

Modélisation intégrative des paysages

Compte-rendu de l'atelier 3 : Etat de l'art

Le 9 décembre 2009 – Cirad Agropolis – Salle 2 / bâtiment 15

1) Programme de l'atelier

- 09h00 – 09h30 : café d'accueil
- 09h30 – 10h30 : Mélanie Broin (LISAH/GREEN/AMAP)
Le paysage de la recherche en modélisation intégrée des paysages
- 10h30 – 11h15 : Patrick Rio (UMR LAMETA – INRA Montpellier)
Mise en scène graphique : un outil de médiation entre disciplines dans les projets de modélisation environnementale
- 11h15 – 12h00 : Conférence d'Alexandre Muzy (Université de Corte)
Utilisation du formalisme DEVS dans la modélisation intégrée des paysages
- 12h00 – 12h45 : Marie-Ange Ngobieng (UMR SYSTEM – Cirad)
La représentation des motifs spatiaux dans la modélisation intégrée des paysages
- 12h45 – 14h00 : Repas
- 14h00 – 14h30 : Mélanie Broin
Quelle forme pour les plates-formes scientifiques ?
- 14h30 – 15h30 : Discussion / réflexion collective :
Et après : quel avenir pour le réseau Modélisation intégrée des paysages : plate-forme scientifique ou projet intégrateur ?
- 15h30 – 16h30 : Préparation des tables-rondes du colloque :
 - 1) Méthodologie et outils de modélisation
 - 2) Modélisation des composantes bio-physiques au sein des paysages
 - 3) Modélisation intégrée des composantes bio-physiques et socio-économiques au sein des paysages

2) Personnes présentes

1. Mélanie Broin (LISAH/AMAP/GREEN)
2. Xavier Louchart (LISAH)
3. Jean-Christophe Fabre (LISAH)
4. Patrick Rio (LAMETA)
5. Jean-Pierre Muller (GREEN)
6. Marie Ange Ngobieng (SYSTEM)
7. Anne Mérot (SYSTEM)
8. Vincent Le Chevalier (AMAP)
9. Raphaël Duboz (AGIRs)
10. Michael Rabotin (LISAH)
11. Samuel Dufour (AMAP)
12. Alexandre Muzy (CNRS/Université de Corse)

3) Présentation de Mélanie Broin : le paysage de la recherche en modélisation intégrée des paysages

Cette présentation synthétise l'état de l'art bibliographique réalisé sur la modélisation intégrée des paysages par Mélanie Broin. Une première recherche par mots-clés a permis d'identifier environ 750 publications datant de moins de 5 ans dans le domaine. Une première analyse montre que les publications scientifiques sur ce thème apparaissent très dispersées, tant du point de vue des journaux dans lesquels ces recherches sont publiées, que du point de vue des auteurs et des thématiques. Cette analyse permet de faire ressortir six thèmes majeurs dans le domaine de la recherche en modélisation intégrée des paysages :

- les flux au sein des paysages (eau, sol, vent, pollen...)
- la modélisation des espèces et des habitats (écologie)
- la modélisation des systèmes forestiers (biomasse, feux, maladies...)
- les dynamiques spatio-temporelles d'utilisation des terres
- les interactions entre acteurs sociaux et ressources naturelles (systèmes socio-environnementaux)
- les interactions entre les facteurs économiques et les systèmes environnementaux
- la modélisation de l'ensemble des services rendus par le paysage et ses composantes à l'Homme (services environnementaux)

Au cours de cette recherche, un certain nombre de chercheurs et de labo incontournables dans le domaine ont été identifiés, ainsi que tout un champ lexical de mots-clés associés à la thématique et aux différents disciplines associées. Cette première approche a permis de collecter un grand nombre de références bibliographiques pertinentes pour la thématique, et de poser les premiers jalons d'une démarche plus systématique et plus exhaustive.

4) Présentation de Patrick Rio : Mise en scène graphique : un outil de médiation entre disciplines dans les projets de modélisation environnementale

Cette intervention résulte d'un constat et d'une ambition.

