

UNIVERSITÉ DE LIMOGES
ÉCOLE DOCTORALE N° 526 « Sociétés et Organisations »
FACULTÉ DES LETTRES ET SCIENCES HUMAINES

Année : 2015

GEOLAB, UMR 6042 CNRS

Thèse
pour obtenir le grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE LIMOGES

Discipline : Géographie

présentée et soutenue par

Etienne DELAY

le 10 juin 2015

**Réflexions géographiques sur l'usage des systèmes multi-agents dans la compréhension des processus d'évolution des territoires viticoles de fortes pentes :
Le cas de la Côte Vermeille et du *Val di Cembra***

Thèse dirigée par Éric Rouvellac, Nicolas Becu et Philippe Allée

JURY :

Philippe ALLÉE	Professeur, Université de Limoges	Directeur
Arnaud BANOS	Directeur de Recherche CNRS, Géographie-Cités	Rapporteur
Nicolas BECU	Chargé de Recherche CNRS, LIENSs	Directeur
Hervé QUÉNOL	Directeur de Recherche CNRS, LETG-COSTEL	Rapporteur
Éric ROUVELLAC	Maître de conférence HDR, Université de Limoges	Directeur
Jean-Marc TOUZARD	Directeur de Recherche INRA, Innovation	Examinateur
Hélène VELASCO-GRACIET	Professeur, Université de Bordeaux-Montaigne	Examinateuse

« Social sciences are, in fact, the "hard" science »

Herbert SIMON (économiste) dans EPSTEIN et R. AXTELL (1996)

*Dédicacé à tous ces cerveaux connectés à travers le monde !
Une thèse ne se fait décidément plus seul !*

Remerciements

Le travail de thèse s'achève, je profite de ce moment pour me tourner sur ces années écoulées. J'aimerais faire en sorte de n'oublier personne. Sur toute la durée de ma thèse, j'ai eu la chance d'être accompagné professionnellement, scientifiquement, humainement par un très grand nombre de personnes.

Mes remerciements vont à Philippe ALLÉE et Éric ROUVELLAC qui m'ont mis sur la voie de la modélisation et de la simulation quelques heures après mon Master. Je n'oublie pas Nicolas BECU qui est venu compléter l'équipe de direction de cette thèse et sans qui elle ne serait pas la même. Je les remercie tous les trois de m'avoir accordé leur confiance tout au long de cette thèse, pour la liberté de mouvement et le regard attentif, pour les encouragements et les heures passées à lire, relire mon travail.

Je souhaiterais ensuite remercier Arnaud BANOS et Hervé QUENOL qui ont accepté de juger ce travail en tant que rapporteur. Ma gratitude va bien sûr aussi à Jean-Marc TOUZARD et Hélène VELASCO-GRACIET qui ont bien voulu endosser le rôle d'examinateurs.

Pour ce travail entre France et Italie, je ne voudrais pas oublier d'exprimer toute ma gratitude à Michele PONTALTI, Directeur du Centre de Transfert Technologique (CTT) de la *Fondation E. March* qui avec Gianluac MACCHI, directeur du CERVIM, ont monté le programme de recherche sur la viticulture de montagne et de fortes pentes pour la province du *Trentino*. Merci à Gianbatista TOLLER, responsable de l'*Unità Sistema Informativo Geografico* de m'avoir accueilli et donné les moyens techniques de travailler durant mes séjours à *San Michele all'Adige*. Enfin je ne remercierais jamais assez Fabio ZOTTELE pour m'avoir guidé et continuer à le faire dans le monde des géostatistiques et des SIG libres.

En France j'ai une gratitude infinie pour Éric NOÉMIE du Groupement de Développement agricole du Cru Banyuls et des Albères, qui a été le chef d'orchestre de beaucoup de travaux, de collecte de données, et qui m'a guidé dans les méandres sociaux et territoriaux de la Côte Vermeille. Enfin, toujours sur les AOC Banyuls - Collioure, je tiens à remercier Isabelle BLIN-MOLLY, directrice de l'ODG de la Côte Vermeille, pour son aide, ses contacts et ses informations précieuses. Enfin, j'ai une pensée pour Damien CHAPOULARD alors stagiaire au Syndicat et avec qui nous avons refait le cru Banyuls des dizaines de fois.

J'adresse également tous mes remerciements à Cyril PIOU, chargé de recherche au CIRAD, qui m'a beaucoup aidé dans mon apprentissage des systèmes multi-agents, dans ma compréhension du formalisme ODD et des arcanes des pratiques de rédaction scientifique.

Je souhaite exprimer toute ma gratitude à l'équipe de développement d'openMOLE et plus particulièrement à Romain REUILLOU de l'Institut des Systèmes complexes de Paris Île-de-France, pour ses innombrables idées, sa disponibilité et sa très grande curiosité.

La liste des personnes que je souhaiterais remercier s'allonge encore. Je pense à tous ces chercheurs rencontré grâce au projet LACCAVE, au projet VitiTerroir, au congrès Terroir et à celui du GiESCO, ou dans le réseau MAPS. Je pense bien évidemment à Nathalie OLLAT et Jean-Marc TOUZARD, à Xavier RODIER et Samuel LETURCQ, à Benjamin BOIS et Amelia CAFFARRA, la *Team MAPS*, et de manière générale à tous ceux que j'ai croisés durant ces années.

Un remerciement tout particulier à Marius Chevallier à GEOLAB, avec qui j'ai partagé mon goût de la modélisation individu centré et qui m'a aidé à formaliser bon nombre de mes problèmes de modélisation.

Cette thèse a pu être réalisée grâce au financement de la région Limousin. Je remercie l'école doctorale 526 d'avoir participé et soutenu à chacun de mes déplacements en Italie et en particulier Claire BUISSON qui fait tout son possible pour faciliter les aspects administratifs de la thèse.

Enfin j'aimerais exprimer toute ma gratitude au laboratoire GEOLAB pour les excellentes conditions de travail dans lesquelles j'ai pu réaliser cette thèse, et à Frédéric RICHARD pour sa prévenance en qualité de directeur adjoint du laboratoire sur le site de Limoges. Mes remerciements vont à l'ensemble de membres du laboratoire.

J'adresse ainsi mes remerciements aux doctorants et enseignants chercheurs de GEOLAB que j'ai côtoyés : Greta, Gabrielle, Simon, Julien, Nathalie, Marie, Sandrine, Sylvain, Edwige, Remi et Fabien, Romain, Graziella et Josselin.

Je souhaiterai remercier le Carrefour des étudiants de l'Université de Limoges et en particulier Isabelle COUTY pour son soutien, et Florine LEMAIRE pour ses corrections. Merci aussi à la véritable armée mexicaine qui a pris le relais jusqu'aux dernières heures : Rose, @PouletBarbu, @GabrielleSaumon, milles merci encore.

Enfin hors du cadre universitaire, je suis redouble aux personnes qui de près ou de loin m'ont accompagné pendant ce travail. Merci à François (@doctor_Z) pour son soutien qui tombe à pic et ses traductions, merci à ma famille et en particulier mes parents qui ont fait preuve d'un soutien sans faille.

Enfin mes plus grands remerciements sont pour Rosemonde, pour sa présence, sa patience et son soutien de tous les instants.

Avant propos

Le travail que nous vous présentons est très largement basé sur des algorithmes informatiques réalisés avec l'aide de logiciels libres pour offrir au lecteur la possibilité de reproduire facilement les expériences. L'ensemble des modèles à base d'agent a ainsi été développé avec le framework NetLogo (WILENSKY 1999), les analyses de sensibilités ont été effectuées grâce à OpenMOLE (REUILLO, LECLAIRE *et al.* 2013). L'ensemble des analyses de sensibilité a été traité avec le logiciel R (TEAM 2014). Enfin cette thèse est rédigée sous LATEX.

L'ensemble du code produit représente donc du matériel de recherche¹, mais il nous semble contre-productif de le proposer en annexe. Néanmoins il doit être disponible aux lecteurs pour lui permettre de réutiliser tout ou partie de ce travail. Aussi avons-nous mis en place un dépôt *git*² dans lequel ils peuvent retrouver l'ensemble des modèles que nous présentons ici.

https://github.com/ElCep/thesis_ed

Enfin pour placer ce travail sous des auspices géographiques, le lecteur se verra accompagner d'extrait de « Terre des hommes »(1939) d'A d. SAINT-EXUPÉRY. L'auteur du « Petit Prince », dans ce livre, nous confie ses sensations vis-à-vis de nouveaux moyens de déplacement et d'exploration (l'aéronautique), et de sa pratique (de pilote). Sans pour autant se définir comme un explorateur, l'avion étant un outil connu et maîtrisé, chaque nouvelle mission réserve son lot de découvertes humaines, et spatiales dont il se fait l'écho. Ces confidences, d'une autre époque dans un autre contexte, ont résonné tout au long de notre apprentissage de la modélisation et de nos explorations des territoires viticoles par l'intermédiaire des systèmes multi-agents.

1. Les modèles sont disponibles sous licence GNU GPL3, qui garantit aux utilisateurs les libertés : d'exécuter le logiciel, d'étudier son fonctionnement, redistribuer des copies. En outre l'utilisateur est dans l'obligation de faire bénéficier de ses modifications la communauté. <https://www.gnu.org/copyleft/gpl.html>, site consulté le 21 avril 2015

2. Solution de gestion de versions de logiciel décentralisé

Sommaire

Introduction générale	6
Chapitre 1 : La situation des territoires viticoles de fortes pentes face aux enjeux actuels	21
Chapitre 2 : Épistémologie et usages de la modélisation et des systèmes multi-agents en géographie ..	75
Chapitre 3 : De l'empirisme dans la modélisation à petite échelle spatiale	127
Chapitre 4 : La montagne et les fortes pentes : entre contraintes et « faire valoir » viticole ?	185
Chapitre 5 : Des modèles théoriques aux modèles opératifs, l'espace comme objet de formalisme.	247
Chapitre 6 : Éléments de prospective : les mutations possibles de la filière viticole et agricole de fortes pentes	317
Conclusion générale	361
Bibliographie	371
Table des matières	401
Table des figures	407
Liste des tableaux	421

Introduction générale

Le vin n'est pas un produit comme les autres. En ce début de XXI^e siècle, il constitue une richesse importante pour bon nombre de pays, et la civilisation du vin s'étend bien au-delà des limites fixées par les influences antiques et chrétiennes. La Chine, par exemple, qui est considérée comme un nouveau pays producteur, était encore il y a peu très en retrait du classement annuel proposé par l'Organisation Internationale de la Vigne et du Vin (OIV). Elle est à présent 6^e producteur mondial. La culture du vin continue à se diffuser bien au-delà des limites du pourtour méditerranéen, ce qui crée simultanément de nouvelles aires de consommation. Le vignoble monde met en concurrence tous les pays, et son poids dans la balance économique³ est tel qu'il devient un enjeu majeur dans beaucoup de régions. Dans ce contexte, la « citadelle européenne » (HINNEWINKEL et VELASCO-GRACIET 2005) perd peu à peu son hégémonie.

