

# MODÉLISATION DYNAMIQUE ET SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE

Hélène MATHIAN\*

Lena SANDERS\*

**RÉSUMÉ** Méthodes de modélisation dynamique et SIG sont ici couplés. Cette intégration SIG-modélisation dynamique aide à l'élaboration des modèles et constitue un véritable outil de recherche en géographie.

• INTERACTION SPATIALE • MODÉLISATION DYNAMIQUE • SIG • SIMULATION

Si l'utilité des SIG a été largement montrée dans le cadre de l'aménagement et de l'aide à la décision, son utilisation en tant qu'outil de recherche a été moins souvent soulignée. Les différentes méthodes utilisées le long d'une recherche, visualisation des distributions, analyse des interactions, modélisation, simulation et validation sont en effet inégalement introduits dans les SIG existants.

Une équipe de géographes et d'informaticiens suédois (1) travaille à l'élaboration d'un Système d'Information Géographique dynamique (*Time GIS*), développé sur Macintosh. Dans ce système, l'accent est mis sur la dimension temporelle des distributions géographiques. La première fonction de cet outil est de visualiser l'évolution des distributions spatiales au cours du temps, qu'elles soient observées (données de recensements par exemple), le résultat de combinaisons de différentes variables (taux, densités) ou encore le résultat d'un modèle dynamique (fig. 1). Les unités sont des mailles ou des régions, et l'espace peut être organisé en différentes hiérarchies, le système permettant la coexistence de plu-

\* CNRS, Équipe PARIS, Université Paris 1, Paris.

**ABSTRACT** Methods of dynamic modelling and GIS are coupled. This integration of GIS and dynamic modelling contributes to the model building and represents a valuable tool for research in geography.

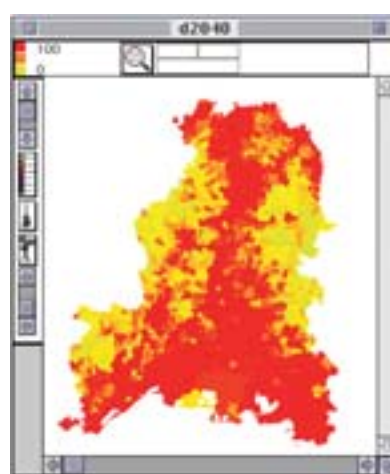
• DYNAMIC MODELLING • GIS • SPATIAL INTERACTION • SIMULATION

sieurs découpages spatiaux dans un même modèle. Chaque donnée donne lieu à une carte, qu'il est possible d'animer, s'il s'agit d'une série temporelle, et ceci à tous les niveaux de la hiérarchie des découpages spatiaux. La technique utilisée est de même nature que celle qui sert à gérer les systèmes multi-couches. L'opération de base consiste à calculer une nouvelle carte, fonction du temps, à partir de n'importe quelle combinaison d'autres variables ou séries temporelles, définie à l'aide d'équations ou de règles logiques. Les procédures sont simples et interactives et elles permettent d'intégrer à la fois des données empiriques et des lois théoriques. Les variables et les séries temporelles sont représentées par des icônes, que l'utilisateur met en relation à l'aide de diagrammes sagittaux. Ces relations sont ensuite définies par des équations statiques ou dynamiques dans des fenêtres de calcul (fig. 2).

La plupart des modèles dynamiques sont formalisés à partir d'un système d'équations différentielles  $dX/dt = F(X, Y, k)$  où la variation  $dX/dt$  de la variable X (population, production, superficie, etc.) est décrite en fonction de la variable X elle-même, d'une ou plusieurs autres variables (Y) et

**RESUMEN** En este análisis se asocian métodos de modelización dinámica y SIG. Esta integración SIG-modelización dinámica facilita la elaboración de modelos y constituye un verdadero instrumento de investigación geográfica.

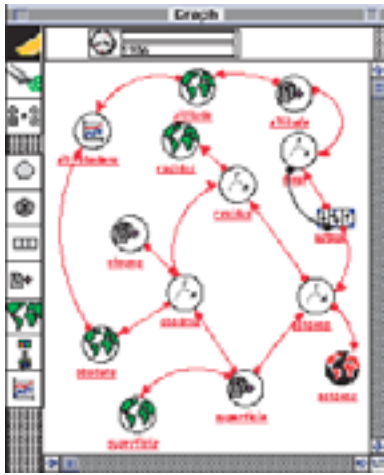
• INTERACCIÓN ESPACIAL • MODELIZACIÓN DINÁMICA • SIG • SIMULACIÓN



## 1. Densités en 2040

Situation en 2040 si les tendances se prolongent. La carte correspond à un arrêt sur l'image 2040.

