

Couplage simple entre système d'information géographique et modèle multi-agents

Annie Hofstetter¹

Résumé : *Cet article traite l'aspect technique d'un couplage simple entre un système d'information géographique (SIG) et un système multi-agent (SMA). Pour situer le contexte, nous faisons le point sur les données disponibles et le projet afin de comprendre pourquoi préférer utiliser un fond cadastral dans un système de simulation. Ensuite nous abordons la réalité du couplage à travers la phase d'initialisation du modèle multi-agent, en prenant quelques exemples de traitements spécifiques tels que le voisinage des entités spatiales élémentaires.*

Mots clés : modélisation, paysage, politiques publiques, couplage, SMA, SIG

Introduction

Le projet d'ensemble vise à construire un modèle pour analyser l'impact des politiques publiques sur la dynamique de végétation.

Le problème de modélisation est abordé comme un système complexe qui prend en compte la diversité des acteurs, les différentes interactions sur l'environnement physique et/ou social ou la hiérarchie spatiale. La mise en œuvre est conduite grâce à des outils adaptés à la représentation des relations agents-environnement hétérogènes que sont les simulateurs multi-agent (SMA), qui autorisent la représentation des interactions et de leurs effets sur la dynamique d'un système.

Pour initialiser la configuration spatiale, le couplage simple consiste à alimenter ce modèle à l'aide de données provenant d'un système d'information géographique (SIG). L'originalité de ce couplage réside surtout dans le fait d'utiliser le fond cadastral ainsi que les données associées.

1. Contexte

1.1 Cadre de l'analyse

Ce travail s'inscrit dans un programme² de recherches conduites au LAMETA (Laboratoire montpellierain d'économie théorique et appliquée) du centre Inra de Montpellier, qui portait sur l'analyse de la dynamique naturelle de la végétation.

À la base, nous nous sommes inspirés du modèle ALAMO³ qui décrit les interactions entre les activités humaines telles que l'agriculture ou la forêt, et la dynamique naturelle de la végétation. Notre modèle vise à analyser et à évaluer l'impact des politiques publiques sur la dynamique des paysages.

¹ INRA UMR 1135 LAMETA -Laboratoire montpellierain d'économie théorique et appliquée-
F-34060 Montpellier ☎ 04 99 61 24 99 ✉ annie.hofstetter@supagro.inra.fr

² Cette recherche sur l'impact des politiques sur la dynamique des paysages au sud du Massif central a été financée par le ministère de l'écologie et du développement durable et s'inscrit dans le programme *Politiques publiques et paysages : analyse, évaluation, comparaisons*.

³ Agricultural Landscape Model, R. Lifran

L'objectif est de représenter la diffusion de l'innovation et de la végétation dans une communauté d'agriculteurs afin de comprendre l'impact des politiques publiques sur la dynamique des paysages une fois l'espace structuré. Nous tenterons d'observer le rythme d'embroussaillage en prenant en compte les différents rythmes d'innovations et les adaptations à l'application d'une politique publique. Un modèle de type multi-agents nous apporte une réponse car il existe des interactions dans tous les sens.

Historiquement, des enquêtes sur le terrain ont permis de construire une réflexion sur la dynamique du paysage. De précédentes approches ont conduit à une représentation géographique du paysage au niveau des lieux-dits définis comme unité de base structurant également la population. Le lieu-dit est un espace utilisé par une population regroupée dans un hameau.

Le polygone de Thiessen décrit le périmètre d'action autour d'un lieu-dit auquel il est rattaché. Il établit le lien entre le hameau et son espace. Chaque lieu-dit peut être caractérisé par un nombre de troupeaux, une population et un espace exploité. Il existe des terrains sectionnaux collectifs dont la description est exprimée en ces termes : *la propriété collective des habitants du hameau*.

Autour de cette définition, la structure sociale renforce le lieu-dit comme territoire d'exploitation.

Le cadre de l'étude est la Causse du Sauveterre où la production du lait de brebis est principalement destinée à la production fromagère. Sur cette zone nous pouvons observer :

- une concentration des élevages qui conduit à un abandon plus ou moins durable de fractions de territoires et qui entraîne une diminution de la population ;
- la modification des modes d'alimentation des troupeaux qui semble à l'origine du développement du boisement naturel ou artificiel. L'amélioration génétique a entraîné l'obtention de races plus sensibles à l'alimentation. Afin de répondre à ce nouveau besoin, l'intensification a dû se faire en se concentrant sur les meilleures terres au détriment des landes moins productives.