Mais le vin n'est pas qu'un phénomène économique. Le marché est largement guidé par les consommateurs. La montée des classes moyennes dans les pays émergents, et l'image du vin comme manifeste de raffinement et de cosmopolitisme, favorisent encore cette diffusion culturelle (PITTE 2000). Pour autant, dans les vieux pays producteurs, les surfaces plantées en vigne n'explosent pas, voire même régressent. Les consommateurs d'aujourd'hui ne cherchent plus des « vins de peine », ils veulent boire moins mais boire mieux. Les vignobles de consommation courante sont donc contraints de se restructurer et sont peu à peu remplacés pour produire des vins de qualité.

Le vignoble⁴, espace de production, territoire du quotidien, lieu de patrimonialisation, devient donc également un enjeu multi-échelle. Au niveau européen la culture de la vigne est réglementée par une organisation commune du marché vitivinicole. La réponse de la communauté aux problématiques du marché est toujours allée dans le sens du raccourcissement de la vie de la plante (AIGRAIN 2011). En effet, la vigne étant une liane au cycle de vie très long, quasi centenaire, les instances législatives proposent depuis longtemps des mesures permettant de plus facilement suivre les marchés qui eux ont des temps de réaction beaucoup plus courts. Le principal levier mis en place par les parlementaires est de proposer des primes à l'arrachage et à la replantation.

Paradoxalement, la vigne étant considérée comme une « culture peuplante », par le nécessaire recours à de la main-d'œuvre (HANNIN, BRUGIÈRE *et al.* 2010), les grands bassins viticoles cherchent eux des stratégies d'adaptation pour orienter leurs productions de manière coordonnée et garantir leur dynamisme territorial. Nous distinguons donc ici des divergences de gestions entre les échelles spatiales, les mesures européennes visant ces dernières années à préparer la viticulture à évoluer dans un univers plus libéral, tandis

3. En 2013, les vins et spiritueux représentent le 1^{er} poste de la balance commerciale agroalimentaire française (HANNIN, BRUGIÈRE *et al.* 2010).

4. Du grec *ampelophoros* littéralement « qui porte les vignes » (REY *et al.* 2011, p.4071).

que les régions sont obligées de faire des choix stratégiques de valorisation des vignobles phares. Ces mesures sont, par exemple, particulièrement visibles dans les salons tels que Vinexpo à Bordeaux, ou Vinitaly à *Verona*, où les bassins et régions viticoles proposent des espaces dédiés à la promotion de leurs vins.

Mais les vignobles se pensent aussi à des échelles plus grandes, celles des appellations et infra-appellations, celle de l'espace vécu. Le paysage viticole devient alors l'image du construit social, des équilibres, conjuguant action de l'homme et influence naturelle, créant une nature policée faite de vignes, d'aménagements, de constructions exaltant les ressources locales. Le vignoble est le reflet de la société qui l'a construit et l'habite (ROCHARD et HERBIN 2006).

Les territoires viticoles de fortes pentes sont de bons exemples de l'adaptation de ces sociétés aux contraintes imposées par le milieu, et ils font partie de ces espaces où la gamme des choix des cultivateurs se trouve réduite par les conditions structurales difficiles. Pourtant, plus qu'ailleurs, les escarpements du paysage participent directement à sa connaissance, sa reconnaissance et à sa patrimonialisation. Pour preuve, les vignobles du *Douro* au Portugal, des *Cinque Terre* en Italie ou de Lavaux en Suisse ont été inscrits au patrimoine mondial de l'UNESCO au titre des paysages culturels.

Si tous les territoires viticoles de montagne ne bénéficient pas des mêmes atouts, ils recouvrent malgré tout un ensemble de caractéristiques qui les distingue de leurs voisins des plaines, au premier rang desquels nous retrouvons bien sûr la pente. Bien qu'il existe des exceptions, le corollaire de la pente est bien souvent l'aménagement de terrasses pour réduire la pénibilité du travail autant que pour essayer de maintenir les sols qui ne manquent pas de subir l'érosion des ans.

De la viticulture à la viticulture de fortes pentes, une prise de conscience

Ce travail a été initié par la prise de conscience croissante des institutions et des acteurs de la sensibilité et de la vulnérabilité de la viticulture de fortes pentes, dans un contexte social et environnemental toujours plus concurrentiel. En effet, la viticulture de pentes se caractérise par un accès difficile aux parcelles de production, la mécanisation y est compliquée voire impossible, mais persiste souvent comme unique alternative à la réduction des coûts de production. La pente dans les parcelles cultivées induit des risques d'érosion par ruissellement, ce qui nécessite la construction d'ouvrages coûteux. Nous sommes donc en droit de nous interroger sur les causes et les conséquences poussant les sociétés viticoles à continuer de produire du raisin « alors que tant de contraintes

objectives inviteraient à renoncer d'emblée »⁵ (VELASCO-GRACIET et LASSERRE 2006, §6).

Assez paradoxalement, ce type de viticulture est aujourd’hui largement pratiqué dans de nombreuses régions d’Europe, comme dans la vallée du Rhône, dans les Alpes françaises, italiennes ou suisses (MESSIEZ 2002), dans le *Trentino Alto-Adige*, sur le bord de la Moselle allemande ou encore les contreforts des Pyrénées françaises et espagnoles. Mais pour toutes les raisons évoquées, ce type de viticulture peine à se maintenir et à s’adapter.

Or, si la viticulture de montagne et de fortes pentes dispose depuis 1987 d’une instance représentative avec le CERVIM⁶, les travaux sur le sujet demeuraient assez peu nombreux, et souvent inféodés à un espace et un processus particulier. Quel que soit l’ancrage disciplinaire, il existe peu de travaux abordant les questions viticoles dans une approche systémique large, telle que celle que propose AURIAC (2000), alors même qu’elle est largement utilisée pour définir le concept de terroir. Les questions de viticulture de fortes pentes manquaient donc de travaux proposant des approches systémiques intégrant à la fois les contraintes agronomiques, environnementales, spatiales ou sociales ; autrement dit, il manquait le type de travaux qui permettrait aux acteurs locaux, dans leur diversité, de réfléchir et de baliser leurs possibilités d’adaptation dans un monde globalisé.

Nous avons donc abordé ces questions d’adaptation de la viticulture de montagne et de fortes pentes par deux entrées qui vont jaloner notre recherche. La première concerne l’exploration du rôle des interactions société - environnement dans les dynamiques spatiales du vignoble. La seconde s’intéresse à l’apport de la modélisation et de la simulation spatialement explicites, dans les processus de recherche et d’accompagnement prospectifs. Autrement dit, nous nous intéresserons également à la contribution de l’hétérogénéité spatiale dans la compréhension des phénomènes complexes étudiés.

Procéder d’une approche systémique prend véritablement du sens et devient profitable si nous sommes capables de hiérarchiser et d’ordonnancer les différents composants du système. La voie ouverte par DION (1952) qui replace les sociétés dans la construction des vignobles, et l’approche d’AURIAC (2000) qui propose d’envisager de manière systémique le vignoble du Languedoc Roussillon en introduisant le concept du « vignoble-système », nous ont fortement influencé en ce sens. Il nous est très vite apparu nécessaire de combiner les approches empirico-déductives propres à une géographie de la « mise à jour » (PUMAIN

5. Nous reprenons ici pour notre propos l’interrogation des auteurs au sujet de la persistance et du développement du vignoble Québécois

6. Centre d’Étude de Recherche et de valorisation de la Viticulture de Montagne. <http://www.cervim.org>, site consulté le 4 avril 2015.

1998) avec des pratiques de simulation qui nous permettraient d'explorer nos différentes problématiques.

Or, nous l'écrivions, travailler sur un objet tel que la viticulture et les dynamiques spatiales d'utilisation des sols⁷ mobilise des connaissances disciplinaires variées associant, d'une part, entretiens, théorisation, manipulation de données qualitatives et quantitatives, modélisation, simulation, etc. et, d'autre part, relevant souvent d'une épistémologie éloignée des sciences théorico-expérimentales (STENGERS 2010). C'est en considérant la modélisation et la simulation comme *media* d'interactions avec les acteurs et outils d'exploration des champs des possibles que nous parvenons à faire cette synthèse.

Le *CompuTerrarium*⁸, un laboratoire d'expériences sociales

L'utilisation de la modélisation et de la simulation en marge des pratiques ancrée dans les sciences théorico-expérimentales opère un changement considérable d'un point de vue épistémologique. En effet, traditionnellement, la simulation est utilisée pour fournir des prédictions relativement certaines de survenue d'un événement. Or, l'usage que nous avons adopté dans la simulation n'a que peu de visée prédictive, mais espère plus sûrement aider à expliquer des phénomènes complexes (THOM 2009). Ce qui fait dire à GUILLEMOT (2014, p.345) qu'« il y a donc une vraie tension entre la nouveauté épistémologique de ces modélisations et leur rôle central dans l'expertise »⁹.

Nous reprendrons à notre compte le fait de travailler sur des expérimentations *in silico*¹⁰ en Sciences Humaines et Sociales, le modèle informatique se substituant avantageusement pour le géographe aux boîtes de Petri des microbiologistes. Nous avons alors accès à des espaces en conditions maîtrisées dans lesquels nous pouvons expérimenter la naissance, le développement et la disparition de toutes ou partie des composantes mises en présence à la manière de ce que propose MAYNARD SMITH (1992).

EPSTEIN et R. AXTELL (1996, p.7) parlent eux du *CompuTerrarium* à propos de

7. La traduction française de *land-use* et *land-cover* par utilisation du sol et du couvert du sol ne semble pas être chargée des mêmes notions c.f. PARKER, MANSON *et al.* (2003).

8. Nous empruntons le terme de *CompuTerrarium* à EPSTEIN et R. AXTELL (1996)

9. GUILLEMOT (2014) s'exprime alors dans le contexte de simulation du changement climatique, mais nous prenons volontiers la responsabilité d'étendre la validité de cette remarque à toutes les approches scientifiques post-normales (FUNTOWICZ et RAVETZ 1993)

10. Néologisme qui signifie littéralement "dans le silicium". MAYNARD SMITH (1992) souligne que « Jusqu'à présent, nous n'avons pu étudier qu'un seul système évolutif [la vie sur Terre] et nous ne pouvons pas attendre un voyage interstellaire pour en fournir un second. Si nous voulons faire des généralisations à propos des systèmes évolutifs, nous devons voir ce qu'il se passe avec des systèmes artificiels » ce qui amène KNIBBE (2013, p.587) à parler « d'évolution expérimentale *in silico* ».

leur modèle baptisé *Sugarscape* « where we alter agent behavioral rules, such as those governing trade or inheritance, in order to see how immutable this kind of distribution really is ». Autrement dit, la modélisation et la simulation offrent la « possibilité nouvelle de plonger au cœur de la complexité des sociétés humaines en compagnie de modèles simples, maniables et robustes. Notre créativité a tout à y gagner, si nous nous y prenons bien » (BANOS 2010).

Si la construction de modèles simulés nous permet d'explorer les problématiques d'interaction société - environnement de manière générale pour essayer d'en proposer une lecture renouvelée, nous nous sommes très largement appuyés sur des territoires locaux pour déceler les variables, les contraintes identifiées et vécues par les acteurs.