Un constat : de nombreuses applications dans le domaine de l'environnement réclamant des compétences multiples propres à plusieurs disciplines disposent d'un volet graphique (modélisation des plantes, prise en compte des réseaux hydrologiques, etc).

Cet investissement graphique est motivé

- d'abord par des objectifs d'exposition : synthèse statistique par histogramme ou graphe, suivi dynamique des éléments du système, cartographie ;
- ensuite par un objectif d'exploration/simulation ne se limitant pas à des configurations connues : identification des architectures possibles dans un L-system, prise en compte des dynamiques végétatives ou reproductives (impact de la lumière sur la fructification en fonction de l'architecture contrôlée du matériel végétal), effets d'encombrement (dispersion des arbres en fonction des caractéristiques des espèces et des caractéristiques des sols)
- enfin par des objectifs de coordination, rendant visible au niveau de la maquette graphique les conséquences du déroulement de ce processus sur le devenir du système étudié pour stimuler la réflexion et susciter de nouvelles idées/pistes.

Une ambition : tirer le meilleur parti de ce que la mise en scène graphique peut apporter à une démarche de coordination des disciplines concernées. Cette ambition privilégie évidemment la troisième motivation identifiée ci-dessus. Mais elle implique plus que la confrontation de chaque discipline aux contraintes que les autres approches imposent à la maquette. La représentation graphique qui consigne les savoirs disciplinaires sur le système, introduit une dimension spécifique comme outil d'accompagnement dans l'optique de l'aide à la décision. On approche ici la notion d'outil de médiation où les contours du conflit sont rendus visibles à l'utilisateur en lui permettant d'évaluer à un niveau de visibilité donné, ici au niveau du paysage, les conséquences « à terme » d'une décision. Aspect interactif important qui tire la plateforme vers l'artefact que les démarches collaboratives introduisent pour accompagner la formulation du problème.

L'état de l'art place ainsi la visualisation à l'intersection de trois démarches :

- la démarche de **coordination « technique » entre modèles et objets des modèles** qui a atteint un niveau de formalisation élevé autour des maquettes numériques, les DMU (digital mock up), modalité de coordination développée pour l'aéronautique, l'automobile, la construction et basée sur une mise en commun d'une maquette de l'objet en cours d'élaboration, l'utilisation de cette maquette pour évaluer les propositions de modification et l'échange de fichiers explicitant localement les éléments nouveaux
- **l'aspect « médiation »** qui au delà de la facilitation des « échanges disciplinaires », valorise au sein de la plateforme sa mobilisation dans une optique de simulation
- **l'aspect « ontologie »** qui, dans les choix de représentation, va concerner la désignation des éléments du système en fonction de l'expérience de l'espace propre à chacun des intervenants.

Dans cette démarche, l'administrateur graphique occupe une place particulière qu'on repère à différents niveaux.

- Du fait de la nécessité de fournir une représentation « étendue » du contexte qui permette aux utilisateurs de visualiser les conséquences de leurs choix, l'administrateur graphique est amené, même en l'absence de connaissances établies, à proposer, pour rendre explicite cette part du phénomène, une représentation approchée, l'occurrence aléatoire d'une maladie par exemple lorsque les épidémiologistes et les pathologistes ne peuvent fournir une information suffisamment précise pour sa survenue. La démarche de l'administrateur réciproquement, tout en facilitant l'usage de la face graphique du modèle, repère un besoin de connaissance ou les points d'incertitude du système représenté appelant des analyses spécifiques de sensibilité et un investissement en connaissances nouvelles. La visualisation assume alors une fonction d'exploration.
- On peut introduire dans ce paragraphe un questionnement sur la simplification des modèles que son usage interactif impose dans une majorité des cas ; par opposition à des démarches de type étude/expertise où les parties se donnent du temps pour évaluer l'impact de diverses décisions : la réflexion sur ce point induit une explicitation des publics visés.
- On peut encore l'aborder en terme d'abstraction et de réalisme des représentations, du territoire notamment. Des cas d'études, on peut vérifier l'existence d'un positionnement social attribué aux acteurs, des représentations « réalistes » à base de SIG s'adressant aux décideurs de « haut niveau » alors que les représentations « réalistes » valorisant les caractéristiques familières de leur environnement quotidien sont à privilégier auprès des populations locales. Le modélisateur est pourtant sensible aux avantages qu'offrent des représentations plus abstraites, voire archétypiques. Toute une gamme d'options permet de conserver un lien entre la représentation et le système étudié. Le public cible n'est pas le seul critère à considérer et peut être bien moins important que l'objectif assigné à la démarche de modélisation qui détermine la nature de la représentation. Par exemple, dans des situations conflictuelles, où l'objectif est de faire dialoguer les acteurs, on aura intérêt à proposer une représentation qui ne reprend pas fidèlement les éléments caractéristiques du site. Pour que la relation entre une représentation "distante" et le site étudié puisse tout de même exister, on peut jouer sur différentes dimensions de "ressemblance": dans les proportions des différents types d'occupation de l'espace, dans l'existence de certains "patterns", etc...