La dynamique du paysage est ainsi respectivement rattachée à la dynamique de la population d'une part, et à la dynamique des techniques et des pratiques, d'autre part.

Nous évoquerons la notion de transect qui représente une sélection des lieux-dits sur la Causse. Ce transect s'étend de l'ouest à l'est et il couvre une partie des communes de Saint-Georges-de-Lévejac, La Malène, La Canourgue, Laval-du-Tarn, Sainte-Enimie et Ispagnac. Cette zone d'étude est constituée de 10 000 parcelles sur 20 000 hectares.

Par ailleurs, les politiques publiques peuvent être définies selon trois niveaux :

- les politiques publiques agissant directement sur la dynamique des paysages ;
- les politiques publiques agissant sur les pratiques d'utilisation de l'espace (utilisation ou non des parcours, pratiques d'intensification de l'élevage, etc.) ;
- les politiques publiques d'aménagement agissant sur la redéfinition des usages de la propriété collective ; selon les communes, les sectionnaux peuvent représenter jusqu'à un quart du territoire.

Une caractéristique importante du modèle est le pas de temps sur lequel repose le processus de diffusion de la végétation. Grâce à la photo-interprétation, nous pouvons traduire la dynamique du paysage et son évolution sur une période suffisamment pertinente.

De décennies en décennies apparaissent de nouvelles innovations, telles que l'alimentation concentrée entraînant l'utilisation des céréales sur les meilleures terres : les parcours alors moins utilisés, la broussaille s'installe. On comprend que l'intensification porte à la fois sur la gestion de cet espace et sur la gestion des troupeaux.

Encadré 1 : le Causse de Sauveterre

Le Causse de Sauveterre est l'un des deux grands causses de Lozère avec le Causse Méjan. D'une superficie totale de l'ordre de 30 000 hectares, il s'étend entre les deux grandes rivières de ce département en s'abaissant au nord-ouest vers le Lot et au sud vers le Tarn. Au milieu de cette masse calcaire, le plateau présente de petites dépressions, les dolines, où sont cultivées céréales et cultures fourragères. Aménagées avec des pavés elles constituent également les lavognes où s'abreuvent les animaux. Le plateau montre aujourd'hui un paysage végétal profondément modifié par la vie pastorale ; la forêt originelle a laissé la place à de vastes pelouses et à des landes plus ou moins piquées de buis et de genévrier. Des futaies de pins noir et sylvestre sont visibles surtout dans la partie occidentale. Ce plateau est fortement marqué par les activités d'élevage ovin. Par ailleurs, on dénombre des habitations dispersées et des hameaux qui témoignent, malgré l'exode rural, d'une activité agricole encore importante.

Sur des milliers d'hectares, le Causse de Sauveterre ne possède que très peu d'éléments d'artificialisation notables hormis quelques zones urbanisées et des cultures. Le caractère très dispersé de ses activités procure au site un aspect naturel marqué. Il constitue une entité paysagère originale et pittoresque : pelouses rares s'étendant à l'infini, vastes espaces déserts vallonnés, paysage ruiniforme dolomitique, etc.

La principale menace de dégradation repose sur les boisements qui, multipliés, modifieraient complètement la perception du paysage et annuleraient l'aspect désertique et ouvert qui caractérise et qui fait le charme du Causse.

1.2 Les données du SIG : analyser et décrire la dynamique des paysages

Un précieux travail d'interprétation a été réalisé sur la zone d'étude à partir des photos aériennes de 1963, 1977, 1989 et 2000⁴. Nous avons d'abord identifié les éléments structurants (champs, pelouses, parcours, bois) et leurs changements au cours des quatre dernières décennies. Puis nous avons identifié le rôle fondamental d'une gestion de l'espace par les habitants des hameaux. Ce rôle est lié aux contraintes posées par la production laitière. Les premières analyses montrent que la dynamique de l'embroussaillage a débuté avec les territoires sectionnaux. Les transformations du paysage recouvrent un double mouvement de progression des boisements et de réouvertures, combinées selon des logiques propres à chaque hameau. L'existence d'une grande propriété foncière collective dans chaque hameau et la façon dont les habitants gèrent ses usages est fondamentale pour comprendre ces logiques.