Un travail ancré spatialement

Ce travail vise à définir et circonscrire les processus propres aux territoires viticoles de fortes pentes. Cela consiste donc en une démarche de généralisation et de théorisation s'appuyant sur des territoires identifiés, à partir desquels nous avons, dans une approche de délimitation inspirée de la théorie des catastrophes de THOM (1989), essayé de délimiter les mécanismes d'interactions sociales et environnementales qui les sous tendent.

Les territoires viticoles de fortes pentes en Europe représentent 7% des superficies viticoles (BREGON et E. DELAY 2009), ce qui nous laissait de la latitude dans le choix des terrains d'études. Le choix s'est porté naturellement sur le vignoble de la Côte Vermeille en France et du *val di Cembra* en Italie (fig. 0.1), car nous disposions sur place d'un réseau d'acteurs identifié avec lequel nous avions déjà pu travailler sur ces problématiques dans le cadre de partenariats avec le CERVIM et la *Fondazion E. Mach* (IT) en 2009 et 2010.

Ces deux territoires sont représentatifs des territoires viticoles de fortes pentes en Europe et conjuguent un très grand nombre de constantes et d'adaptations lié aux conditions structurales particulières.

En effet, ils partagent des conditions orographiques difficiles avec des pentes souvent supérieures à 45°, la culture de la vigne y est donc pratiquée sur des terrasses qui réduisent l'érosion et facilitent le travail. Les parcelles restent difficiles d'accès et très souvent impossibles à mécaniser, rendant les opérations de travail du sol extrêmement couteuses en temps¹¹. Enfin, les viticulteurs des deux zones ont mis en place des solutions coopératives

11. L'enherbement en contexte méditerranéen, par exemple, est inenvisageable à cause des pertes de rendement, ce qui induit un recours systématique au désherbage chimique pour maintenir les coûts de production bas.

pour affronter les marchés. Pour mieux situer ces deux territoires (fig. 0.1) :

- le vignoble de la Côte Vermeille (fig. 0.1(a)) regroupe les AOC¹² de Banyuls et Banyuls Grand Cru, des vins doux naturels, et de Collioure, un vin sec. Ce territoire se situe aux confins de la France et de l'Espagne sur la côte Catalane. Il regroupe quatre communes, Collioure, Port-Vendre, Banyuls et Cerbère, coincées entre mer et montagne avec à l'Ouest la mer méditerranée et à l'Est le massif des Albères. Le point haut de la zone culminant à 980m à moins de 10km de la mer, nous comprenons bien que la pente fasse partie du paysage ;
- le vignoble du *val di Cembra* (fig. 0.1(b)) se situe dans la province du *Trentino* dans les Dolomites italiennes. L'identité de ce territoire de quatre communes, *Albiano*, *Cembra*, *Segonzano* et *Castello Molina di Fiemme* peut sembler au premier abord moins évidente que celle de la Côte Vermeille, car il n'est pas structuré par une interprofession forte, et ne dispose pas d'une reconnaissance géographique propre. Mais son orographie et ses paysages lui confèrent une image très forte de la part des habitants de la province. L'altitude s'échelonne entre 400m au plus bas dans la vallée de *l'Avisio*, à plus de 1400m en plusieurs points de la zone.

L'intuition des débuts prend forme et se matérialise : la viticulture de montagne et de fortes pentes cultive à la fois ses similarités et ses différences, et nos deux territoires nous permettent d'explorer un panorama assez exhaustif des réalités de la viticulture de fortes pentes en Europe.

En conjuguant les thématiques des interactions société - environnement et les moyens offerts par la modélisation dans notre processus de recherche, nous avons questionné les territoires d'étude dans trois directions principales.

1. Quelle est la place de l'économie et du marché dans les dynamiques territoriales de vignoble-système ? Et quel rôle peut jouer la viticulture de fortes pentes dans un contexte mondialisé ?
2. Comment les interactions sociales et spatiales des individus sur le territoire structurent leur espace ?
3. Enfin comment les acteurs s'approprient les phénomènes formalisés à différentes échelles pour penser l'abstraction et la généralisation des processus en action sur les territoires ?

Investiguer dans ces trois directions met en perspective les relations et les variables qui contribuent à la structuration de ces territoires. Cela nous conduira à identifier les similarités des territoires de fortes pentes, et à en discriminer les facteurs et les processus à l'œuvre relevant du particularisme local ou constitutif des territoires viticoles en fortes pentes.

12. AOC : Appellation d'Origine Contrôlée.

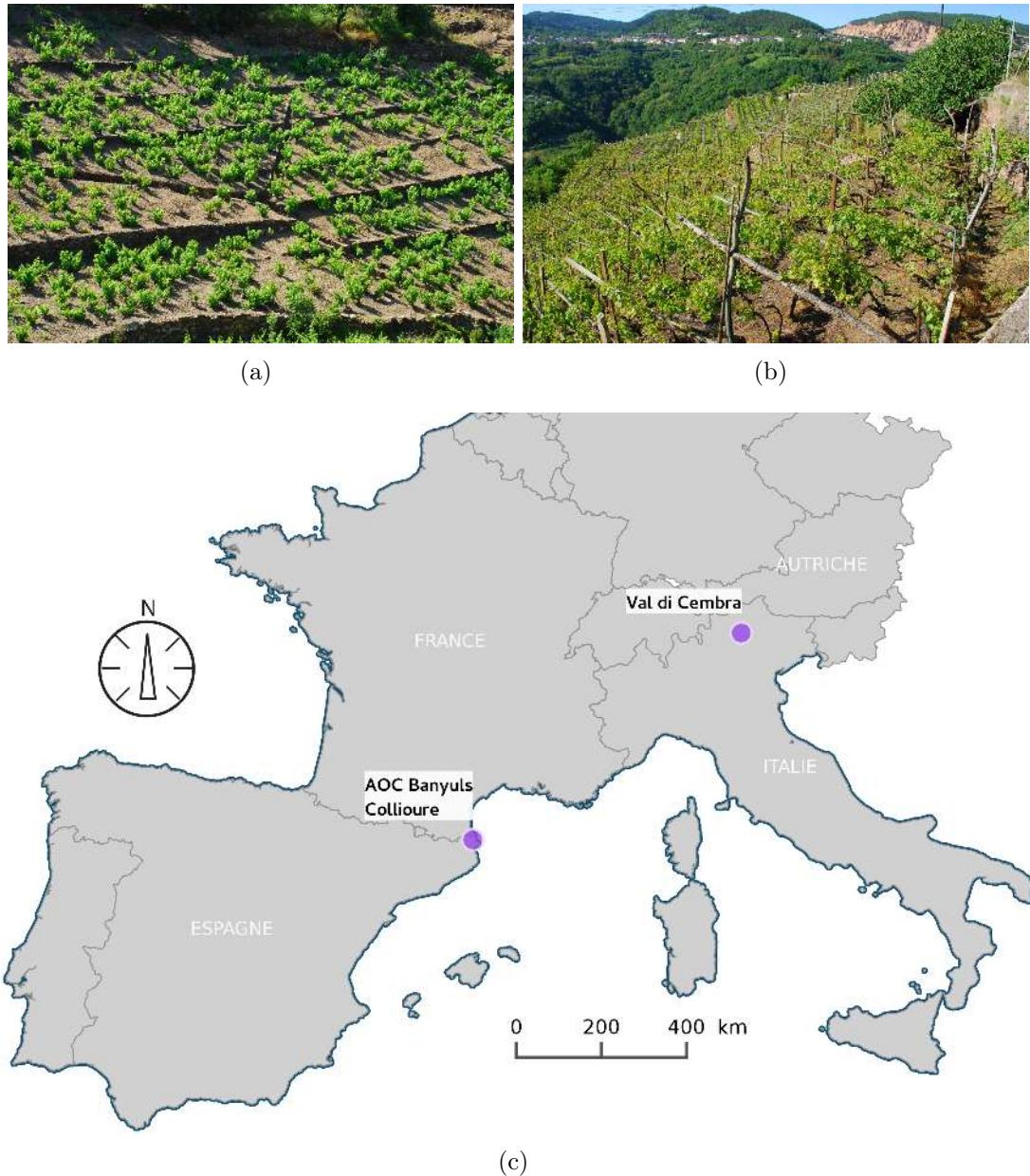


FIGURE 0.1 – Carte de localisation des terrains d'études. (a) le vignoble de la Côte Vermeille, (b) le vignoble du *val di Cembra*

Méthodologie et organisation du manuscrit

Pour procéder à cette identification des particularismes locaux dans une théorisation des processus société - environnement en contexte viticole de montagne ou de fortes pentes, nous nous sommes intéressés philosophiquement à la théorie des catastrophes développée par R. THOM. Nous allons chercher les conditions locales qui permettent de décrire la discontinuité de comportement entre la viticulture de plaine et celle de pente.

Grâce aux observations de terrain et aux entretiens avec les différentes parties prenantes de la viticulture de montagne et en fortes pentes, combinés avec une approche de modélisation itérative, nous avons pu identifier des comportements sociaux et/ou spatiaux qui influencent les dynamiques paysagères de ces vignobles. Ces pratiques de modélisation itératives se sont appuyées sur la théorie des systèmes complexes et nous avons largement eu recours aux systèmes multi-agents. Pour reprendre la métaphore de « la boîte noire » de THOM (1989, p.60), et en considérant les structures paysagères comme la résultante de la conjugaison des interactions société - environnement, nous cherchons à identifier les mécanismes producteurs, dans la « boîte noire », de la continuité ou des discontinuités paysagères.

Ainsi, le travail que nous présentons est segmenté en six chapitres. Ce découpage permet dans le chapitre 1 de faire un état de l'art des concepts mobilisés pour étudier la viticulture. Nous avons pour cela utilisé une approche ontologique du concept interdisciplinaire de « terroir » pour proposer un alignement avec celui plus géographique de « territoire ». Le travail de définition et de délimitation des concepts que recouvre « terroir » et « territoire », nous donnera l'occasion dans le même temps de définir le domaine de validité de la modélisation. Cette mise au point sera utilisée par la suite pour décrire nos deux territoires d'étude au regard de notre ontologie.

La modélisation et la simulation à base d'agents occupent une place importante dans notre travail, aussi nous avons, dans le chapitre 2, procédé à un état de l'art des pratiques de modélisation et de leurs pénétrations dans le champ disciplinaire de la géographie. Ce travail éclairera le cheminement épistémologique que nous avons suivi dans l'exploration des dynamiques des territoires viticoles de fortes pentes. Cette voie a nécessité de notre part un investissement considérable pour aborder la théorie des systèmes complexes et les outils forgés pour l'explorer. Cela nous a conduits à explorer des champs disciplinaires éloignés des concepts clefs en géographie viticole. Malgré tout, l'outil ne fait pas perdre de vue l'ambition de départ, et nous explorons bel et bien des problématiques viticoles. Cette mise au point ouvrira la voie à la compréhension des modèles qui seront ensuite présentés dans les chapitres suivants, et cela nous offre la possibilité de positionner nos

pratiques de modélisation dans le champ des sciences empiriques comme dans celui de la théorie des systèmes complexes.

