



L A M E T A

Laboratoire Montpellierain
d'Economie Théorique et Appliquée

U M R
Unité Mixte de Recherche

ETUDES et SYNTHÈSES

«Couplage simple entre système

d'information géographique et modèle multi-

agents pour simuler l'impact des politiques

publiques sur les dynamiques du paysage»

Annie HOFSTETTER

Robert LIFRAN

ES 2009-02

Faculté de Sciences Economiques - Espace Richter
Avenue de la Mer - Site de Richter C.S. 79606
3 4 9 6 0 M O N T P E L L I E R C E D E X 2
Tél: 33(0)467158495 Fax: 33(0)467158467
E-mail: lameta@lameta.univ-montp1.fr

Couplage simple
entre système d'information géographique et modèle multi-agents
pour simuler l'impact des politiques publiques sur les dynamiques du paysage

Annie Hofstetter

Robert Lifran

INRA UMR LAMETA

Résumé

Cet article traite l'aspect technique d'un couplage simple entre un système d'information géographique et un système multi-agents. Pour situer le contexte, nous faisons le point sur les données disponibles et le projet afin de comprendre pourquoi vouloir 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-agents, en prenant quelques exemples de traitements spécifiques tels que le voisinage des entités spatiales élémentaires.

1. Introduction

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un programme¹ de recherches conduites au sein du Laboratoire Montpellierain d'Economie théorique et Appliquée, qui portait sur l'analyse de la dynamique naturelle de la végétation.

Le projet d'ensemble vise à construire un modèle pour analyser l'impact des politiques publiques sur la dynamique de végétation. 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 terres des sectionnaires peuvent représenter jusqu'à environ un quart du territoire).

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.

Le territoire modélisé est une sélection des lieux-dits sur le Causse. Ce transect s'étend de l'ouest à l'est et 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 10000 parcelles sur 20000 hectares.

2. Contexte

2.1. Cadre de l'analyse

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

- une certaine concentration des élevages qui conduit à un abandon plus ou moins durable de fractions de territoires et 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. De décennies en décennies apparaissent de nouvelles innovations, telles que l'alimentation concentrée entraînant l'utilisation des céréales sur les meilleures terres. On comprend que l'intensification porte à la fois sur la gestion de cet espace et sur la gestion des troupeaux. Les parcours sont alors moins utilisés permettant à la broussaille de s'installer. Le processus écologique majeur à l'œuvre sur le causse est un processus de diffusion des pins sylvestres par dispersion des semences.

À la base, nous nous sommes inspirés du modèle ALAMO², qui décrit les interactions entre les

1 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*.

2 Agricultural Landscape Model, R. Lifrán

activités humaines telles que l'agriculture ou la forêt, et la dynamique naturelle de la végétation. Notre modèle vise à analyser et évaluer l'impact des politiques publiques sur la dynamique des paysages.

L'objectif est de représenter la diffusion de l'innovation et de la végétation au sein d'une communauté d'agriculteurs afin de comprendre l'impact des politiques publiques sur la dynamique des paysages une fois l'espace structuré. Nous tenterons de modéliser 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 peut prendre en compte à la fois la diversité des conditions locales et celle des interactions entre dynamique de la population et dynamique de la végétation.

Historiquement, des enquêtes sur le terrain ont permis de construire une réflexion sur la dynamique du paysage. Des recherches antérieures ont conduit à une représentation géographique du paysage au niveau des lieux-dits. Le lieu-dit est un espace utilisé par une population regroupée dans un hameau. La méthode des polygones de Thiessen permet de reconstruire 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 certain nombre de troupeaux, une population et un espace exploité. De plus, il existe dans chaque lieu-dit des terrains collectifs (sectionnaux) 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 exploité. 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 avons pu traduire la dynamique du paysage et son évolution sur une période suffisamment longue (1963- 2000).

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 30000 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 ou dolines où sont cultivées céréales ou cultures fourragères. Aménagées avec des pavés elles constituent également les lavognes où viennent s'abreuver 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 landes plus ou moins piquées de buis et 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 de nombreuses 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, s'ils se multiplient, modifieront complètement la perception du paysage et annuleront l'aspect désertique et ouvert qui caractérise et qui fait le charme du Causse.

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

Un long travail d'interprétation a été réalisé sur la zone d'étude à partir des photos aériennes de 1963, 1977, 1989 et 2000³. 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. Il est lié aux contraintes posées par la production laitière. 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 propriété foncière collective importante dans chaque hameau et la façon dont les habitants gèrent ses usages est fondamentale pour comprendre ces

3 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.

logiques. Les premières analyses montrent que la dynamique de l'embroussaillage est partie des territoires sectionnaux.