5) Présentation d'Alexandre Muzy : Towards a Landscape of Discrete-Event Systems and Discrete-Event Systems of Landscapes?

Pour commencer, cette présentation explique pourquoi et comment développer un automate cellulaire à simulation discrète (DSCA). Puis elle donne les détails de la spécification du système pour la simulation. Ensuite elle présente des modèles et simulateurs DSCA et montre comment le DSCA permet de focaliser sur des zones d'activité dans un modèle cellulaire, grâce à un algorithme simple. Enfin, les conclusions et les perspectives sont discutées à partir d'un exemple d'application à la propagation des incendies.

La modélisation à événement discret remonte à 1940. Elle repose sur les concepts suivants :

- L'événement : ce qui cause un changement dans l'état d'un objet
- L'activité : l'état d'un objet à travers un intervalle de temps
- Le processus : succession d'états d'un objet dans un temps donné, comprend une série d'activités.

De là, on peut classer les modèles selon la façon dont ils gèrent le temps :

- Modèles à temps discret
- Modèles à événements discrets
- Modèles continus

Comme un temps continu, un état continu peut prendre n'importe quelle valeur dans l'ensemble des réels. Le temps ou les événements sont dits «infiniment continu» si, dans un intervalle de temps fini, un nombre infini de changements d'états a lieu. Dans une simulation dirigée par horloge l'état du système est calculé à intervalles de temps réguliers. On dit alors qu'on a une base de temps discrète. Les changements d'état du système intervenant à intervalles de temps réguliers.

Dans une simulation dirigée par événements, le temps avance en fonction des événements discrets du système. Les intervalles de temps sont donc ici différents. On dit alors qu'on a une base de temps continue. Les événements discrets pouvant intervenir à n'importe quel instant. Pratiquement, une simulation dirigée par événements est programmée en utilisant une liste d'événements futurs, et les fonctions «Nouvel événement» et «Ordonnancer».

Dans les modèles couplés, les modèles DEVS peuvent être reliés de manière hiérarchique. Une fonction de transition externe décrit la façon dont le modèle atomique change d'état en réponse à une information en entrée. Quand une nouvelle entrée est appliquée au système, on dit qu'un événement extérieur est survenu. Après un laps de temps, la fonction de transition interne décrivant le fonctionnement interne du modèle atomique s'exécute. Lorsque le système change d'état de manière autonome, on dit qu'un événement interne est survenu.

Une fonction de transition confluyente détermine le nouvel état du modèle atomique lorsqu'un événement interne et un événement externe interviennent en même temps. Pour finir, la fonction de sortie génère les données de sortie en même temps que s'exécute la fonction interne. La fonction temporelle détermine le temps nécessaire avant que le prochain événement interne n'intervienne, à condition qu'aucune donnée d'entrée n'arrive entre temps. Les informations de couplage au sein du réseau de modèles sont spécifiées dans l'état du modèle exécutif. Les fonctions de transitions peuvent en conséquence modifier cet état, et ainsi modifier la structure du réseau. Ce qui implique également des changements dans l'interconnexion des composants du système, dans la définition du système, et l'ajout ou la suppression de composants du modèle.

