

Simulation de dynamiques spatiales complexes par intégration de modèles disciplinaires.

Application à la modélisation de la dynamique du risque d'incendie de forêt.

Eric MAILLE, *Cemagref Aix en Provence*
UR Ecosystèmes Méditerranéens et Risques (EMAX, département GT)

Parmi les changements globaux que connaît notre époque, le changement d'occupation du sol constitue un enjeu majeur dont la mesure n'est souvent prise que localement. En zone méditerranéenne, la dynamique d'urbanisation est doublée d'une dynamique de progression de l'espace forestier sur les espaces abandonnés par une agriculture en déclin. Entre autres conséquences directes de cette double évolution, l'augmentation du risque lié à l'incendie de forêt résulte de la rencontre de zones combustibles, les espaces forestiers, et des zones vulnérables, les espaces urbains ou périurbains.

La planification de l'aménagement des territoires locaux constitue l'outil principal dont disposent les décideurs pour la maîtrise de cette dangereuse évolution. La prise de décision pour la planification territoriale est un processus complexe où interfèrent deux niveaux décisionnels distincts : un niveau macro-local (intercommunalités) auquel sont prises les décisions de planification stratégique (schémas d'orientation), et un niveau micro-local (communes), auquel sont prises les décisions de planification opérationnelle (Plans locaux d'urbanisme).

La prise de décision d'aménagement doit s'appuyer sur des outils prospectifs permettant l'anticipation de l'évolution du risque. Dans cette perspective nous proposons un cadre de modélisation logiciel pour l'implémentation et l'intégration de modèles disciplinaires permettant de simuler l'évolution du risque d'incendie liée aux dynamiques d'occupation du sol, aux deux niveaux d'échelle de décision de la planification territoriale.

1. Les modèles utilisés

L'augmentation du risque d'incendie émane de la confrontation de deux dynamiques spatiales très différentes : la dynamique des espaces combustibles, principalement des espaces forestiers, et la dynamique des espaces vulnérables, en particulier les espaces urbains discontinus. Le risque est évalué par des modèles d'analyse spatiale statiques. Fournir une représentation agrégée des deux processus dynamiques dans le but de simuler l'évolution globale résultante du risque se heurte à la nature très différente des processus à l'origine de ces dynamiques :

- *La dynamique du combustible* relève essentiellement de processus écologiques. Dans cette perspective, nous utilisons deux types de modèles :
 - A l'échelle micro-locale, les modèles d'extension spatiale de la végétation : par exemple, les modèles dit « reproductifs », qui cherchent à représenter le processus de dispersion des graines autour de semenciers, et leur implantation en fonction des caractéristiques du milieu. Nous utilisons le modèle AFFORSIM (Prevosto & al. 2003), qui représente la dynamique de progression des ligneux sur des espaces agricoles ou pastoraux abandonnés.
 - A l'échelle macro-locale, l'écologie du paysage propose des modèles plus agrégés d'évolution spatiale d'écosystèmes « composites ». Citons à titre d'exemple le modèle SIERRA (Mouillot F. & al.) ou encore le modèle LANDIS-II (Sheller R.M., Domingo J.B., 2006)

- *Les modèles de dynamiques d'urbanisation continue* sont extrêmement nombreux, le plus souvent fondés sur le paradigme des automates cellulaires. Notre objectif étant la représentation du processus d'urbanisation discontinue, nous avons développé deux cadres de modélisation spécifiques :
 - A l'échelle micro-locale, le cadre de modélisation MICROPOLIS est un Système Multi-Agents représentant les processus d'échanges économiques du foncier aboutissant à la formation de zones d'habitat discontinu (Maillé 2007).
 - A l'échelle macro-locale, le cadre de modélisation MACROPOLIS est un automate cellulaire stochastique dont la fonction de transition est fondée sur le calcul d'indices de structure spatiale.
- *Les modèles de risque* utilisés sont des modèles spatiaux statiques. Ils permettent le calcul d'un niveau de risque en tout point de l'espace à partir de l'analyse de la relation spatiale existant entre les zones combustibles et les zones vulnérables (Lampin & al. 2005). A l'échelle micro-locale (à grande échelle géographique), les modèles disponibles se fondent sur l'analyse spatiale matricielle (raster). A l'échelle macro-locale (échelle géographique moyenne) il s'agit de modèles d'analyse spatiale vectorielle.

2. Intégration

L'intégration est appréhendée à trois niveaux qui peuvent être assimilés à des niveaux d'abstraction : le niveau conceptuel, le niveau paradigmatique et le niveau architectural.

Le niveau conceptuel

Notre approche de l'intégration des modèles se fonde sur le cadre conceptuel de la triade de Peuquet (Peuquet 1994), qui propose de décomposer les représentations des systèmes spatio-dynamiques en trois « vues » : la vue basée sur les localisations (ou vue spatiale), la vue basée sur les événements (ou vue temporelle) et la vue basée sur les objets (ou vue sémantique). En termes d'intégration de modèles, la vue temporelle est porteuse de la problématique de synchronisation, la vue spatiale est porteuse de la problématique d'intégration scalaire, et la vue sémantique est porteuse de la problématique de l'intégration thématique. Considérant la synchronisation comme un problème essentiellement syntaxique, nous structurons notre cadre conceptuel en deux axes seulement : un axe d'intégration thématique et un axe d'intégration scalaire (figure 1).