1.3 L'originalité du SMA : structure hiérarchique des entités

Selon Ferber, un système multi-agents se définit par plusieurs éléments dont l'espace représenté par les entités spatiales. Dans notre modèle, outre le fait que la grille spatiale repose sur la grille cadastrale issue du SIG, l'originalité tient à la hiérarchie spatiale de ces entités. La parcelle cadastrale représente l'entité spatiale élémentaire. Le lieu-dit est une agrégation de parcelles élémentaires. Il connaît ses parcelles. L'espace communal est une

4 Les techniques classiques de juxtaposition des photographies aériennes ont été utilisées grâce aux fonctionnalités d'orthorectification lors de la superposition des photos sur le fonds cadastral.

agrégation de lieux-dits et il connaît ses lieux-dits. Et enfin la zone d'étude représente l'ensemble des parcelles.

Le modèle met en jeu des agents qui réagissent et qui interagissent ; toutefois il n'y a pas de véritable dynamique de la population (les agents ont une vie simple et il n'y a pas de modèle démographique). Seule la réaffectation des parcelles lorsqu'un agent meurt, traduit une certaine dynamique de l'espace. De fait l'*habitant* pérenne conserve ses attributs et se renouvelle. Parallèlement à la structure hiérarchique des entités spatiales, les agents sont structurés en groupes au niveau des lieux-dits ainsi qu'au niveau des communes.

2. Le couplage simple

3.1. Aspects techniques

SIG : Arcview sur PC sous Windows 98

SMA : Cormas⁵ sur PC sous Linux Mandrake

La plateforme de traitement étant différente, les fichiers d'échange doivent être au format ASCII pour Unix

Depuis le SIG, l'échange se fait par la procédure d'export au format MIF/MID⁶ via MapInfo, puis le chargement de la grille spatiale s'effectue sur Cormas.

3.2. Initialisation

Dans le cas d'une configuration spatiale fournie par un SIG, Cormas travaille sur des entités spatiales vectorielles que sont les polygones. Une grille régulière est souvent utilisée dans les modèles multi-agents soit pour représenter des automates cellulaires soit pour simplifier la représentation spatiale. Nous avons malgré tout voulu tester une grille régulière de 95×110 , c'est-à-dire le nombre quasi identique de nos parcelles initiales. Se pose alors principalement le problème de la représentation virtuelle pour laquelle le front de progression de l'embroussaillage ne peut plus s'expliquer d'ouest en est. Par ailleurs, les voisins ne sont plus ceux que l'on visualise, soit parce qu'on prend un voisinage constant et identique de 4 ou 8 cellules, soit parce que la représentation de la véritable liste des voisins ne correspond plus à ce que l'on observe sur une grille régulière. La lecture des résultats était quant à elle proche de celle obtenue sur une grille irrégulière.

Dans notre cas un couplage simple suffit car il n'y a pas de retours dans le SIG, d'une part il n'y a pas de mélange entre les données observées et les données simulées, d'autre part le chargement de la grille spatiale proche du cadastre dans le SMA permet de rendre compte directement des résultats de simulations. Ce principe économise également les ressources en calcul lors des échanges dans le cas d'un couplage dynamique.

Le fichier MIF contient les polygones (**encadré 2**), tandis que le fichier MID contient les données attributaires (**encadré 3**). Le fichier COR assure la correspondance entre le fichier de données et le SMA (**encadré 4**).

5 Plateforme de simulation multi-agent du CIRAD : <http://cormas.cirad.fr>

6 Le format MIF/MID (Mapinfo Interchange Format/ Mapinfo Interchange Data) est un format natif de Mapinfo qui permet d'échanger des données graphiques et des données attributaires (non graphiques).