6) Présentation de Marie-Ange Ngobieng : La représentation des motifs spatiaux dans la modélisation intégrée des paysages

L'objectif de ce travail est de faire un bref état de l'art de la façon dont l'espace est pris en compte et géré dans la modélisation des paysages. Pour cela, nous avons élaboré une grille d'analyse permettant de définir la prise en compte de l'espace dans les modèles :

<p style="text-align: center;">Landscape elements elements are usually used in landscape models</p>
<p style="text-align: center;">Space representation In which ways is discretized space in landscape models?</p>
<p style="text-align: center;">Scaling change scales in landscape models, with continuous or more discontinuous (such as discrete organization levels)</p>
<p style="text-align: center;">Topology and geometry What kind of topology and geometry are concerned by landscape models</p>
<p style="text-align: center;">Space dimensions Which dimensions are usually handled into landscape models?</p>
<p style="text-align: center;">Neutral and Process-explicit models neutral (null-hypothesis) VS more process-explicit landscape models</p>
<p style="text-align: center;">Visualisation What are the present visualizations associated to usual landscape models?</p>

Application à la modélisation de la dynamique forestière :

Deux façons de représenter l'espace : modèle « patch » (les communautés végétales sont représentées comme une mosaïque de motifs à différentes phases d'évolution) ou modèles individu-centrés spatialement explicites (IBM).

Cas des IBM :

Ils permettent de tenir compte de la forte variabilité au sein des peuplements complexes. Chaque individu est représenté. De tels modèles simulent l'évolution d'un peuplement en simulant la croissance de chacun de ces individus, en tenant compte de ses caractéristiques et son environnement local. Ce formalisme est adapté à l'étude de la structure de peuplements forestiers, grâce à la représentation qu'on en fait. Le premier élément à prendre en compte pour décrire la structure spatiale d'un peuplement est évidemment la position des arbres. On peut ainsi étudier les caractéristiques des points représentant les positions des arbres dans un peuplement réel. On peut alors représenter très simplement un peuplement par un ensemble de points, encore appelé "semis de points".

Pour étudier et manipuler ces semis de points, il existe un outil mathématique adapté : le formalisme des processus ponctuels. Qu'est ce qu'un processus ponctuel ? C'est un objet mathématique stochastique, équivalent d'une variable aléatoire, dont les réalisations sont des semis de points. C'est à dire qu'un tel processus peut "générer" un nombre infini de semis de points, tous différents, mais ayant les mêmes propriétés de structure.

Une variable aléatoire réelle est une variable aléatoire à valeurs dans \mathbb{R} , ou une partie de \mathbb{R} ; c'est une fonction définie depuis l'ensemble des résultats possibles d'une expérience aléatoire, dont on doit pouvoir déterminer la probabilité qu'elle prenne une valeur donnée ou un ensemble de valeurs donné. Les variables aléatoires réelles sont les variables aléatoires les plus couramment étudiées, ce qui conduit certains auteurs à omettre l'adjectif réel, et à parler de variable aléatoire tout court. Un processus stochastique ou processus aléatoire (voir Calcul stochastique) ou fonction aléatoire (voir Probabilité) représente une évolution, généralement dans le temps, d'une variable aléatoire.

Un processus ponctuel est un processus stochastique dont les réalisations sont des semis de points, dont les propriétés définissent les contraintes sur les réalisations (voisinage, structure). Quelles sont les propriétés d'un semis de points, qui vont déterminer sa structure ? Deux principales propriétés :

- sa densité, qui caractérise la probabilité de présence d'un point dans une surface élémentaire ds_1 , pour un processus homogène, elle est égale en tout point du semis au nombre de point par unité de surface,
- sa densité de paire de points, probabilité de présence conjointe de deux points dans des surfaces élémentaires ds_1 et ds_2 . Cette probabilité peut être caractérisée par la fonction g , qui est la fonction de densité des paires de points définie par le produit des densités de points en ds_1 et ds_2 . Pour un processus homogène, elle s'écrit de cette façon : $\lambda^2 g((x_1, y_1), (x_2, y_2)) ds_1 ds_2$. La densité étant la même en tout point du semis. Cette fonction ne dépend en fait que de la distance r entre ds_1 et ds_2 et est alors proportionnelle au nombre de couples de points à cette distance.

