

DYNAMIQUE DES POPULATIONS ET VIE ARTIFICIELLE

Christophe Le Page ^a

I- DE NOUVEAUX OUTILS DE SIMULATION POUR DEMELER LA COMPLEXITE DES SYSTEMES VIVANTS

L'hétérogénéité spatiale est parmi les plus importants facteurs influençant la dynamique d'une population (Kareiva, 1990). Par ailleurs, l'influence de la variabilité inter-individuelle sur la dynamique de la population est de plus en plus souvent prise en considération (deAngelis, 1992). Après avoir passé en revue les différents types de modèles de dynamique des populations qui permettent d'intégrer l'une ou l'autre de ces caractéristiques, on montre que les modèles de *Vie Artificielle* représentent un moyen de les associer.

A- Intégration de la dimension spatiale

On distingue deux types de méthodes pour intégrer l'hétérogénéité spatiale dans les modèles de dynamique des populations, chacune ayant une façon propre d'aborder le problème: les modèles de type réaction/diffusion et les modèles de métapopulation (Kareiva, 1990).

B- Intégration de la variabilité inter-individuelle: les modèles basés sur l'individu

Un certain nombre de modèles récents éliminent l'hypothèse classique d'équivalence des individus d'une population ou d'une classe d'âge. Ces Modèles Basés sur l'Individu (MBI) suivent ces individus au cours d'une ou plusieurs étapes critiques de leur cycle de vie. Les travaux de Lomnicki font le lien entre les effets de la variabilité inter-individuelle et l'hétérogénéité spatiale au niveau de la dynamique d'une population (Lomnicki, 1978; 1980). Ils montrent que la dynamique d'une population peut être stabilisée par le seul fait que les individus qui la composent se déplacent en cherchant à maximiser leur degré d'adaptation (*fitness*). Tyler et Rose (1994) font remarquer qu'il est essentiel d'adjoindre une représentation explicite de l'espace aux MBI.

a - ORSTOM, LIA, 32 av. H. Varagnat, 93143 Bondy cedex.

C- La "vie artificielle": un outil synthétique

La conception orientée-objets d'un programme de simulation rend cette étape presque naturelle. Chaque entité (*objet*) informatique (*artificielle*) du modèle correspond à une entité naturelle du système étudié. Ces différentes entités échangent des informations et agissent en retour de manière autonome. Venu des Etats-Unis, le terme *Vie Artificielle* (Langton 1989), qui englobe en réalité bien d'autres aspects, exprime bien la nature de ce type de modèles appliqués à la biologie des populations. La *Vie Artificielle* est un champ de recherche relativement récent qu'on peut situer sur la branche ascendante de l'Intelligence Artificielle: le modèle est bâti à partir des constituants microscopiques du système étudié, et la *complexité* observée à une échelle macroscopique résulte de l'assemblage d'un grand nombre de ces constituants de base (Kawata et Toquenaga, 1994). Un certain nombre d'études récentes (Drogoul *et al.*, 1992; Dagorn, 1994; Mesle, 1994) sont ainsi centrées sur les individus mais décrivent des phénomènes qui se manifestent au niveau d'un groupe d'individus (banc ou société).

C'est dans cet esprit que le simulateur SeaLab a été développé. Le système complexe étudié ici est une population plongée dans un espace hétérogène et fluctuant. La partie suivante propose une présentation de cet outil de simulation qui servira de support à la discussion portant sur l'utilité de ce type de modèles.

II- LE SIMULATEUR SEALAB

Le but est de développer un outil de simulations qui puisse aider à mieux comprendre comment -au travers de relations écologiques et comportementales- les facteurs environnementaux influencent le succès de la reproduction et les patterns de distribution de la population. On admet qu'il existe des conditions environnementales *optimales* qui placent chaque individu d'une population qui les subit dans les meilleures conditions de reproduction possibles. Deux hypothèses de comportement reproductif, exprimées sous forme de règles dictant le choix du site de reproduction, sont alors étudiées et comparées. La première suppose que les individus sont capables de repérer parmi les cellules avoisinantes celles qui présentent les conditions environnementales les plus proches de l'optimum (comportement dit *opportuniste*). La seconde, généralisation de la théorie du *homing* à des espèces qui vivent dans des milieux fluctuants comme les poissons pélagiques dans les océans, stipule que chaque individu cherchant à se reproduire s'obstine à retrouver les mêmes conditions environnementales que

celles qu'il a connu lors de sa naissance (Cury, 1994) (comportement dit *obstiné*). Une telle démarche est vouée à se situer à un niveau beaucoup plus théorique qu'appliqué. On cherche à vérifier la validité des hypothèses en observant la manière dont le modèle se comporte dans son environnement simulé, la validation ne résidant pas seulement dans l'explication causale, mais aussi dans la cohérence du fonctionnement d'ensemble et la pertinence de l'organisation qui le supporte.

L'espace dans SeaLab est représenté par une grille rectangulaire composée d'unités spatiales élémentaires de forme hexagonale au sein desquelles l'environnement est supposé homogène et caractérisé par un indice hydro-climatique synthétique. Cet indice exprime une combinaison de l'ensemble des facteurs abiotiques qui ont une influence sur le succès de la reproduction. Pour chacune des modalités de l'indice hydro-climatique, on associe un succès reproductif exprimé en nombre de descendants. Au cours d'une période de reproduction, les individus effectuent des déplacements élémentaires (passages d'une cellule à une cellule voisine) à la recherche d'un site de reproduction. Au début de chaque saison de reproduction, on établit une nouvelle situation environnementale en fonction d'un scénario climatique prédéfini.