Encadré 2 : extrait du fichier sauveterre.mif

Version 300	8.380423 17.373565
Charset "WindowsLatin1"	8.379978 17.373705
Delimiter ","	8.380013 17.374071
CoordSys Earth Projection 1, 104	8.380127 17.374168
Columns 23	8.380203 17.374314
Parc_id Char(16)	8.380173 17.37443
Surface Decimal(16, 0)	8.380101 17.374419
Veg_63 Decimal(16, 0)	8.379935 17.374104
Nb Char(16)	8.379847 17.37385
Veg_77 Decimal(16, 0)	8.379742 17.373735
Veg_89 Decimal(16, 0)	8.37944 17.373754
Nb77 Char(16)	8.379082 17.373869
Nb89 Char(16)	8.378938 17.373857
Nb00 Char(16)	8.378725 17.373725
Veg_00 Decimal(16, 0)	8.378282 17.373802
transect Char(3)	8.377939 17.373985
voisin Char(254)	8.377827 17.374131
Parc_id48 Char(12)	8.377761 17.374547
Area Decimal(16, 14)	8.377908 17.374605
Prct_tot Decimal(16, 14)	8.377858 17.374621
Hameau_id Char(13)	8.377649 17.376072
hamo_id Char(10)	8.378045 17.3761
Hm_appart Char(16)	8.378096 17.376021
hm_affect Char(10)	8.378325 17.37604
Surf Decimal(16, 0)	8.378547 17.376025
Nom Char(20)	8.379527 17.376187
Collectif Char(12)	8.380034 17.376386
Cah Decimal(16, 0)	8.38031 17.375907
Data	8.380904 17.373444
	Pen (1,2,0)
Region 1	Brush (2,16777215,16777215)
31	Center 8.379277 17.374904
8.380904 17.373444	
8.38081 17.373422	

Encadré 3 : extrait du fichier sauveterre.mid

```
"48154A0001",80815,7,"",7,3,"", "défriché", "",6,"oui", "154A0001 154A0004 154A0002 154A0003 154A0021
154A0006 154A0005 154A0008 154A0007 154A0412 154A0413 154A0414 154A0405 154A0403 154A0415
154A0382_B", "154A0001",0.000000000000000,0.84166345482138,"PIG15460", "", "PIG15460", "PIG15460",38
16810,"LA PIGUIERE", "SECTX",1
"48154A0004",1226,5,"",3,3,"", "", "",4,"oui", "154A0001 154A0004 154A0006 154A0005 154A0008
154A0007", "154A0004",0.000000000000000,0.84166345482138,"PIG15460", "", "PIG15460", "PIG15460",38168
10,"LA PIGUIERE", "SECTX",1
"48154A0002",2510,7,"",7,7,"", "", "",7,"oui", "154A0001 154A0002 154A0003 154A0005 154A0008 154A0411
154A0412 154A0413 154A0414 154A0405 154A0415
154A0382_B", "154A0002",0.000000000000000,0.84166345482138,"PIG15460", "", "PIG15460", "PIG15460",38
16810,"LA PIGUIERE", "",1
```

La **figure 1** illustre le chargement de la grille spatiale dans Cormas. Nous avons choisi le point de vue du couvert dominant en début de période qui initialise le fond cadastral avec l'état de la végétation observée en 1963 correspondant au début de nos simulations.