Cette propriété du processus est caractérisé par une fonction $g((x_1, y_1) (x_2, y_2)) ds_1 ds_2$ et elle est utilisée pour caractériser la structure du voisinage autour de points du semis et donc les relations de voisinage entre les points du semis, outils de description de la structure d'un semis de points.

La fonction g exprime donc les relations de voisinage entre les points d'un semis pris deux à deux et c'est pour cette raison que la propriété de second ordre d'un processus est usuellement utilisée comme outil de description de la structure spatiale. Nous verrons plus tard un tel outil de caractérisation, qui est l'intégrale de la fonction de densité de paires de points.

On peut donc caractériser la structure spatiale par $l(r)$, 3 types de structures avec valeurs positives agrégées : régulière, aléatoire, agrégée. Pour récapituler l'application des processus ponctuels au peuplement forestier, on part d'un peuplement réel, représenté par un semis de point, on peut lui associer un processus ponctuel "sous-jacent" et utiliser ce processus pour étudier les propriétés du semis de points, du premier et du second ordre, du peuplement réel, comme par exemple la structure spatiale.

Ce même processus ponctuel peut aussi être utilisé pour simuler d'autres semis de points, de même structure, qu'on pourra considérer comme des peuplements virtuels, *ie* des réalisations réalistes du semis de points réels étudiés.

Il existe plusieurs processus ponctuels, des structures spatiales similaires pouvant être simulées par différents processus. Nous avons donc choisi le processus de Poisson pour simuler des structures aléatoires. Ici, les individus sont distribués indépendamment les uns des autres et uniformément repartis dans l'espace. Nous avons utilisé le processus de Neyman Scott pour simuler des structures agrégées. Ici, il s'agit en quelque sorte d'une simulation d'un processus dans des disques de rayon définis. Nous avons utilisé un processus hard core pour simuler des semis réguliers. Ici les points d'une paire ayant entre eux une distance inférieure à une distance seuil r sont exclus du semis de points. Cette propriété peut être utilisée pour simuler une structure spatiale spécifique régulière (la distance seuil est ici la

distance de régularité), ou une structure spatiale intertype répulsive entre deux semis de points (la distance seuil est la distance de répulsion).

Si l'on applique la grille d'analyse définie auparavant aux modèles forestiers individus-centrés, voilà ce qu'on obtient :

Landscape elements tree
Space representation vector
Scaling hectares, interest in changing scale P->EA->+++
Topology and geometry What kind of topology and geometry are concerned by landscape models ???? Spatial interaction and processes
Space dimensions 2D, 3D (STReTCH, Hi-Safe)
Neutral and Process-explicit models neutral (null-hypothesis) VS more process-explicit landscape models
Visualisation What are the present visualizations associated to usual landscape models????

Ce travail préliminaire devra être complété par des apports sur les éléments génériques du paysage, des applications en écologie, hydrologie et dynamique forestière, sciences humaines et sociales.

7) Présentation de Mélanie Broin : Quelle forme pour les plates-formes scientifiques ?

Qu'est-ce qu'une plate-forme scientifique ? Cette présentation vise à faire un petit état des lieux des différents types de plates-formes scientifiques rencontrées, et par là même d'ouvrir la discussion sur l'opportunité d'une plate-forme scientifique en modélisation intégrée du paysage sur la place de Montpellier.