2.3. 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 le modèle, outre le fait que la grille spatiale utilisée est celle du plan cadastral des communes du transect, 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 quand à lui une agrégation de lieux-dits et connaît ses lieux-dits. Et enfin la zone d'étude représente l'ensemble des parcelles, des lieux-dits et des communes.

Le modèle met en jeu des agents qui réagissent et 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). Néanmoins, le modèle permet de simuler différents régimes de transmission des exploitations. 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, alors que les ressources appartenant aux agents qui disparaissent sont affectées aux pérennes selon des règles prédéterminées. 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.

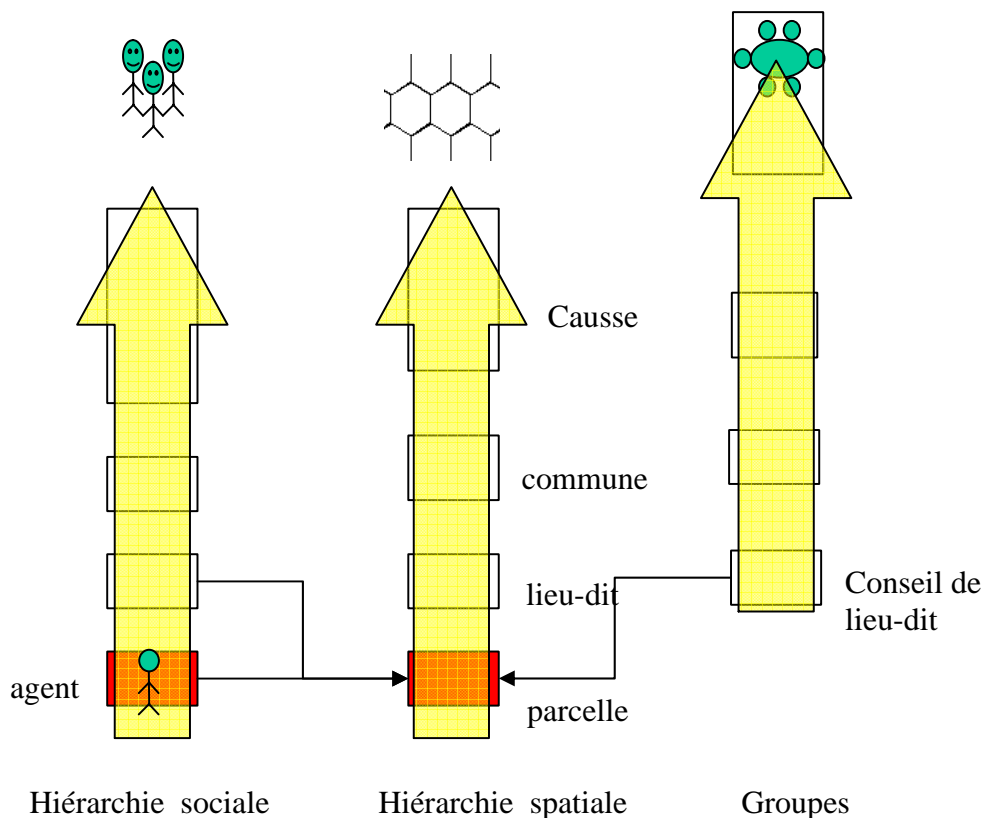


Schéma 1 : Représentation des structures hiérarchiques

3. Le couplage simple

3.1. Aspects techniques

La structure du modèle nous conduit à coupler un modèle de simulation multi-agents à une base de données géo-référencées. Le SMA est conçu sous la plateforme Cormas du CIRAD (Cormas⁴ sur PC sous Linux Mandrake). Le SIG est conçu sous Arcview sur PC sous Windows 98. 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/MID⁵ via MapInfo, puis le chargement de la grille spatiale s'effectue sur Cormas.

3.2. Initialisation

On sait que les conditions initiales affectent considérablement les résultats des simulations. Notre but dans ce modèle n'était pas d'explorer l'influence des conditions initiales, mais d'étudier comment les politiques publiques pouvaient changer les trajectoires de paysage à partir de conditions initiales identiques. Nous avons testé l'influence de deux représentations géométriques différentes des entités spatiales, la première est une grille régulière, dont le nombre d'éléments est identique à celui des parcelles cadastrales, et le second est le fond cadastral lui-même.

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 testé une grille régulière de 95x110, soit 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'embroussaillement 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. Les résultats obtenus étaient quant à eux proches de ceux qu'on obtenait sur une grille irrégulière.