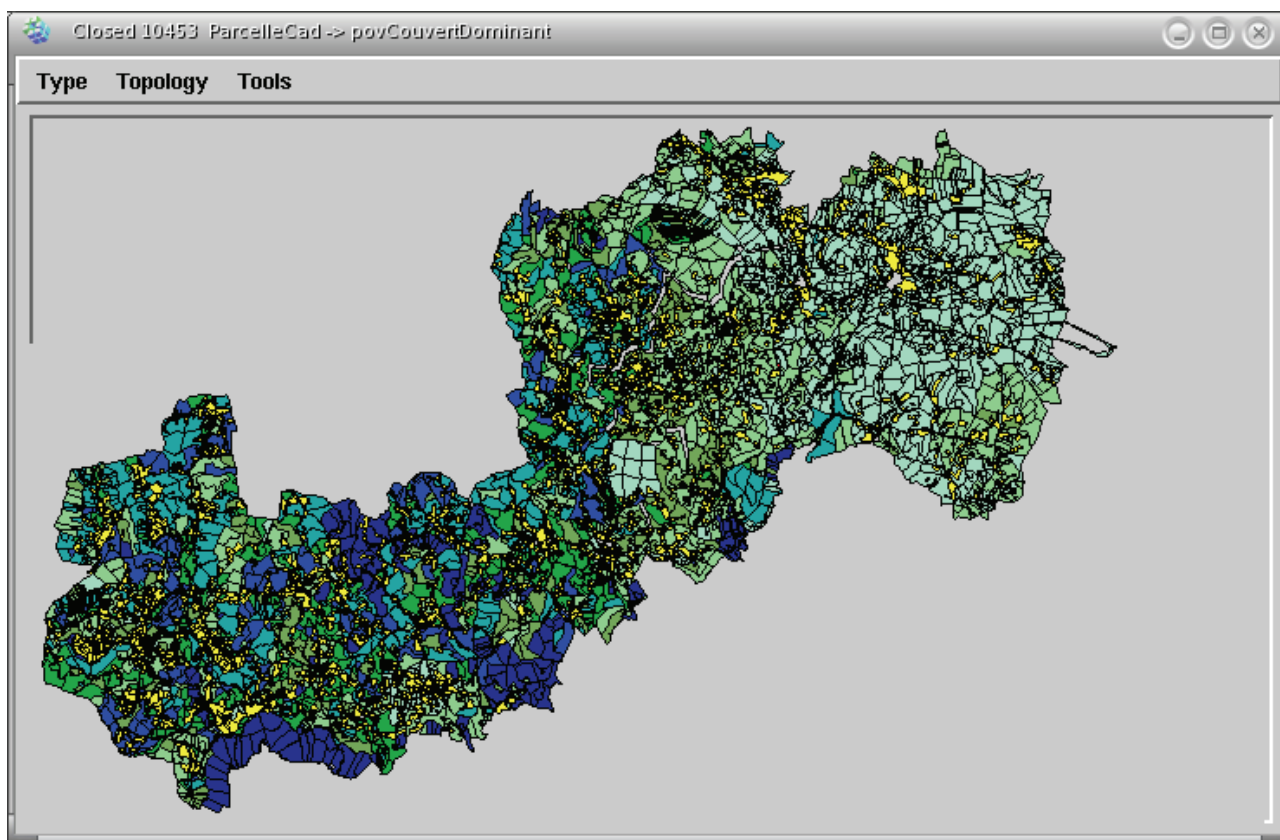


Figure 1 : copie d'écran de Cormas.

Point de vue sur l'attribut couvertDominant à la suite de l'initialisation de la grille spatiale

Encadré 4 : fichier sauveterre.cor

parcelleCadId	1	asString
surfaceCad	2	asNumber
couvertDominant	3	asNumber
lieuditAffect	19	asString
typeJuridique	22	asString

3.3. Traitement spécifique du voisinage

Une grille régulière sans couplage aurait implicitement initialisé les voisins de chaque cellule géographique élémentaire que constitue la parcelle. Le chargement d'une grille irrégulière ne s'effectue avec l'initialisation du voisinage que lorsqu'on le demande au moment de l'initialisation. Il est d'usage d'initialiser la grille, de calculer le voisinage puis de le sauvegarder. Le chargement des voisins au sens des voisins contigus calculés une première fois dans Cormas sera utilisé à l'initialisation de la grille spatiale à chaque lancement de l'application par des méthodes appropriées (**encadrés 5 et 6**).

Encadré 5 : méthodes de traitement des voisins au niveau du modèle

```

saveNeighbors
  self spaceModel saveNeighborsClass: ParcelleCad separator: $;
loadNeighbors
  self spaceModel loadNeighborsClass: ParcelleCad separator: $;

```

Encadré 6 : exemple d'une méthode d'initialisation des instances de type parcelle

```

initParcelleCadsHeterogeneIEM
  | stream line item tmp parc |
  self initCells: #init.
  self theParcelleCads do:
    [:c |
      "general"
        c modifl900.
        c initIndiceEmbroussaillageHomogene.
        c initValeurParcelle.
      "pature"
        c initTxPrelevementHasard.
        c initTxPrelevable.
      "bois de chauffage"
        c initTxPrelevementBois.
        c initTxConsumable.

        c initBiomasseTotale.
        c initBiomassePaturable.
        c initBiomasseConsumable].

  self loadNeighbors.
  "suite de l'initialisation des parcelles avec le fichier ascii parcelle.txt"
  stream := ((Cormas dataPath: self class name) construct: 'parcelle.txt') readStream.
  [stream atEnd] whileFalse:
    [line := (stream upTo: Character cr) readStream.
     tmp := OrderedCollection new.
     [line atEnd] whileFalse:
       [item := line upTo: $;.
        tmp add: item].
     parc := self theParcelleCads detect:[:cell| cell parcelleCadId = (tmp at:1) asString]

  ifNone:[nil].
     parc isNil iffFalse:[
       parc perimetre: (tmp at:2) asNumber.
       parc exploitation: (tmp at:3) asString.
       parc nbVoisinRayon: (tmp at:4) asNumber.
       parc distanceHameau: (tmp at:5) asNumber]].

  stream close.
  "Dialog warn: 'fin init parcelles'."