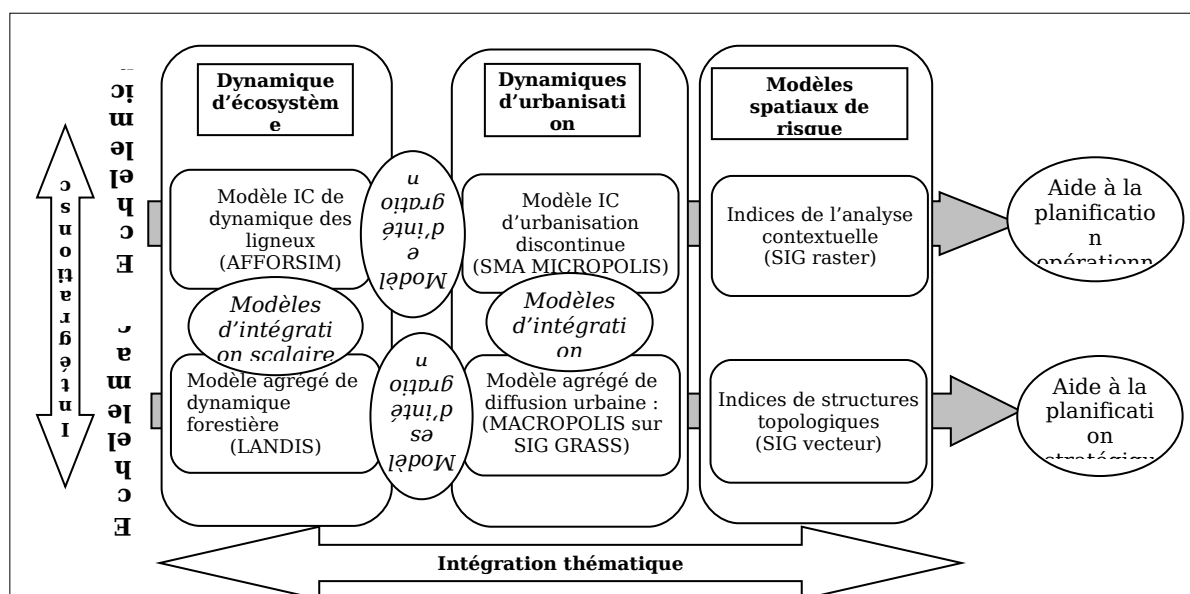


Figure 1. Les deux axes principaux d'intégration des modèles à considérer

L'intégration requière la spécification par l'utilisateur de « modèles d'intégration de modèles » à l'interface des différents modèles dynamiques et de « modèles d'intégration scalaire » à l'interface des deux niveaux d'échelle.

Le niveau paradigmatique

Le niveau paradigmatique permet notamment de prendre en compte l'hétérogénéité des formalismes de représentation des systèmes réels par les différents modèles. Il a notamment pour ambition de permettre l'interopérabilité de modèles fondés sur des représentations de l'espace, du temps ou de la sémantique (objets et états) différents. Nous posons l'hypothèse que, dans le cadre précis de notre application (de façon non générique), le paradigme agents, utilisé comme paradigme de médiation, est susceptible de répondre aux exigences des diverses dimensions de l'interopérabilité: l'interopérabilité sémantique se fonde sur la démarche d'agentification d'objets spatiaux (Rodriguez 2002) ; L'intégration scalaire se fonde sur la spécification « d'agents d'échelle » ; l'interopérabilité temporelle fonde sur la spécification d'agents de synchronisation (Fianyoy 2001).

Le niveau architectural

Au plan architectural, la démarche d'intégration s'appuie sur une architecture générique d'intégration à base d'agents IMAGIN dédiée à l'intégration des outils d'aide à la décision environnementale, spécifiée par le Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes (Serment 2006). Inspirée de l'architecture standard HLA (High Level Architecture), elle est constituée d'un sous système multi-agents de médiation entre les différents modules fonctionnels, encapsulé dans des adaptateurs et dotés d'interfaces permettant la communication avec le système de médiation (RTI). Il s'agit d'une architecture d'intégration à base d'agents. Dans notre application, les modules fonctionnels du SADE sont remplacés par les modèles de simulation.

Références :

- Fianyoy Y. E., Couplage de modèles à l'aide d'agents : le système OSIRIS, thèse de doctorat, Université de Saint-Etienne, 2001.
- Lampin C, Jappiot M, Long M, Borgniet L et Dumas E. SIG, analyse spatiale : Outils de caractérisation et cartographie des interfaces habitat-forêt. Colloque international SAGEO 2005, Avignon
- Maillé E., Espinasse B. : Un cadre de modélisation pour la simulation de dynamiques spatiales complexes. Application à l'évolution de la carte du risque d'incendie de forêt. Actes du Colloques SAGEO, 18-19 juin 2007, Clermont Ferrand, France
- Prévosto B., Hill D., Coquillard P., Individual-based modelling of *Pinus sylvestris* invasion after grazing abandonment in the French Massif Central, *Plant Ecology* 168:121-137, 2003, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, p. 121-137.
- Peuquet D.J., 1994, It' About Time: A Conceptual Framework for the Representation of Temporal Dynamics in Geographic Information System. In. *Annals of the Association of American Geographers* 84(3), Blackwell Publishers, pp.441-461
- Rodriguez A., Raper J., 2002, « Defining spatial agents », *Spatial Multimedia and Virtual Reality Research*, 2002, Monograph, Taylor and Francis, Centro Nacional de Informacao Geographica, Lisboa, Portugal
- Serment J., Espinasse B., Tranvouez E., « Vers une infrastructure d'intégration pour le développement de systèmes d'aide à la décision environnementale », *6^{ème} Conférence Francophone de Modélisation et Simulation – MOSIM'06*, 3-5 avril 2006, Rabat, Maroc

Scheller M.R., Domingo J.B., « LANDIS-II Core Model Description » & « Landis-II Models v5.1 User Guide », landis.forest.wisc.edu, 2006