Dans le cas d'une configuration spatiale fournie par le cadastre, Cormas travaille sur des entités spatiales vectorielles que sont les polygones. Dans notre cas un couplage simple suffit car il n'y a pas de retour 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 (cf. encadré 2), tandis que le fichier MID contient les données attributaires (cf. encadré 3). Le fichier COR assure la correspondance entre le fichier de données et le SMA (cf. encadré 4).

Encadré 2 : extrait du fichier sauveterre.mif

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

5 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).

Version 300	§.38081 17.373422
Charset "WindowsLatin1"	§.380423 17.373565
Delimiter ", "	§.379978 17.373705
CoordSys Earth Projection 1, 104	§.380013 17.374071
Columns 23	§.380127 17.374168
Parc_id Char(16)	§.380203 17.374314
Surface Decimal(16, 0)	§.380173 17.37443
Veg_63 Decimal(16, 0)	§.380101 17.374419
Nb Char(16)	§.379935 17.374104
Veg_77 Decimal(16, 0)	§.379847 17.37385
Veg_89 Decimal(16, 0)	§.379742 17.373735
Nb77 Char(16)	§.37944 17.373754
Nb89 Char(16)	§.379082 17.373869
Nb00 Char(16)	§.378938 17.373857
Veg_00 Decimal(16, 0)	§.378725 17.373725
transect Char(3)	§.378282 17.373802
voisin Char(254)	§.377939 17.373985
Parc_id48 Char(12)	§.377827 17.374131
Area Decimal(16, 14)	§.377761 17.374547
Prcnt_tot Decimal(16, 14)	§.377908 17.374605
Hameau_id Char(13)	§.377858 17.374621
hamo_id Char(10)	§.377649 17.376072
Hm_appart Char(16)	§.378045 17.3761
hm_affect Char(10)	§.378096 17.376021
Surf Decimal(16, 0)	§.378325 17.37604
Nom Char(20)	§.378547 17.376025
Collectif Char(12)	§.379527 17.376187
Cah Decimal(16, 0)	§.380034 17.376386
Data	§.38031 17.375907
	§.380904 17.373444
Region 1	Pen (1,2,0)
31	Brush (2,16777215,16777215)
8.380904 17.373444	Center 8.379277 17.374904

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",3816810,"LA FIGUIERE","SECTX",1
"48154A0004",1226,5,"",3,3,"",,"",4,"oui","154A0001 154A0004 154A0006 154A0005
154A0008
154A0007","154A0004",0.000000000000000,0.84166345482138,"PIG15460","","PIG15460",
"PIG15460",3816810,"LA FIGUIERE","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",3816810,"LA FIGUIERE","",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.