Les trois chapitres suivants seront ensuite dédiés à la description des formalismes de modélisation adoptés. L'utilisation de plusieurs modèles s'inscrivant dans une même problématique nous est apparue nécessaire pour pouvoir travailler avec les acteurs de nos deux territoires d'étude. Les interactions pouvaient alors être segmentées et ainsi être plus facilement manipulables. En conséquence, chaque modèle propose une vision fragmentaire du monde, mais la robustesse des mécanismes proposés est démontrée. Les six modèles présentés sont regroupés en fonction du type de formalisme de modélisation et d'échelle spatiale considérée. Nous effectuons, au cours de ces trois chapitres, une montée dans la complexité et la diversité des agents et des environnements spatiaux.

Nous commencerons notre exploration, chapitre 3, en présentant les modèles *Dion still alive* et VICTOR qui sont deux modèles multi-agents qui se proposent de simuler le territoire viticole à petite échelle, avec des agents agrégés sous forme de villes, places de marché et autres villages. Ces deux modèles nous amènent à replacer la viticulture de fortes pentes dans le « vignoble-système » (AURIAC 2000) en nous intéressant aux effets de l'orographie sur la structuration et les dynamiques des territoires viticoles.

Le modèle *Dion still alive* propose de revisiter les hypothèses avancées par DION (1952), dans son article « Querelle des anciens et des modernes sur les facteurs de la qualité du vin ». Ce travail, en plus d'inviter à la relecture de DION par l'intermédiaire de la simulation, propose également de réfléchir au formalisme qui pourrait être envisagé pour décrire sur le temps long l'évolution de la qualité. Ici la pente est un critère de qualité recherché localement par les agents, ce qui influencera les dynamiques spatiales gloables. Le modèle VICTOR est ensuite présenté en suivant le même formalisme de description. Ce modèle propose, quant à lui, d'explorer les dynamiques agricoles abordées et qui peuvent se mettre en place sur un territoire quand on introduit une compétition entre deux cultures : la vigne et les céréales. Ce modèle soumet donc des communautés villageoises à différentes formes de marchés. On explorera ici l'effet des stimulations économiques sur le territoire viticole quand celui-ci est en compétition avec une culture vivrière. Cette fois la pente est considérée comme un environnement pauvre, peu propice à la culture de céréales. Elle constituera donc un espace refuge pour la viticulture quand les conditions économiques seront plus favorables aux céréales.

Fort de ces résultats à un niveau agrégée, nous nous dirigerons vers une formalisation « individu centré » proposée à des échelles spatiales plus grandes. Ainsi le chapitre 4 présentera les modèles LAME et CiViIsMe. Ceux-ci proposent de formaliser simplement

des comportements individuels, qui, dans une « plausibilité de principe » (VARENNE 2011), permettent d'envisager les dynamiques spatiales du vignoble.

Avec le modèle LAME, nous étudierons l'importance des facteurs environnementaux comme la pente, l'accessibilité, *etc.*, dans les processus de choix de reprise et d'abandon de parcelles par les viticulteurs. Ce travail effectué dans un premier temps dans un environnement simplifié pour les agents est ensuite confronté à des données réelles.

Le modèle CiVIIsMe, quant à lui, propose d'étudier le fait coopératif très présent dans tous les vignobles en conditions structurales difficiles. Nous évaluerons avec lui les implications des politiques de rétribution de la coopérative. Ce modèle nous permet aussi d'identifier l'influence du territoire et, ainsi, d'expliquer les divergences locales de comportements coopératifs qui peuvent émerger.

Enfin, le chapitre 5 en temps que dernière étape dans le *downscaling* que nous proposons, met l'accent sur des processus très particuliers. Notre objectif ici était de répondre spécifiquement à certaines demandes des parties prenantes de notre étude, à savoir les viticulteurs ou les techniciens. En effet, si nous avons réussi à les intégrer dans les différents processus de modélisation précédents pour valider les représentations et émettre des réactions et des positionnements, ces derniers étaient demandeurs de modèles très ancrés dans le territoire. Les modèles *acidityGIS* et CeLL sont deux réponses que nous avons cherché à leur proposer.

Considérer les impacts du changement climatique à petite échelle (HANNAH *et al.* 2013) fait inévitablement l'impasse sur des phénomènes d'adaptation s'inscrivant à l'échelle fine (VAN LEEUWEN, SCHULTZ *et al.* 2013). Le vignoble de la Côte Vermeille risque de subir plus rapidement que d'autres vignobles les effets du changement climatique. Le modèle *acidityGIS* propose d'explorer les possibilités offertes par l'orographie pour maintenir une maturation du raisin dans les dynamiques actuelles.

Le modèle CeLL vise à proposer aux viticulteurs un outil de réflexion sur leurs pratiques. CeLL modélise le comportement d'un parasite de la vigne connu sous le nom d'Eudémis (*Lobasia botrana*). Ce lépidoptère, qui pond sous la peau du raisin, est particulièrement thermosensible. Nous proposons, grâce à un modèle « individu centré », de modéliser à petite échelle le comportement des populations de papillons pour optimiser les pratiques de lutte par phéromones. Le développement du modèle CeLL permet de tester *in silico* un certain nombre de variables communément admises en laboratoire, et de proposer des *scenarii* de luttes par diffusion de phéromones adaptés aux viticulteurs.

Nous avons besoin d'outils et de méthodes pour nous permettre d'effectuer le trajet entre les différents modèles et des propositions prospectives pour les territoires de montagne et en fortes pentes. Dans le chapitre 6, nous présenterons la dernière étape de

ce travail : proposer des *scenarii* prospectifs.

Nous proposons en nous inspirant de méthodes déjà éprouvées par ailleurs d'isoler les variables structurelles du « vignoble-système » de fortes pentes. Pour cela, nous avons utilisé deux approches en parallèle, la première issue de la modélisation, et la seconde issue de réunions avec les acteurs, pour ensuite être en mesure de les confronter et ainsi mieux identifier celles qui seront effectivement mobilisées dans des *scenarii*.

On peut ainsi *a priori* espérer que la méthodologie explorée dans ce travail et, les *scenarii* proposé puisse être remobilisés sur d'autres territoires, et ainsi porter les bases d'une réflexion renouvelé autour des contraintes et des enjeux sociaux et spatiaux qui sous-tendent la viticulture de fortes pentes.

Chapitre 1 :

La situation des territoires viticoles de fortes pentes face aux enjeux actuels

Introduction

« [...] les problèmes qui se posent à toi sont, en fin de compte, des problèmes d'homme, et tu rejoins, d'emblée, de plain-pied, la noblesse du montagnard. »

SAINT-EXUPÉRY (1939, p.49)

Ce travail aborde, comme objet d'étude, la viticulture de fortes pentes sous ses aspects socio-spatiaux dans une approche « post-normale » (c.f. chapitre 2). FUNTOWICZ et RAVETZ (1993) la définissent comme une posture qui prend son sens quand la science doit faire face à des faits incertains et des valeurs discutées devant être mobilisées pour résoudre des enjeux élevés.

Ce chapitre vise à inscrire notre travail sur la durabilité des territoires viticoles de montagne dans le contexte épistémologique de la géographie viticole en reconstituant rapidement l'évolution de la notion de terroir qui est centrale dans le domaine, et en cherchant à l'inscrire dans la notion de territoire qui, elle, intéresse plus largement les géographes. Cela nous amène donc à penser le terroir dans le territoire et à positionner la viticulture de fortes pentes comme construit complexe de pratiques agricoles, sociales et sociétales sur un espace délimité vécu et perçu par les Hommes. Nous considérons la viticulture de montagne et de fortes pentes en tant que sous-système du vignoble-système.

Cette notion de vignoble système a été définie par AURIAC (2000) dans son étude du vignoble languedocien. Il s'agit de considérer le vignoble comme une entité géographique à part entière, résultant d'un ensemble d'interactions avec des composantes de plus bas niveau.

Une fois délimitées les implications de notre réflexion sur la viticulture de fortes pentes dans le contexte plus général de la viticulture, nous inscrirons notre travail sur deux territoires particuliers : les Appellations d'Origine Contrôlée (AOC) de la Côte Vermeille en France, et le *val di Cembra* en Italie. Cette présentation des territoires nous conduira naturellement à mettre l'accent sur quelques spécificités de ces territoires qui seront ensuite détaillées dans les chapitre 3, 4 et 5.

1.1 Les Vignobles de fortes pentes, définition et caractérisation

Parler de viticulture nécessite d'intégrer notre réflexion dans un champ interdisciplinaire, mobilisant une large communauté, investie certes par les géographes, mais aussi

par les agronomes, les climatologues, etc. Le travail de positionnement méthodologique nécessite de réfléchir à l'organisation de concepts mobilisés par les uns et par les autres pour arriver à délimiter le champ de notre propre approche. Le terroir peut être considéré comme le plus petit dénominateur commun à toutes les disciplines qui gravitent autour de la viticulture. De plus, pour le géographe, le terroir en tant qu'entité spatiale permet de considérer les territoires.

Toutefois la définition et la délimitation de ce concept n'est pas suffisante aux géographes. Nous interrogerons également, à partir de la littérature, la notion de territoire largement utilisée par la communauté des géographes, et reprise par les disciplines qui s'inscrivent dans une intégration de l'espace aux sociétés. Ce changement d'échelle allant du particulier (le terroir) vers le plus général (le territoire) est assez naturel en ce qu'il permet d'aligner des concepts.

Le travail de mise en conformité des sous-concepts mobilisés par le terroir et le territoire se fait grâce à la construction d'ontologies. Une ontologie est la formalisation d'une conceptualisation dans un domaine, en tant que système qui peut être décomposé pour les besoins de la description (GRUBER 2009 ; J.-P. MÜLLER et AUBERT 2011). Cette formalisation doit être considérée comme un moyen de visualiser les interactions des sous-concepts composant les ensembles plus larges et évoluant au gré des échanges et des controverses au sein d'une communauté. Cette formalisation nous permettra enfin d'évaluer la place de la viticulture de pente dans l'interconnexion qui fait jour entre terroirs et territoires pour en délimiter les spécificités et les interactions.

1.1.1 Du terroir au territoire viticole, une approche ontologique

La construction d'un vocabulaire va généralement de pair avec sa construction et son appropriation par la discipline qui le mobilise, et l'ensemble des notions qui lui sont associées. La géographie n'y échappe pas, et l'usage qui en est fait résulte d'une lente construction historique. Cette formalisation est jalonnée de nombreuses controverses opposant d'un côté les tenants d'un déterminisme géographique et d'un certain vidalisme (MEYNIER 1969), et de l'autre les défenseurs d'une géographie culturelle (DION 1959 ; PITTE 2006 ; PITTE 2010). Sans entrer dans les détails de toutes ces controverses, dont nous percevons encore aujourd'hui les marqueurs, nous avons besoin de définir les concepts permettant d'inscrire notre recherche dans le mouvement épistémologique qui pousse le monde géographique, et plus généralement scientifique, de ce champ d'application. Après une rapide définition des concepts, nous proposerons une description ontologique des interactions qu'ils entretiennent les uns avec les autres (GRUBER 2009).

