diverses fonctions, de formalisme parfois très différent, peuvent s'ajuster convenablement à un même ensemble de données (lissage). Pour que cette représentation soit plus qu'un simple modèle empirique de prévision, la fonction choisie  $f(t)$  ne doit pas seulement assurer une bonne adéquation aux observations. Il faut aussi qu'elle réponde aux deux exigences suivantes :

- offrir une *base d'interprétation* (Cf. réf. 1);
- mettre en évidence des propriétés cinétiques intrinsèques assurant une *caractérisation* du processus.

Considérons ici cette question de caractérisation. Basée sur une *définition appropriée de l'activité de croissance*, la solution proposée pose comme postulat l'*existence d'une structure temporelle* propre à chaque type de processus.

### **2 - Activité de croissance**

La fonction  $f(t)$  ne suffit pas, par elle-même, à décrire et quantifier l'activité de croissance. Une expression phénoménologique correcte, en termes de processus, doit résulter de grandeurs cinétiques pertinentes qui soient indépendantes de l'ordre de grandeur des mesures de croissance. La variable  $y$  et sa durée de croissance sont à considérer en effet comme des grandeurs contingentes au regard de la structure du processus. Dans ce but, nous avons proposé (réf. 3) deux descripteurs de l'activité de croissance : la vitesse et l'accélération instantanées. L'intérêt de ce couple de grandeurs cinétiques ( $V, I$ ) réside dans le fait qu'il y a *biunivocité* entre leurs valeurs et le degré d'avancement du processus. Au lieu de la courbe de croissance conventionnelle  $y(t)$ , on s'intéresse à la *trajectoire de croissance* ou représentation conjointe ( $V, I$ ). Les points singuliers de ces deux descripteurs (valeurs nulles et extremums) permettent de délimiter différentes *phases de croissance* caractéristiques, c-à-d de définir différents *états de croissance*.

### **3 - Structure de croissance**

Ce terme désigne la discrétisation du processus en une suite ordonnée d'un certain nombre de phases de croissance telles que définies ci-dessus, chacune d'elles étant assortie des trois propriétés suivantes : *quantité relative de croissance*  $Q_i$  (au sens de VOLTERRA), *durée relative*  $D_i$ , *vitesse spécifique moyenne*  $\bar{R}_i$ . L'additivité des  $Q_i$  et des  $D_i$  permet la prise en compte de leurs valeurs relatives. On exprime ainsi la *contribution de chaque phase à l'expression du phénomène*. D'où une comparaison possible de processus de croissance sur des bases strictement cinétiques. Par exemple, on peut analyser et comparer la croissance de cellules ou d'organes dont les dimensions ou les durées de croissance peuvent être très différentes en valeurs absolues. Leur structure peut alors révéler l'existence de *propriétés spécifiques de nature cinétique* indépendantes des dimensions et des vitesses absolues.

*Exemples :*

a) modèle *logistique simple* de VERHULST : le cursus de croissance est discrétisé sous la forme de 4 phases successives  $\mathbf{N}_1, \mathbf{S}, \mathbf{G}_1, \mathbf{G}_2, \mathbf{G}_3, \mathbf{G}_4, \mathbf{S}$  correspondant respectivement à une croissance en accélération positive croissante ( $G_1$ ) puis décroissante ( $G_2$ ), et ensuite en accélération négative décroissante ( $G_3$ ) puis croissante ( $G_4$ ). La structure du processus comporte 4 phases  $\mathbf{N}_1, \mathbf{G}_2, \mathbf{G}_3, \mathbf{G}_4, \mathbf{S}$  avec symétrie des phases  $G_1$  et  $G_4$  d'une part, et  $G_2$  et  $G_3$  d'autre part.

b) modèle *logistique généralisé* de RICHARDS-NELDER : bien qu'il y ait encore une discrétisation en 4 phases  $\mathbf{N}_1, \mathbf{G}_2, \mathbf{G}_3, \mathbf{G}_4, \mathbf{S}$ , la structure est différente car les quantités de croissance et les durées

relatives de chaque phase dépendent d'un des paramètres du modèle (paramètre  $n$  dit de dissymétrie).

c) *modèle bilogistique* (somme de 2 logistiques généralisées non synchrones): la structure, généralement plus compliquée, peut être très variée, telle que  $n_{G_1, G_2, G_1, G_2, G_3, G_4} S$  (réf. 5).

#### 4 - Applications

- Caractérisation et discrimination des cinétiques de *grandissement cellulaire* chez certains organismes filamenteux (Algues Rhodophycées) :

- selon la *plôidie* et le type de génome : sporophyte, gamétophytes mâle et femelle (réf. 3)

- selon le *type cellulaire* : cladomophore et pleuridiophore (réf. 5)

[ ces deux types cellulaires, morphogénétiquement différents par la nature de leur ramification ultérieure, diffèrent très précocement par leur structure de croissance. Une base d'interprétation cytologique est proposée ].

- Analyse du *développement végétal à différents niveaux d'organisation* (plante supérieure Phanérogame) (réf. 2 et 4) : le développement intégré est vu comme la dynamique de la génération et de l'assemblage de différents organes se trouvant à des *états différents de croissance*. La structure de croissance organique (Cf. § 3) sert de base pour définir les structures à des niveaux supérieurs : l'appareil ou série organique (série des entre-nœuds et série des feuilles d'un même axe) et l'ensemble de la partie aérienne de la plante. D'où la proposition :

*Le développement est le suivi spatio-temporel de deux types de structure : structure démographique (nombre d'organes se trouvant à tel état de croissance) et structure topologique (zonation de la plante en régions selon l'état de croissance des organes).*

Ce qui permet d'explicitier à des niveaux supérieurs :

- l'existence de *rythmes de croissance* (émergence de propriétés particulières différentes des propriétés des éléments constitutifs),

- les conditions de *stabilité* des structures de croissance au cours de l'ontogenèse.

Les prédictions de croissance et la morphogenèse sont un des pôles d'intérêt du groupe. Beaucoup de commentaires positifs ont eu lieu à propos de ces travaux de biologie végétale qu'on aimerait voir se développer à tous les niveaux d'organisation du vivant. Les trajectoires de croissance intéressent naturellement les physiologistes. Les approches de R. Buis ont ainsi tout particulièrement attiré l'attention du professeur Bergé du DRECAM du CEA d'Orsay soulevant la possibilité de création d'un binôme sur ce sujet.

1 - BUIS R., 1993 - *Models of growth kinetics in plants*. In Some physicochemical and mathematical tools for understanding of living systems (Greppin, Bonzon & Degli Agosti, edit.). Université de Genève, 295-318

2 - BUIS R., 1993 – *Acta Biotheoretica*, 41:231-247

3 - BUIS R., L'HARDY-HALOS M.-Th. & LAMBERT C., 1996 – *Acta Biotheoretica*, 44:359-375

4 - BUIS R., 1997 – *The representation of knowledge in plant biology : growth and ontogenesis*. In Scientific Representation in Agronomy and Plant Physiology (Ph. Couchat, edit.), Research Signpost, India, 23-47

5 – BUIS R., L'HARDY-HALOS M.-Th. & LAMBERT C., 2000 - *Canad. J. Bot.*, 78:1114-1123