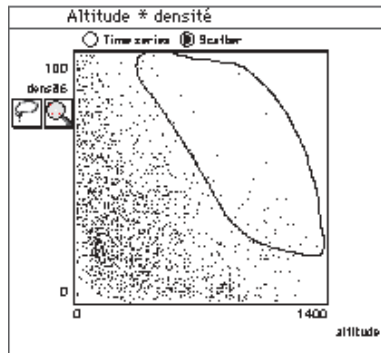
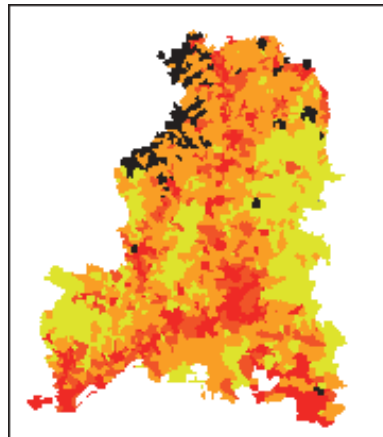
d'un ensemble de paramètres (k). Les modèles les plus classiques reposent sur une formulation logistique avec une idée sous-jacente de limitation de la croissance ou de Voltera-Lotka quand on veut introduire des mécanismes de compétition dans le modèle. La visualisation cartographique de la dynamique produite permet d'appré-



- Données (série spatio-temporelle, ex: population)
- Calcul (combinaison de variables, ex: densité)
- Construction de modèles dynamiques
- Cartographie

## 2. Formalisation d'un modèle

ciert la variété des rythmes de changement dans l'espace, le sens et l'intensité des variations et de repérer les retournements de tendance, les points de bifurcation et l'apparition ou la disparition de discontinuités spatiales. L'examen simultané des évolutions observées et modélisées ainsi que de l'évolution des résidus dans le temps (fig. 4) facilite la procédure d'ajustement. On peut ainsi identifier les ensembles géographiques dont l'évolution est régie par des mécanismes relativement généraux et modélisables et repérer ceux dont les trajectoires sont plus spécifiques et que des lois simples ne suffisent pas à comprendre. L'évolution de la nature et de la forme des relations entre deux variables peut également être visualisée à travers la représentation mobile du nuage de points correspondant. Le repérage sur une carte au choix de n'importe quel sous-ensemble (combinaison particulière, valeurs extrêmes, résidus élevés...) d'un tel nuage facilite par ailleurs la mise en évidence de spécificités locales et l'analyse de leurs localisations relatives (fig. 3). L'interaction spatiale peut être intégrée dans la conception des modèles dynamiques sous des formes variées (distance, flux, mesures de potentiels, accessibilité, contiguïté), que ce soit de manière exogène (matrice de flux ou de distances) ou de façon endogène en rééva-

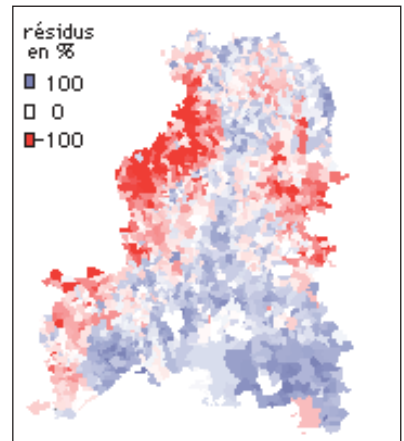
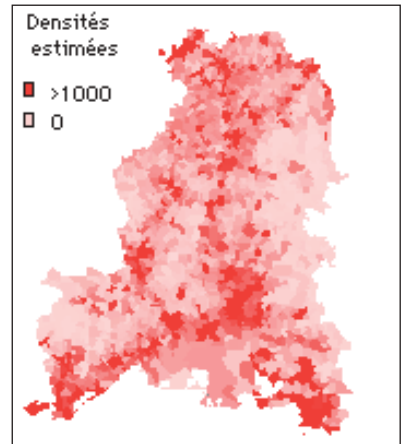
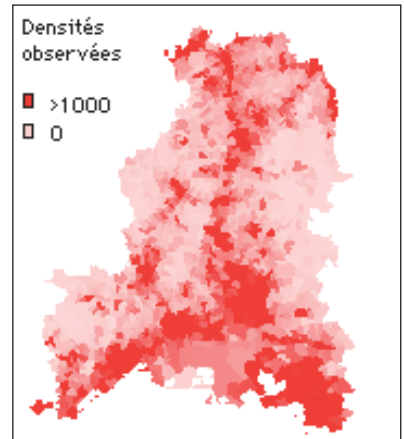


## 3. Densités observées en 1936

Un «lasso» permet de sélectionner un sous-ensemble d'unités dans un schéma cartésien et de les représenter sur une carte. Ici, les communes densément peuplées en altitude.

uant l'interaction à chaque pas de temps (potentiels, distance-temps).

Ainsi le *Time GIS* s'avère un outil tout à fait adapté à la mise au point de modèles dynamiques. Sa souplesse facilite le calibrage, c'est-à-dire le choix d'une fonction mathématique appropriée pour décrire la dynamique observée et l'ajustement des paramètres. Cette étape est utile car il n'existe pas actuellement de critère statistique qui permette d'intégrer à la fois les dimensions spatiale et temporelle dans une procédure d'ajustement. L'étape de visualisation dynamique a ainsi non seulement un but de communication ou de démonstration, mais joue un véritable rôle heuristique dans l'élaboration d'une modélisation spatiale. Cet outil s'avère ainsi d'une grande utilité pour analyser les dynamiques spatiales, identifier les processus sous-jacents à une évolution observée, tester des scénarios, effectuer des prévisions.



## 4. Un modèle dynamique

Le modèle a été appliqué afin de décrire l'évolution des densités de population de 1936 à 1990. La situation finale 1990 est ici représentée: densités observées, densités calculées et résidus.

(1) Il s'agit de B. Mikula, E. Holm, K. Mäkilä et S. Öberg de l'Institut de Géographie économique et humaine de l'Université de Uppsala.