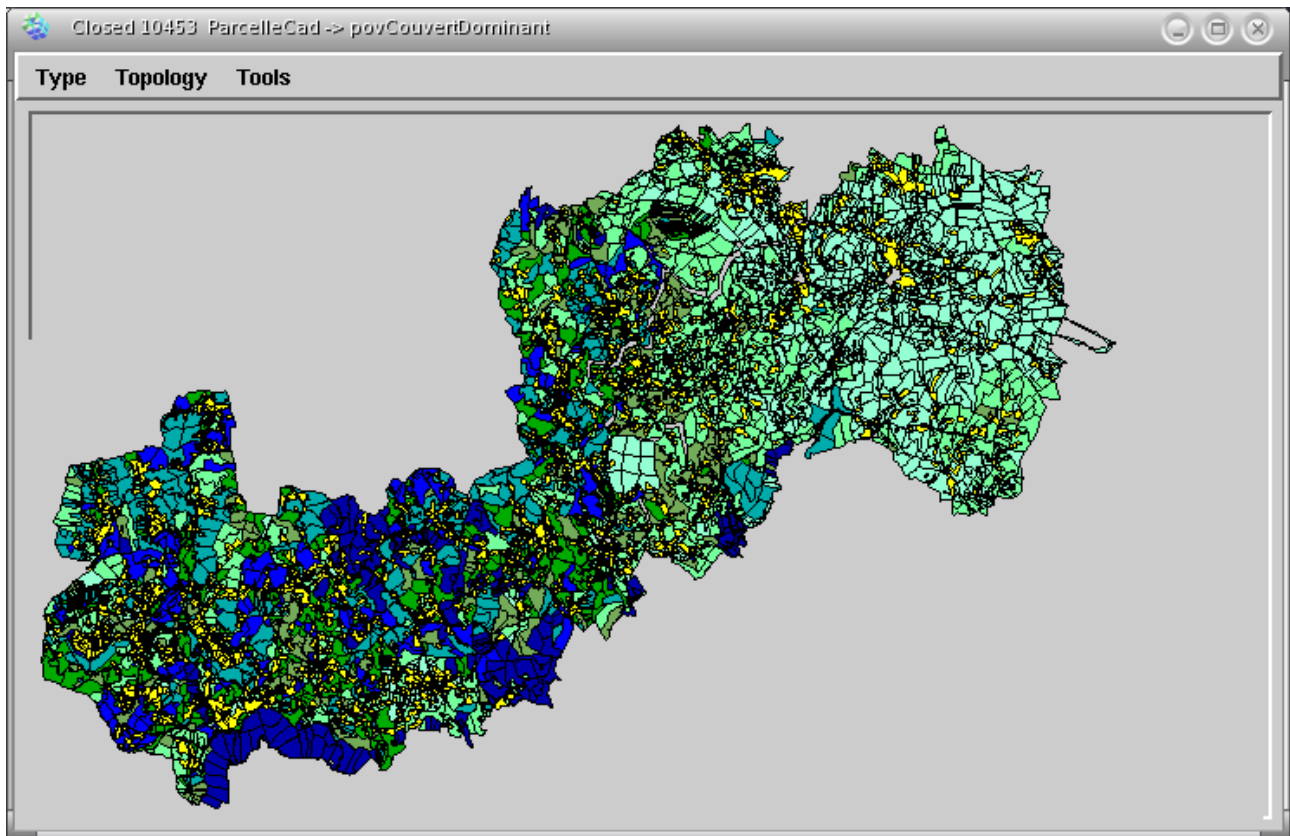


Figure 1 : copie d'écran de Cormas, point de vue sur l'attribut couvertDominant suite à l'initialisation de la grille spatiale

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

Le traitement du voisinage de chaque parcelle est nécessaire pour modéliser le processus de diffusion de la végétation, qui a deux composantes : une croissance sur la parcelle, dépendante de son état, et une croissance issue de la diffusion à partir des parcelles voisines.