Tout d'abord, notons qu'il existe quatre types de plates-formes de natures tout à fait différentes :

- La plate-forme informatique (par exemple, le projet RECORD à l'INRA) : il s'agit d'un espace virtuel de rencontre de modèles et simulateurs numériques pouvant fonctionner en inter-relation.
- La plate-forme de travail collaboratif : il s'agit d'un espace de travail virtuel qui centralise tous les outils liés à la conduite d'un projet et les met à disposition des acteurs (exemple : la plate-forme SEAMLESS)
- La plate-forme technique : elle a une existence matérielle et consiste en un regroupement de moyens techniques (appareils, main d'œuvre) au service de différents laboratoires de recherche (exemple : le Génopôle d'Evry, plate-forme d'analyse des génomes)
- La plate-forme scientifique : l'expression ne correspond pas à une appellation officielle ou à un label. Les termes de plate-forme scientifique désignent plutôt une démarche, celle de laboratoires décidés à mutualiser des moyens et des compétences au service d'**une thématique scientifique commune**. Cette organisation n'implique pas nécessairement un regroupement physique des différentes structures engagées. C'est naturellement de ce type de plate-forme dont il va être question par la suite ;

Les principales caractéristiques d'une plate-forme scientifique sont les suivantes :

- Des membres bien identifiés (institutionnels et/ou individuels, publics et/ou privés)
- Dimension locale, nationale ou internationale
- Gestion d'un site web permettant le partage d'informations:
- Actualités (conférences, appels d'offres)
- Ressources (biblio, liens, logiciels, bases de données...)
- Diffusion d'une newsletter voire d'une revue scientifique
- Hébergement de forums de discussion
- Organisation de séminaires scientifiques, formations, rencontres internationales
- Gestion de projets/workpackages
- Forme juridique: pas d'existence juridique, GIS, association, institut...

Exemples de plates-formes scientifiques internationales ou société savantes en lien avec la modélisation intégrée du paysage :

- International Environmental Modelling and Software
- The Ecosystem Services Partnership
- The International Society for Ecological Modelling
- The International Society for Ecological Informatics
- The International Society for Ecological Economics
- The global Land Project
- The Landscape Research Group

Exemple de plate-forme scientifique nationale : le Réseau National des Systèmes Complexes. C'est un groupement d'intérêt scientifique (GIS).

Exemple de plate-forme scientifique régionale « sans murs » : le GIS Climat-Environnement-Société (Ile-de-France)

Exemple de plate-forme scientifique régionale « avec murs » : L'Institut rhône-alpin des systèmes complexes (IXXI)

En France, la plupart des plates-formes scientifiques ont le statut de GIS. **Le Groupement d'intérêt Scientifique (GIS)** est en France une entité et un système de fonctionnement imaginés et mis en oeuvre par le CNRS. Il peut parfois s'agir d'un partenariat public-privé. Un GIS n'est pas, pour le CNRS, une structure opérationnelle de recherche. Un GIS est matérialisé par une convention constitutive dont le préambule décrit le cadre scientifique de ce GIS, les raisons et motifs qui ont conduit les partenaires à collaborer et leurs compétences et expériences respectives.

Dans le préambule ou dans les articles, les études, domaines, résultats, savoir-faire, programmes évoqués ou prévus... doivent être décrits de manière à éviter toute ambiguïté, surtout si des partenaires non scientifiques sont associés dans le GIS.

En moyenne, les GIS sont prévus pour durer environ 4 ans. Le contrat pouvant être prolongé par un avenant signé par les parties.

8) Réflexion : comment fédérer la recherche montpelliéraine en modélisation intégrée des paysages ?

Deux directions :

- Démarches et lobbying en vue de la création d'une plate-forme scientifique « avec murs »
 - Identification des personnes ressources
 - Démarches auprès de l'UMII pour obtenir des locaux et des moyens administratifs
 - Démarches à entreprendre auprès du pôle de compétitivité en vue d'une labellisation afin de pouvoir concourir au Fond Unique Interministériel pour le financement de plates-formes scientifiques
 - Programme GEPETO de la région LR

- Montage d'un projet de recherche intégrateur autour d'une question multidisciplinaire. Le spatial comme moyen d'intégrer les différents regards. Définition d'un langage commun, d'une ontologie des paysages. Quels sont les outils intégrateurs en terme de modélisation à chaque étape ? Quels sont les outils de la pluridisciplinarité ?
Mise en œuvre et validation d'une démarche méthodologique conceptuelle à travers deux ou trois cas d'études (vigne, café)
 - appel d'offre fondation agropolis « Grand projet fédérateur »
 - appel d'offre ANR « SYSTERRA »