```

Pour compléter la définition du voisinage par rapport aux traitements que nous voulions effectuer, des scripts ont été écrits en *Avenue*, un langage semi compilé orienté objet spécifique à Arcview. En effet, deux parcelles séparées par un chemin ne sont pas considérées comme voisines si elles ne présentent aucune contiguïté. Les scripts nous ont permis de prendre en compte le voisinage dans un rayon d'action autour du centre de gravité de chaque parcelle, et aussi, de contourner la difficulté liée au nombre de parcelles voisines lorsqu'on est dans un fond de vallée avec une multitude de petites parcelles ou de parcelle incluse dans une autre dans le cas d'une doline.

Conclusion

Dans un premier temps le choix d'un couplage nous permet de garder les données issues du système d'information géographique, choix d'autant plus pertinent qu'il s'agit de données réelles.

Bien qu'une grille irrégulière ne soit pas souvent utilisée dans les systèmes multi-agents, nous l'avons privilégiée à la grille régulière plus théorique quant à l'interprétation des résultats. Lorsque les données ne sont pas amenées à être modifiées dans le système d'information géographique, le couplage simple est facile à gérer lors de l'initialisation de la grille spatiale du système multi-agents. Dans le cas de notre modélisation, il représente un bon compromis en offrant la possibilité de visualiser directement les résultats des simulations lors des retours sur le terrain aux côtés des décideurs locaux, tout en optimisant les calculs intermédiaires sans échanges inutiles avec le système d'information géographique.

Bibliographie

- Bommel, P., Lardon, S. (2000) Un simulateur pour explorer les interactions entre dynamiques de végétation et de pâturage. Impact des stratégies sur les configurations spatiales. *Géomatique* 1(1) : 1-10.
- Chassany J.-P. (1989). L'élevage ovin caussenard face aux marchés (1945-1985) : atouts et faiblesses actuels. *Annales du Parc national des Cévennes*, 4 : 55-89.
- Chassany J.-P., Crosnier C., Cohen M., Lardon S., Lhuillier C., et Osty P.-L. (2002) Réhabilitation et restauration de pelouses sèches en voie de fermeture sur le Causse Méjan : Quels enjeux pour une recherche en partenariat ? *Revue d'écologie (Terre et Vie)*, pp. 31-49
- Lardon, S. Osty P.-L. (2003) Les éleveurs et leurs impacts sur le paysage. *Politiques publiques et dynamiques des paysages au sud du Massif central*. R. Lifran. Montpellier, INRA, UMR LAMETA : 46-54
- Lepart, J., Marty P. *et al.* (2000) Les conceptions normatives du paysage. Le cas des grands causses. *Natures Sciences Sociétés*, 4 : 16-25
- Lifran, R., Hofstetter A., Bommel P. (2003) Politiques publiques et dynamiques des paysages : analyse de leurs rapports par un modèle multi-agents spatialisés. *Politiques publiques et dynamiques des paysages au sud du Massif central*. Montpellier, INRA-UMR LAMETA : 110-164.
- Lifran R., Hofstetter A. (2002) Atlas paysager du Causse de Sauveterre, INRA-UMR LAMETA, 36p.
- Lifran, R., Editeur (2003) Politiques publiques et dynamiques des paysages au sud du Massif central. Montpellier, INRA-UMR LAMETA : 168p.
- Lifran R., Hofstetter A. (2009) Quand les politiques publiques se heurtent au temps du paysage. *In: Les Grands Causses, terre d'expériences*. Chassany, J.-P., C. Crosnier, Florac, PNC, 2009 : 309-315
- Marres P. (1935) Les Grands Causses : étude de géographie physique et humaine. Tours, Arrault.