L'approche ontologique est, à l'origine, une branche de la philosophie qui s'intéresse à l'étude de l'être, de ses modalités et de ses propriétés. Aujourd'hui, on utilise ces ap-

proches en informatique et en sciences de l'information, car elles construisent des grilles de lecture sémantiques et représentent formellement les interactions entre les différentes parties d'un modèle conceptuel (JARRAR et MEERSMAN 2002). Elles apportent un certain nombre d'outils théoriques qui offrent un cadre de réflexion et « un vocabulaire commun aux chercheurs qui ont besoin de partager des informations dans un domaine » (NOY et MCGUINNESS 2000 ; GRUBER 2009).

L'utilisation principale, dans notre situation, consistera à expliciter les concepts et les postulats mobilisés par le terroir. Largement inspirées de NOY et MCGUINNESS (2000), nos ontologies ont été construites de sorte que chaque classe (concept ou sous concept) dispose de descripteurs spécifiques tout en héritant des descripteurs de la classe dont elle dépend.

En procédant ainsi, il est possible de construire de manière différenciée chaque concept, puis de l'enrichir de manière itérative, et de lier et aligner les ontologies sur certains termes équivalents.

1.1.1.1 Les terroirs viticoles

S'il est d'usage de faire remonter l'apparition du terme « *terroir* », dans un contexte agronomique, à O. d. SERRES (1600), nous constatons, à l'échelle des soixante dernières années, deux vagues successives de mobilisation du terme de terroir dans la littérature internationale¹ (fig. 1.1).

La première vague, à la fin des années 1950² (n° 2 fig. 1.1) et au début des années 1960, introduit le concept de manière générale dans le champ de la géographie. Se succèdent R. Brunet (1965), R. Lambert (1973) dans des tentatives de définition du concept intégrant les composantes que nous lui connaissons encore aujourd'hui. Mais « l'engouement » à proprement parler pour ce terme remonte au milieu des années 1980 où nous remarquons sur la figure 1.1 (n° 3) une croissance ininterrompue et exponentielle de la fréquence d'utilisation de ce mot dans la littérature. Cette croissance de la fréquence d'utilisation du terme intervient largement grâce à l'adoption qui est faite du concept par les disciplines telles que l'œnologie, l'agronomie etc³.

Si on discerne aujourd'hui encore quelques querelles, nous approchons d'une définition qui fait consensus pour les géographes français autour du terroir en tant que « *portion de territoire, un taxon, homogène à tous les points de vue, naturels et socio-*

1. Le mot terroir a l'avantage d'avoir été internationalisé par l'OIV (Organisation Internationale de la Vigne et du Vin). Si sa définition a été adoptée en 2010 au niveau des états signataires, la communauté scientifique elle se l'est approprié bien plus tôt.

2. Nous retiendrons la thèse de DERRUAU (1949), où les premiers éléments du terroir sont posés : « Nous entendons par terroir un territoire cultivé se distinguant de ses voisins par des caractères particuliers d'ordre physique ou d'ordre humain. »

3. Nous pourrons en particulier citer les travaux d'ASSELIN *et al.* (1981), PIJASSOU (1980), MORLAT (1989) et MÉRIAUX *et al.* (1981).

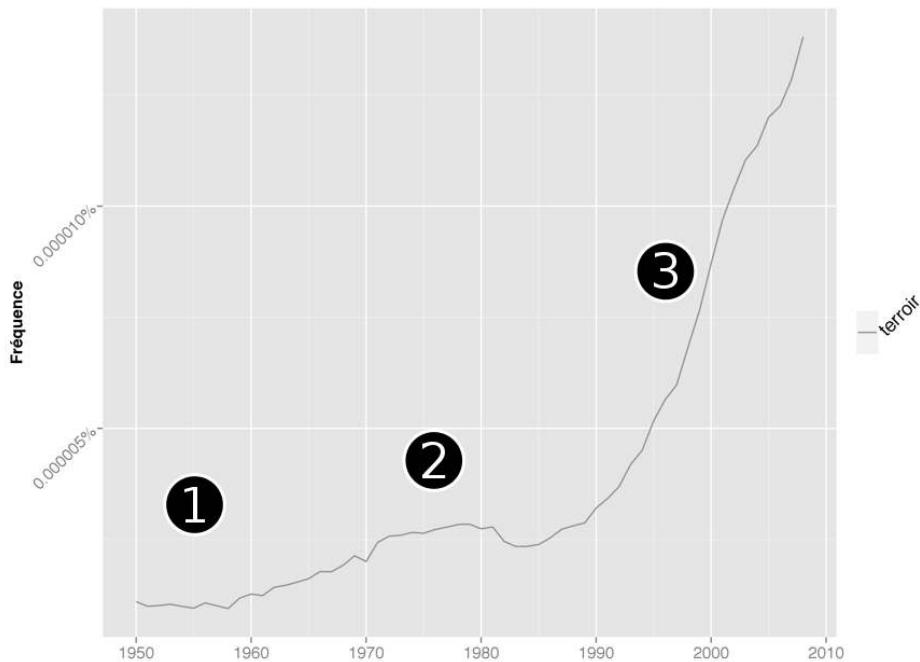


FIGURE 1.1 – Fréquence annuelle de l'utilisation du mot « terroir » répertorié par le service google-book entre 1950 et 2008. Nous distinguons trois phases successives d'adoption du mot terroir. N° 1 représente le bruit de fond, n° 2 l'adoption par les géographes ruraux et n° 3 par les agronomes et les œnologues

économiques »(ROUVELLAC *et al.* 2012). Notion que l'on retrouve dans la résolution OIV/VITI 333/2010⁴ qui vise à définir pour tous les pays adhérents à l'OIV⁵ cette notion.

« Le "terroir" vitivinicole est un concept qui se réfère à un espace sur lequel se développe un savoir collectif des interactions entre un milieu physique et biologique identifiable et les pratiques vitivinicoles appliquées, qui confèrent des caractéristiques distinctives aux produits originaires de cet espace.

Le "terroir" inclut des caractéristiques spécifiques du sol, de la topographie, du climat, du paysage et de la biodiversité. »

Si cette dernière a l'avantage d'être opposable, la définition des géographes permet de mettre en évidence la composante spatiale et donc l'échelle à laquelle il doit être envisagé.

À ce stade il nous est apparu important de définir une hiérarchisation des concepts mobilisés dans l'utilisation du mot terroir pour essayer d'en cerner les limites et les interactions avec d'autres concepts. Nous avons opté pour une approche que nous avons déjà esquissée (E. DELAY 2013), basée sur la construction d'une ontologie⁶. Opter pour une

4. Lien vers la résolution : <http://www.oiv.int/oiv/files/3%2520-%2520Resolutions/FR/2010/OIV-VITI%2520333-2010.pdf>, site consulté le 04 novembre 2014

5. Organisation Internationale de la Vigne et du vin. <http://www.oiv.int> site consulté le 04 novembre 2014

6. http://fr.wikipedia.org/wiki/Ontologie_%28informatique%29 consulté le 24 octobre 2014

approche ontologique nous permet de classer les concepts et d'organiser leurs interactions.

En reprenant une partie de la littérature abondante au sujet du terroir, il est facile de trouver des informations sur les caractéristiques spécifiques du sol (géologie, pédologie) (CAREY, ARCHER et SAAYMAN 2002 ; DELOIRE *et al.* 2005 ; VAUDOUR, SHAW *et al.* 2005 ; GOULET et MORLAT 2011), de la topographie et du climat (TONIETTO et CARBONNEAU 2004 ; QUÉNOL et BONNARDOT 2014). Des tentatives ont été faites pour mettre à jour les variables qui influent sur la qualité du produit. Par ailleurs, de nombreuses études ont été menées concernant le paysage viticole (BONIN 2001 ; CAPITAINE et BENOÎT 2001 ; VAUDOUR 2001) en y intégrant parfois des liens entre certaines de ces caractéristiques (DELOIRE *et al.* 2005 ; CARBONNEAU *et al.* 2007 ; CAREY, ARCHER, BARBEAU *et al.* 2008), mais cet objet théorique est abordé dans une démarche spatio-centrée. Les sciences agroclimatiques essaient de mettre en lumière des indicateurs facilement utilisables pour définir le terroir par ses limites (tiers exclus de Aristote), permettant de discriminer « facilement » un produit de « terroir ». D'autres approches tendent à montrer que le terroir est une construction « culturelle » (DEMOSSIER 2001 ; BÉRARD et MARCHENAY 2007 ; TEIL 2011). Le terroir est aussi une construction sociale, un objet dont la réalité et les contours sont continuellement redéfinis par les acteurs du territoire (HINNEWINKEL 2004 ; HINNEWINKEL 2007). Finalement le terroir est un objet complexe, n'ayant pas d'existence propre, et pouvant être considéré comme le fruit d'interactions à plusieurs niveaux (VAN LEEUWEN et SEGUIN 2006 ; ROUVELLAC 2013)

Nous proposons dans la figure 1.2 une lecture hiérarchique des concepts mobilisés par la notion de terroir dans la littérature. Il apparaît nettement dans la définition de l'OIV, comme dans les recherches menées sur le sujet, que le terroir est un élément complexe. Pour les géographes (ROUVELLAC *et al.* 2012), et de manière plus générale, pour le monde de la recherche (VAN LEEUWEN et SEGUIN 2006), le terroir mobilise deux sous-concepts : les facteurs environnementaux et les facteurs territoriaux. La définition de l'OIV semble apporter une distinction supplémentaire en introduisant une séparation entre milieu physique et milieu biologique, là où précédemment s'imposait le milieu naturel.

Dans cette situation, l'utilisation des ontologies introduisant la notion d'héritage de classe, qui consiste à transmettre les caractéristiques de la classe mère aux sous-classes de concepts, nous pousse à envisager une segmentation plus proche de l'OIV en 3 sous-classes du concept de terroir : *Environmental component*, *Social component* et *Ecophysiological component*.

La composante environnementale

Cette classe de concept regroupe les composantes orographiques et topologiques de l'environnement, ce qui nous permet de prendre en compte les questions d'altitude (exemple : limite de culture de la vigne (FREGONI 1998)), d'orientation et de pente. On considère



FIGURE 1.2 – Hiérarchisation des concepts mobilisés par le terroir dans une ontologie formalisée en *OWL*

également dans cette classe la nature du substrat pédologique (VAN LEEUWEN 1989 ; ROUVELLAC 2005 ; SEGUIN 1986) et géologique (POMEROL 1989 ; WILSON 2012 ; SEGUIN 1983). Enfin, elle prend en compte le climat constitué lui-même de trois échelles de réflexion : le macroclimat avec ses grandes aires de répartitions de la vigne (FREGONI 1998 ; TONIETTO et CARBONNEAU 2004 ; HUGLIN et SCHNEIDER 1998), le mésoclimat qui prend en compte une variabilité topoclimatique (BOIS 2007 ; MADELIN *et al.* 2010 ; BRIDIER *et al.* 2004 ; BONNEFOY *et al.* 2009 ; QUÉNOL, PLANCHON *et al.* 2008), et enfin le microclimat à l'échelle de la plante.