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 (cf. 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 modif1900.
    c initIndiceEmbroussaillementHomogene.
    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 ifFalse:[
  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'."
```

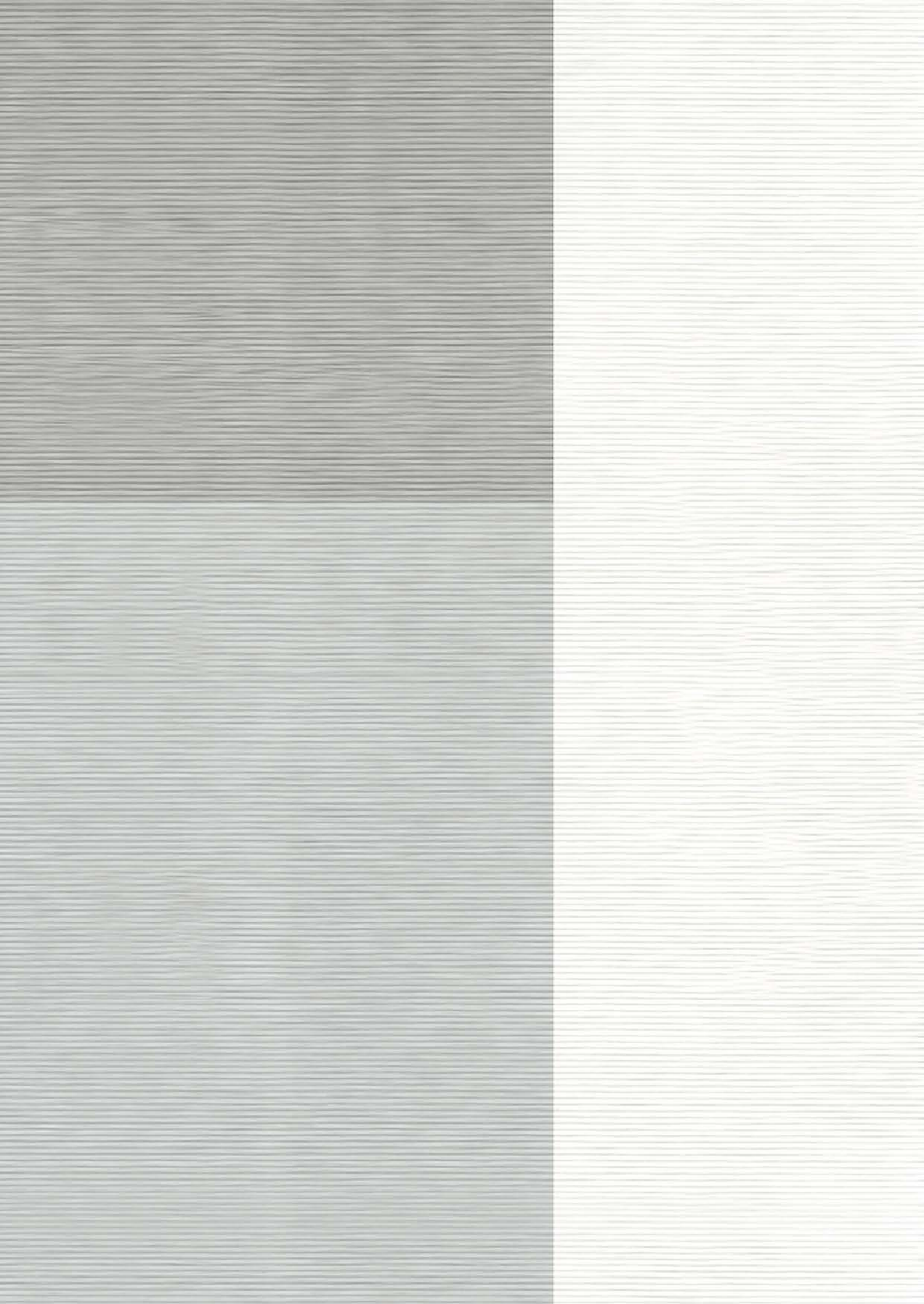
Pour compléter la définition du voisinage par rapport aux traitements que nous voulions effectuer, des scripts ont été écrits en *Avenue*, un langage semi compilé orienté objet spécifique à Arcview. En effet lorsqu'un chemin sépare deux parcelles, elles ne sont pas considérées comme voisines si elles 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. Cela nous permet également de contourner la difficulté liée au nombre parfois important 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.

4. Conclusion

Dans un premier temps le choix d'un couplage nous permet de garder les nombreuses données issues du système d'information géographique, choix d'autant plus pertinent qu'il s'agit de données réelles. Lorsque les données ne sont pas appelées à être modifiées dans le système d'information

Etudes et Synthèses

- ES 2007 - 01 : Sophie THOYER, Sandra SAÏD
Mesures agri-environnementales : quels mécanismes d'allocation ?
- ES 2007 - 02 : Robert KAST
Incertitude et environnement : évaluations économiques
- ES 2007 - 03_ : Charles FIGUIERES, Hervé GUYOMARD, Gilles ROTILLON
Le développement durable : Que peut nous apprendre l'analyse économique ?
- ES 2008 - 01 : Selin OZYURT
« Les investissements directs étrangers entraînent-ils des effets de débordement vers les pays en développement ? »
- ES 2008 - 02 : Pr Graciela CHICHILNISKY
« Le paradoxe des marchés verts »
- ES 2009 - 01 : Philippe JOURDON
« De la crise financière vers la guerre mondiale, ou de la crise mondiale vers la guerre financière ? Une analyse par les cycles longs. »
- ES 2009 - 02 : Annie HOFSTETTER, Robert LIFRAN
« Couplage simple entre système d'information géographique et modèle multi-agents pour simuler l'impact des politiques publiques sur les dynamiques du paysage »



géographique, le couplage simple est facile à gérer lors de l'initialisation de la grille spatiale du système multi-agents.

Bien qu'une grille irrégulière ne soit pas souvent utilisée dans les systèmes multi-agents, nous l'avons privilégiée par rapport à la grille régulière plus théorique quant à l'interprétation des résultats. Dans le cas de notre projet, il s'agissait de simuler des impacts de politiques publiques, sur la base d'une situation initiale identique. Le couplage simple 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.

Références

- 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., C. Crosnier, eds (2009). Les grands Causses terre d'expériences. Parc National des Cévennes, 384p.
- Chassany, J.-P., C. Crosnier, M. Cohen, S. Lardon, C. Lhuillier, et P.-L. Osty, 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., & P.-L. Osty (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., P. Marty, et al. (2000). Les conceptions normatives du paysage. Le cas des grands causses. Natures Sciences Sociétés, 4 : 16-25.
- Lifran, R., A. Hofstetter, & P. Bommel (2003). Politiques publiques et dynamique 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., A. Hofstetter (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., A. Hofstetter (2009). Quand les politiques publient se heurtent au temps du paysage. In: Les Grands Causses, terre d'expériences. Chassany, J.-P., C. Crosnier, Florac, PNC, 2009 : p309-315.
- Marres, P. (1935). Les Grands Causses : étude de géographie physique et humaine. Tours, Arrault.