III- QUEL INTERET, QUELLE UTILISATION ?

Le principal intérêt d'un tel type de modèle réside dans sa capacité à explorer des dynamiques impossibles à résoudre analytiquement (dans le domaine non-linéaire par exemple), mais aussi à représenter des processus qui sont difficiles à retranscrire par des équations (typiquement des comportements, comme la migration). Au delà de cet intérêt fondamental, deux autres aspects méritent qu'on y prête attention.

A- Un modèle *en amont*

Un modèle de Vie Artificielle impose au modélisateur de définir un système *ex nihilo*. L'étape la plus délicate concerne l'identification et la retranscription des éléments et des processus fondamentaux du système. Cette étape correspond à la phase *préliminaire* de l'étude d'un système, équivalente à une analyse de sensibilité *grandeur nature*.

Dans le cadre de SeaLab, une part importante du travail a consisté à définir la manière de retranscrire les différentes hypothèses théoriques que l'on souhaitait tester. En quelque sorte traduire des concepts par des comportements,

ou tout au moins proposer des traductions possibles. On s'aperçoit très rapidement que cette phase est la phase essentielle de modélisation, celle dont dépendra toutes les étapes suivantes, et en particulier la phase d'exploitation du modèle (simulation proprement dite). On propose ici une manière de retranscrire le concept de *l'optimalité* dans la relation entre la performance d'une espèce et l'intensité d'une condition environnementale. On montre alors que selon le degré de spécialisation d'une population vis à vis d'une condition environnementale (exprimé par l'écart-type d'une fonction de succès reproductif de forme Normale), l'hypothèse de comportement reproductif *obstiné* conduit à des résultats très différents (en terme de survie de la population) de ceux obtenus avec l'hypothèse de comportement reproductif *opportuniste*: pour une spécialisation peu importante, le comportement *opportuniste* donne de meilleurs résultats, alors qu'au contraire, pour une spécialisation plus marquée, le comportement *obstiné* l'emporte.

B- Un métamodèle

On utilise souvent la métaphore du *laboratoire virtuel* pour rendre compte de la particularité des simulateurs de Vie Artificielle. L'idée de considérer les jeux de données issus de la simulation au même niveau que les jeux de données empiriques est une des idées fondatrices de la Vie Artificielle (Langton, 1989). En réalisant des simulations numériques (expériences *in silico*), on réalise une expérience qui présente les mêmes caractéristiques, avantages et portée intellectuelle qu'une expérience traditionnelle de laboratoire (*in vitro*) ou effectuée sur le terrain (*in vivo*). Dans le cadre des modèles de Vie Artificielle, cette idée se réfère au concept d'émergence à un niveau global de phénomènes induits par le comportement au niveau local des éléments de base du système. En utilisant SeaLab comme *un modèle permettant de tester d'autres modèles*, on peut s'attacher à la détection de la régulation du niveau d'abondance de la population, et à la détermination de la manière dont elle s'exprime. Si le succès reproductif des individus est conditionné par la densité de population localement, dans les cellules, dans quelle mesure peut-on le détecter au niveau global, avec une relation de type stock/recrutement classiquement utilisée par les halieutes ?

BIBLIOGRAPHIE

- CURY (P.), 1994 - Obstinate nature: an ecology of individuals - thoughts on reproductive behavior and biodiversity. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, n°51(7) : 1664-1673.
- DAGORN (L.), 1994 - *Le comportement des thons tropicaux modélisé selon les principes de la vie artificielle*. Thèse de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, 250 p.
- deANGELIS (D.L.) et GROSS (L.J.) (eds), 1992 - *Individual-based models and approaches in ecology*. Chapman & Hall, 525 p.
- DROGOUL (A.), FERBER (J.), CORBARA (B.) et FRESNEAU (D.) 1992 - A behavioral simulation model for the study of emergent social structures. In *Towards a practice of autonomous systems*, pages 161-170. MIT Press, Cambridge.
- KAREIVA (P.), 1990 - Population dynamics in spacially complex environments: theory and data - *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, n°330 : 175-190.
- KAWATA (M.) et TOQUENAGA (Y.), 1994 - From artificial individuals to global patterns. *TREE* n°9(11) : 417-421.
- LANGTON (C.G.), 1989 - Artificial life - In C.G. Langton (ed), *Artificial Life. Proceedings of an interdisciplinarity workshop on the synthesis and simulation of living systems*, pages 1-47. Addison-Wesley.
- LOMNICKI (A.), 1978 - Individual differences between animals and the natural regulation of their numbers. *J. Anim. Ecol.*, n°47 : 461-475.
- LOMNICKI (A.), 1980 - Regulation of population density due to individual differences and patchy environment. *OIKOS*, n°35 : 185-193.
- MESLE (R.), 1994 - *Ichtyus: architecture d'un système multi-agents pour l'étude de structures agrégatives*. DEA Université Paris VI.
- TYLER (J.A.) et ROSE (K.A.) 1994 - Individual variability and spatial heterogeneity in fish population models. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, n°4(1) : 91-123.