La composante sociale

Celle-ci regroupe toutes les composantes liées à l'homme. Dans Spatial_amenity, nous avons introduit tous les artifices dont l'homme se sert pour adapter son environnement à ses pratiques (comme la construction de terrasses, les modalités et l'accessibilité des parcelles, l'appropriation des terres etc.) (JACQUET et LAFERTÉ 2005 ; AMBROISE *et al.* 1993 ; BRIFFAUD et DAVASSE 2012 ; BONARDI 2010). Pour Territory_structuration, le terroir devient territoire (HINNEWINKEL 2007) dès lors que sa délimitation le transforme en espace de production valorisé (LETURCQ 2006 ; JACQUET 2009 ; BÉRARD et MARCHENAY 2007). Nous regroupons sous cette catégorie les contraintes qu'imposent la structuration et la polarisation du territoire (la théorisation des places centrales, les réseaux et les voies de communication, l'impact des axes structurants, etc.) (CHRISTALLER 1966 ; PITTE 2010 ; DION 1959). La classe Viticultural_practices recouvre tout ce qui est lié à l'héritage social, collectif, et à l'innovation dans les pratiques viticoles (LETURCQ 2006 ; JACQUET 2009 ; ROUVELLAC 2013). Elle sera naturellement liée à la superclasse Ecophysiological_composent.

La composante écophysiologique

Cette classe mise en lumière par la définition de l'OIV est, dans la littérature, associée à celles des *Environmental component* par le fait qu'elle étudie les comportements de la vigne vis-à-vis de son milieu. Il nous apparaît important de la distinguer, car elle mobilise des concepts qui n'ont pas uniquement trait aux variables environnementales. On regroupe dans cette classe - terrain de jeu de prédilection des sciences agronomiques - tout ce qui touche au comportement de la vigne (la surface foliaire et la photosynthèse (BAEZA *et al.* 2007), les réserves hydriques de la plante (ACEVEDO-OPAZO *et al.* 2010), etc.), regroupées dans la classe Training_systems (CARBONNEAU *et al.* 2007 ; JACKSON 2014).

Nous proposons également une autre classe fille qui représente le travail du sol et le management du couvert végétal dans le champ (crop_management).

1.1.1.2 Les territoires viticoles

La notion de territoire, chère aux géographes, recouvre des réalités complexes qui ont été longtemps débattues. Le territoire est une notion polémique et reste aujourd’hui encore au cœur de certaines discussions.

Le territoire s'est constitué autour de deux approches. La première consiste à le définir par l'espace, et place l'Homme dans ce processus de qualification (MAIGROT 1999 ; FRÉMONT 1976 ; PUMAIN et SAINT-JULIEN 2010). La deuxième considère le territoire comme le lieu du pouvoir, et est donc défini par celui-ci (MICOUD 2000). Une voie médiane est tracée par BRUNET et THÉRY (1993), rejoints plus tard par DI MÉO (1998) et d'autres, qui considère que :

« La notion de territoire est [donc] à la fois juridique, sociale, culturelle et même affective. Le territoire implique toujours une appropriation de l'espace : il est autre chose que l'espace. [...] Le territoire est le support de l'identité individuelle et collective, avec des comportements d'agrégation, de ségrégation et d'exclusion. » (BRUNET et THÉRY 1993, p. 480)

R. LAJARGE (2000) ajoute que : « le territoire n'est pas un objet neutre décidé dans l'abstraction et déconnecté du réel. Il est avant tout bricolé par les acteurs en fonction d'un grand nombre de paramètres en permanente mutation ».

Dans un article qui tente de faire la synthèse de ces notions, MOINE (2006) propose de concevoir le territoire dans une approche systémique entre trois entités : les acteurs, le système de représentation et l'espace. L'espace devient alors le support des interactions (BEAUDE 2012), indispensable à la lisibilité et à la compréhension des choses (LÉVY et LUSSAULT 2000). PECQUEUR (2006), quant à lui, considère le terroir dans un équilibre plus vaste d'interconnections économiques. Le territoire entre alors dans une dynamique à rapprocher des districts industriels marchalliens explorés par BECATTINI (2004) en Italie⁷. Dans le cadre de notre travail, la notion de "territoire viticole" reviendra sans cesse. Ces espaces, *supports d'identités*, peuvent être observés sous le prisme des viticulteurs et/ou de la société, ce qui rend leurs contours variables à la marge. Si nous ne tranchons pas la question, nous nous rangerons au plus petit dénominateur commun.

Nous proposons dans la figure 1.3 une lecture hiérarchique des concepts mobilisés par la notion de territoire dans la littérature.

Les trois sous-classes identifiées pour le concept de territoire sont la société (*society*), les représentations sociales (*representation_system*) et l'espace (MOINE 2006). Nous reviendrons sur l'espace dans la partie 1.1.1.3. Nous voulions ici souligner que l'existence

7. Le District industriel fait observer des anomalies dans les mouvements de croissance des entreprises. Dans certaines zones géographiques, les petites entreprises se concentrent, produisant par là même les externalités positives que recherchent les grandes firmes avec l'économie d'échelle.

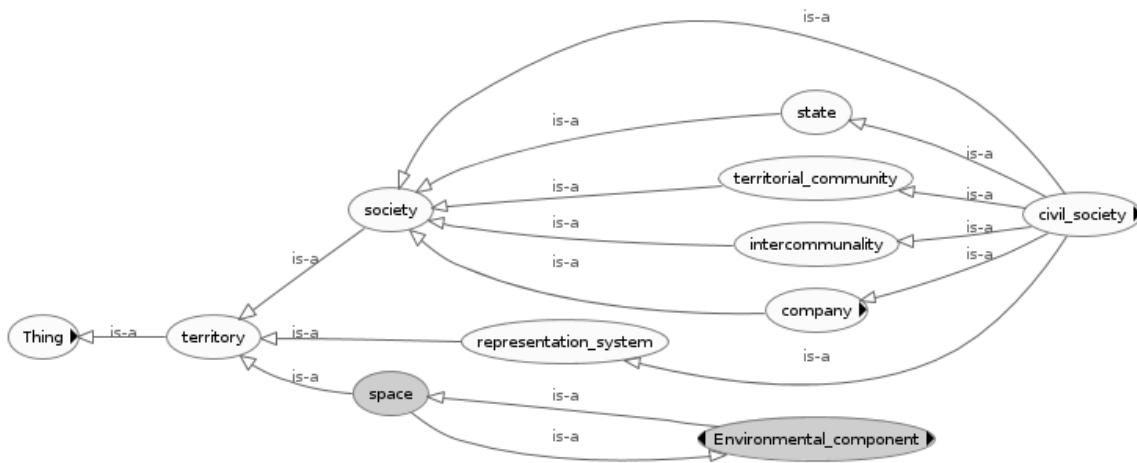


FIGURE 1.3 – Hiérarchisation des concepts mobilisés par le territoire dans une ontologie formalisée en *OWL*

du territoire est à la fois liée à la société et à ses représentations. Cette anastomose est possible si nous séparons (un peu artificiellement) la société civile des autres composantes de la société. Cette séparation prend son sens si nous considérons l’omniprésence de la société civile dans les autres classes, tout en estimant qu’elle est nécessaire à la constitution d’un concept plus large qui est celui de société.

1.1.1.3 Pour une vision intégrée des terroirs et du territoire : l’ontologie

Grâce à l’approche ontologique, on observe plus facilement la dialectique qui s’opère entre territoire et terroir. Sur la figure 1.4, nous avons aligné les concepts des composantes environnementales du terroir avec l’espace du concept de territoire. Cela permet de penser le climat, le substrat et la topologie comme des composantes du territoire.

Nous avons ensuite hiérarchisé les composantes sociales comme une sous-classe de la société civile. Cette hiérarchisation nous permet de concevoir le marché, les organisations interprofessionnelles, les pratiques viticoles, la structuration du territoire et la constitution des aménités comme des composantes de cette société civile. En prenant seulement en compte ce niveau d’interaction (en tant qu’héritage de concepts), nous distinguons l’interpénétration du terroir et du territoire largement liée à l’échelle à laquelle nous avons construit notre réflexion.

Si les liens mis en évidence sur la figure 1.4 présentent les interactions possibles dans le vignoble-système, ils permettent également à l’observateur de comprendre comment s’effectue le changement d’échelle entre terroir et territoire. Dans le monde viticole, le territoire peut donc être perçu et interprété comme se construisant par agrégation et juxtaposition de terroirs (E. DELAY 2013). Nous nous intéresserons donc ici aux terri-

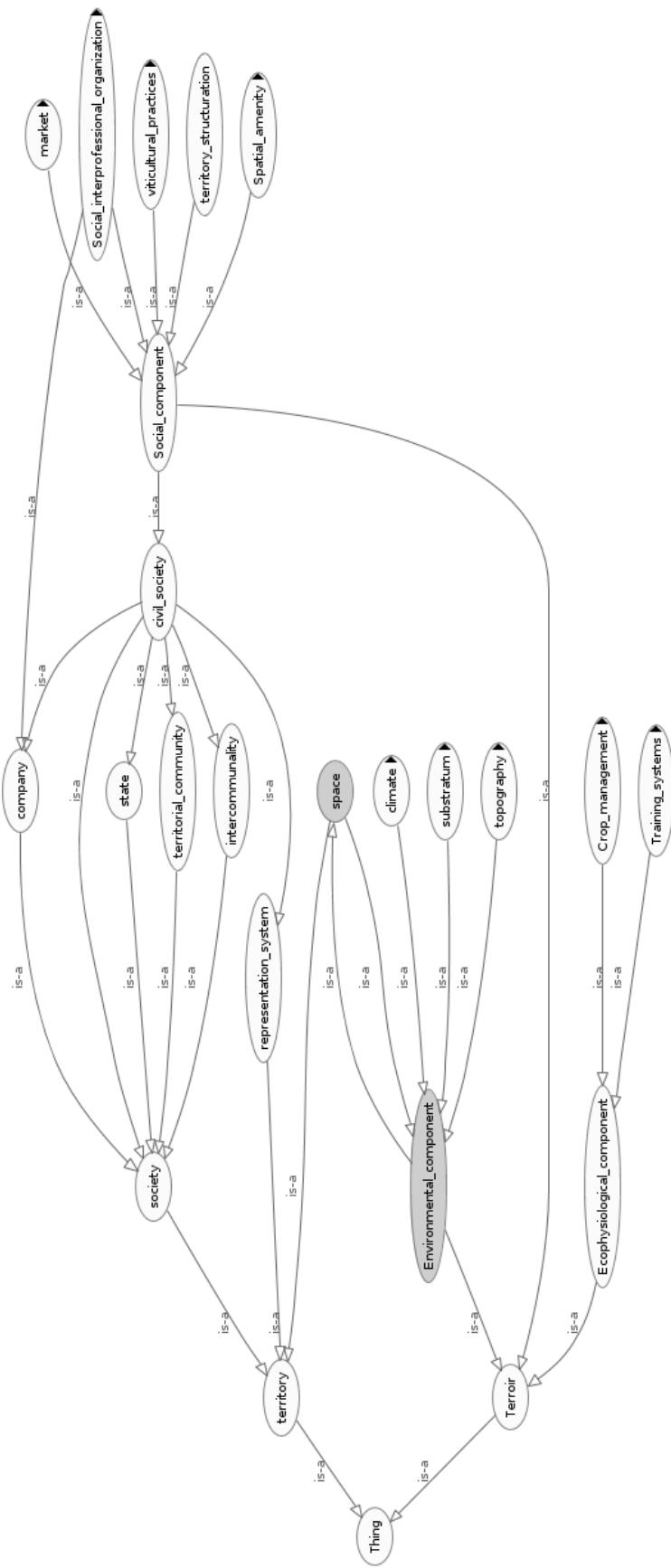


FIGURE 1.4 – Alignement des concepts de terroir et territoire (*OWL*)

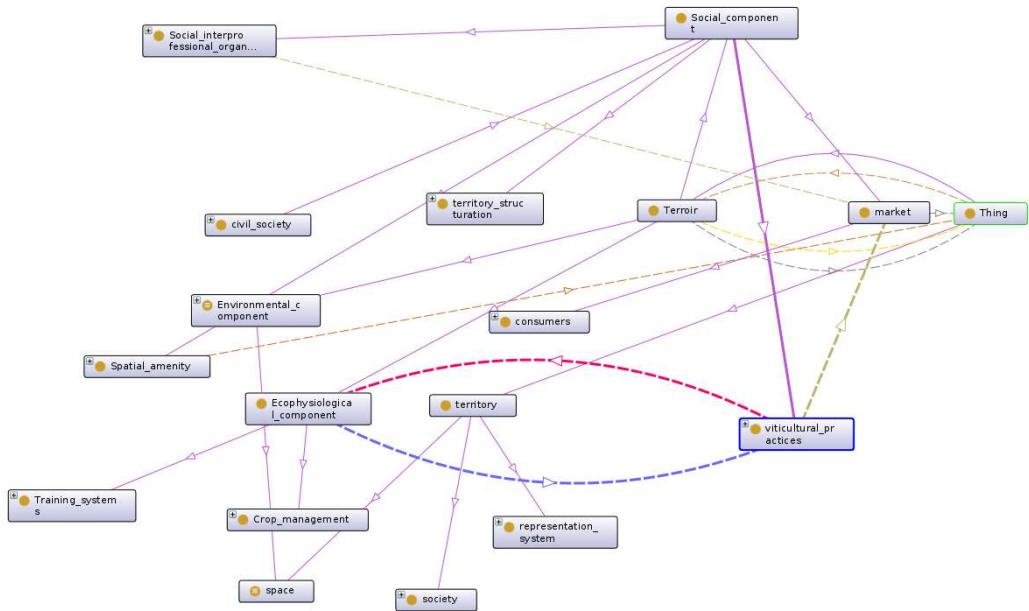


FIGURE 1.5 – Définition de propriétés des classes

toires comme une résultante d'activités à différents niveaux sous-jacents (ils peuvent être spatiaux avec les terroirs, sociaux quand nous interrogerons les interactions humaines, etc.).

Si nous réfléchissons ensuite à la structuration des concepts non plus d'un point de vue d'héritage des concepts, mais du point de vue des propriétés, il devient possible de les lier de manière différente en se focalisant sur leur cooccurrence ou leur intermédiation. Ainsi, nous pourrons lier les composantes écophysologiques et les pratiques viticoles qui font partie des composantes sociales (c.f. fig. 1.5).

Ce travail de positionnement intellectuel dans le champ des concepts effectué de manière théorique, nous avons ensuite cherché à exprimer les caractéristiques propres à la viticulture de fortes pentes.

1.1.2 Territoire et viticulture de fortes pentes

Si historiquement il s'avère que la viticulture est un type d'agriculture confiné aux zones de coteaux et donc de pentes, nous constatons actuellement que l'opposition viticulture de plaine et viticulture de pentes ne permet pas de saisir la réalité. En effet, pour des raisons micro et macro-économiques post-phylloxériques, la vigne a massivement migré dans les plaines avec pour objectif d'augmenter la productivité (AIGRAIN 2011). Les zones viticoles de pentes qui ont persisté jusqu'à nos jours ont dû réussir à se tourner vers des produits

de qualité en mobilisant les acteurs autour d'un projet de territoire (HINNEWINKEL 2007 ; HINNEWINKEL 2003).

Après avoir défini la viticulture de fortes pentes, nous nous interrogerons sur la place qu'elle occupe aujourd'hui dans un contexte toujours plus mondialisé.

1.1.2.1 Définition : viticulture de montagne

Quand nous nous intéressons à la viticulture de montagne et de fortes pentes nous nous concentrons sur des territoires aux conditions sociales et environnementales particulières. Quelles sont ces particularités ? S'il existe un consensus sur les formes que peuvent prendre la montagne ou la pente (une réalité de premier ordre (WATZLAWICK 1984)), comme l'existence d'une variation d'altitude, de végétation, de température, le sens individuel va varier (ce que WATZLAWICK (*ibid.*) nomme une réalité de second ordre). Ceci permet d'introduire des notions plus spécialisées comme les bassins versants, la pente, les dynamiques de versant, etc, mais aussi plus subjectives et de l'ordre de l'affect.

Un certain nombre de travaux ont été réalisés pour essayer de caractériser ces objets géographiques (SMITH et MARK 1999 ; SMITH et MARK 2001 ; SMITH et MARK 2003). La montagne est un objet qui peut être approché par la théorie de catastrophe proposée par THOM (1989). Les concepts centraux sont assez facilement identifiables (par exemple butte, plaine, plateau), mais les concepts satellites sont de plus en plus flous à mesure que nous nous éloignons des concepts centraux (SMITH et MARK 2003). Dans leur article SMITH et MARK (*ibid.*) définissent deux types de montagnes :

« on the one hand are organisms, products of natural selection ; on the other hand are artifacts, products of deliberate design. »

La montagne agricole, et *a fortiori* la montagne viticole est à classer dans cette seconde catégorie, celle où la montagne devient une production largement construite et aménagée. Les paysages produits par la viticulture dans ces conditions sont un vecteur de valorisation de la production (ALCARAZ 1999 ; AMBROISE *et al.* 1993). Il n'est donc pas étonnant de voir ces paysages reconnus par l'UNESCO.

Depuis 1987, les vignobles de montagne et de fortes pentes sont représentés par le CERVIM⁸. Il regroupe sous les auspices de l'O.I.V des territoires viticoles internationaux qualifiés d'« héroïques » et qui répondent aux critères suivants :

- pente supérieure à 30%
- altitude supérieure à 500 mètres
- systèmes viticoles en terrasses et gradins
- viticulture des petites îles

8. Centre d'Étude de Recherche et de valorisation de la Viticulture de montagne, <http://www.cervim.org.>, site consulté le 1er décembre 2014

Ces critères sont pensés de manière inclusive, ce qui signifie qu'il suffit de satisfaire à l'un de ces critères pour pouvoir prétendre à la reconnaissance en tant que vignoble de montagne ou de fortes pentes. Pour en augmenter la lisibilité, le CERVIM propose de parler de « viticulture héroïque ». Ce label peut, depuis 2011, être demandé par les adhérents du CERVIM. Si tous ces critères ont une réalité factuelle de premier ordre, nous notons dans cette définition une nette dominance des conditions orographiques (pente, altitude, systèmes insulaires) placées dans la première catégorie de SMITH et MARK (2003). Les systèmes en terrasses et en gradins entrent dans leur seconde catégorie, plaident en faveur d'une montagne construite par l'homme.

En se référant à l'ontologie de la figure 1.4, nous constatons que les viticultures de montagne se manifestent principalement à travers les composantes environnementales et les composantes sociales du terroir. La topographie particulière va influencer dans une certaine mesure en fonction des territoires le climat et le substrat, mais aura également des implications sur les pratiques culturelles, la structuration du territoire et les aménités mises en place par les sociétés. Ce sont d'ailleurs ces deux derniers points qui conditionnent habituellement l'objet de reconnaissance patrimoniale de ces zones.

À titre d'exemple, dans le cadre d'un travail d'inventaire de la viticulture de fortes pentes à l'échelle de la province du *Trentino* (IT), nous avons effectué une analyse⁹ de la présence de terrasses sur les terres agricoles déclarées à la province (fig. 1.6). Nous observons une très forte activité agricole sur les pentes des vallées secondaires. Cet inventaire permet à la province du *Trentino* de mieux diriger les aides agricoles pour maintenir l'activité agricole et parfois viticole (c.f. fig. 1.10(a) pour le *val di Cembra*).



1.1.2.2 La place de la viticulture de fortes pentes et l'échelle de réflexion

Si les critères peuvent sembler peu restrictifs, il est nécessaire de se questionner sur la représentation de ce type de vignoble à l'échelle de l'Europe. Pour cela, depuis 1990, l'Union européenne, par le biais des états membres, cartographie l'occupation biophysique des sols dans la base de données *Corine-Land-Cover* (CLC), et dans laquelle la vigne est identifiée¹⁰.

Nous noterons qu'il existe quelques restrictions quant à la validité des données :

9. Cette analyse est issue de la généralisation, à l'échelle de la province, d'un algorithme de détection multicritère des zones de terrasses initialement expérimenté sur le *val di Cembra* (E. DELAY 2011 ; E. DELAY et ZOTTELE 2012). L'algorithme travaille à partir de données LIDAR à une résolution de 1m et va détecter les formes des terrasses.

10. Sous la cote *clc_221 Vineyards*. Ces données sont issues de traitements par télédétection sur la base d'images satellites (Landsat, Spot,...) avec une résolution à 20 mètres, ce qui donne une échelle de validité des données de 1/100000. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/clc-2006-vector-data-version>, site consulté le 1 décembre 2014.

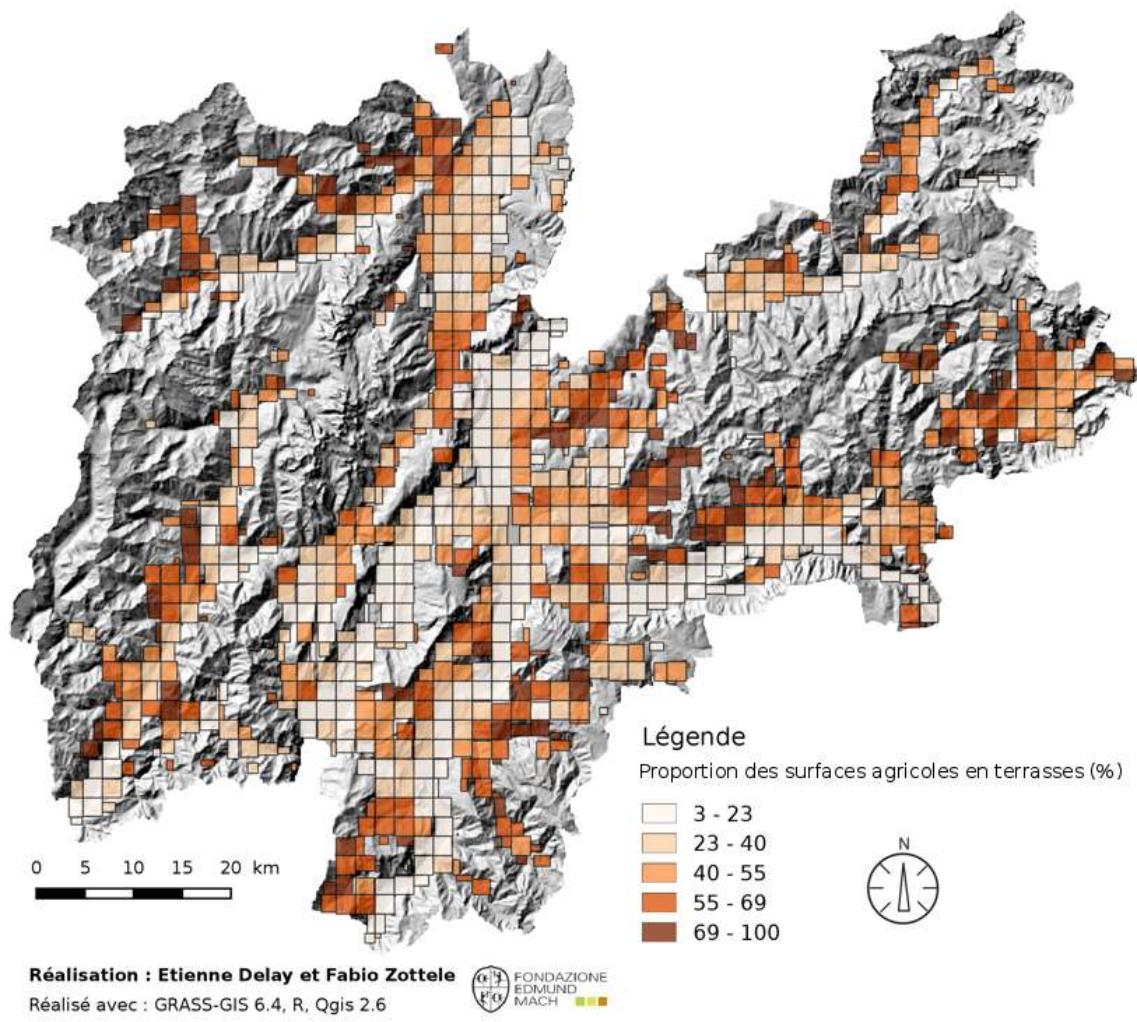


FIGURE 1.6 – Cartographie par carroyage des surfaces agricoles en terrasse dans la province du Trentino

- La plus petite surface cartographiée lors de ce projet est de 25 hectares. Or, la viticulture de montagne se distingue par un parcellaire et des îlots de culture éclatés, ce qui peut rendre une partie invisible dans les données CLC ;
- Ces données sont disponibles pour 38 pays, ce qui ne représente pas la totalité de l'Europe.

D'après les données CLC, la viticulture couvre en 2006 $40299km^2$ soit 0,7% du territoire recensé (c.f. fig 1.7(a)). Nous nous intéressons ici à ce que représente la viticulture héroïque (c.f. fig 1.7(b)). Ces vignes héroïques représentent $1850.2km^2$, ce qui correspond à 7,29% de la viticulture européenne (BREGON et E. DELAY 2009).

Si ces chiffres sont loin d'être négligeables, ils nous questionnent sur la prise en compte des spécificités de ce type de viticulture dans un contexte globalisé. Nous allons donc nous intéresser maintenant aux grandes dynamiques législatives en Europe pour être en mesure d'évaluer la manière dont la viticulture de montagne et de fortes pentes s'y positionne tant en Europe que sur le marché mondial.

1.1.3 Les Évolutions et dynamiques de la viticulture européenne vont-elles vers une homogénéisation ?

Depuis longtemps, les différents niveaux législatifs territoriaux ont voulu légiférer pour orienter le développement de la viticulture sous couvert de recherche de qualité¹¹. L'insertion du monde viticole dans une économie toujours plus mondialisée n'a pas modifié la volonté du législateur, ce sont davantage les échelles de réflexion qui ont changé.

En effet, aujourd'hui les grandes orientations pour la viticulture se font à l'échelle européenne, à charge ensuite aux états ou aux régions de traduire ces orientations aux réalités de leurs territoires. Nous nous interrogeons ici sur l'effet des décisions prises à un haut niveau d'agrégation sur les spécificités d'une production si largement ancrée localement, et sur les risques de standardisation qui peuvent peser sur la production vitivinicole en particulier sur la vitiviniculture de montagne et de fortes pentes.

Le vin, une production territorialisée

L'évolution des productions et des manières de faire vers un marché mondialisé, toujours plus uniformisé, pose la question de l'évolution des produits et de leur standardisation. Dans l'industrie, ce processus pousse les acteurs à délocaliser les productions et à faire disparaître les « niches productives ». Deux stratégies de réponse à l'offre se matérialisent : la recherche de la réduction des coûts à l'échelle mondiale (qui peut se traduire par

11. C.f. les bans de vendanges en Savoie (MESSIEZ 2002) ou édit sur la plantation en Touraine (MAILLARD 1992).

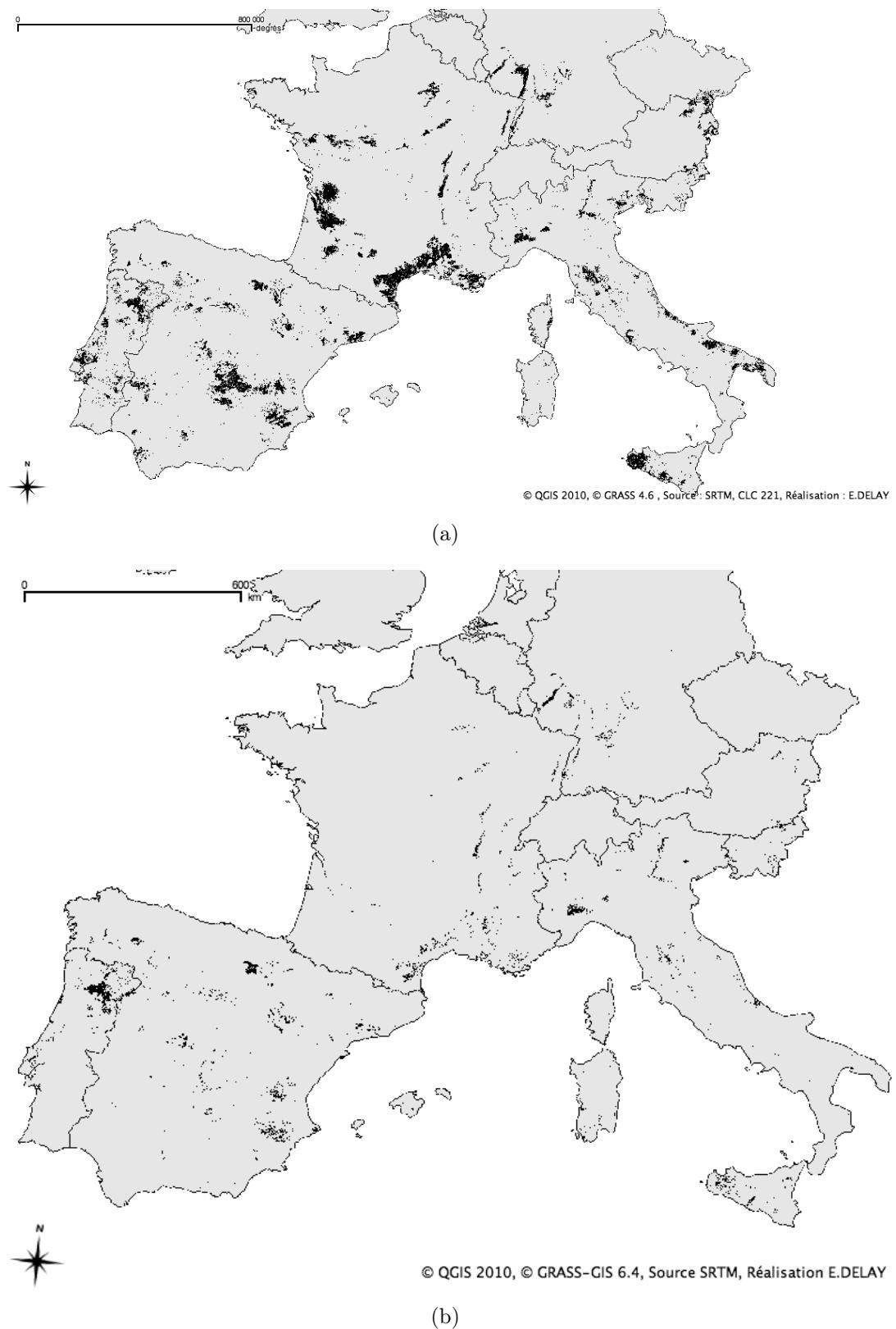


FIGURE 1.7 – La répartition des surfaces viticoles mondiales en Europe selon Corine-Land-Cover (2006). La carte (a) situe les zones viticoles européennes, et la carte (b) localise les surfaces viticoles qui répondent aux critères du CERVIM

une délocalisation de la production), et une forte distinction vis-à-vis de la concurrence (PECQUEUR 2001).

La distinction entre vin de cépage et vin de terroir prend sa source dans cette dualité déjà relevée par BARTOLI (1989), sous le vocable « vin de terroir » et « vin industriel ». En effet, nous pouvons aujourd’hui proposer un vin de bonne qualité, séduisant pour le consommateur, et issu d’assemblages de diverses zones (parfois très éloignées). Le but est de réduire les coûts tout en offrant au consommateur un vin facile, standardisé et donc identifiable (PITTE 2000).

Les vins de terroir, quant à eux, s’inscrivent dans une dynamique plus orientée vers une forte distinction vis-à-vis du marché. C’est sur ce point que la filière viticole européenne a largement investi depuis les premières démarches d’encadrement de la production¹² jusqu’à la création et la reconnaissance des Appellations d’Origine (AOC, AOP, IGP, etc.) par les différents pays¹³ et plus récemment par l’Europe avec les grandes réformes autour de l’OCM¹⁴, sur lesquelles nous reviendrons.

Dans cette production globalisée, l’Europe en tant que zone historique de culture des cépages *vitis-vinifera* conserve une certaine prépondérance sur le marché du vin, bien que sa production soit aujourd’hui concurrencée par des pays d’Asie, au premier rang desquels se trouve la Chine, ou par l’Amérique du Nord (fig. 1.8). La production européenne (France, Italie et Espagne en tête) s’est largement tournée vers la production de vins de terroir tandis que les « nouveaux pays producteurs » s’orientent généralement vers des vins de cépage (HINNEWINKEL et VELASCO-GRACIET 2005).

Par ailleurs, le vin est considéré comme une culture peuplante (nécessitant une main d’œuvre localisée sur des territoires généralement ruraux), notamment sur les territoires en monoculture (HANNIN, COUDERC *et al.* 2010 ; COUDERC *et al.* 2007 ; AYMARD 1973). Cette spécialisation et cette concentration d’une activité agricole stimulent la diffusion des savoir-faire, mais rendent également le groupe assez imperméable aux facteurs extérieurs (MARSHALL *et al.* 1971).

La vigne est une plante pérenne. Sa grande stabilité dans le temps conduit à une grande résilience des pratiques culturales sur le temps long. Son histoire en Europe en fait une culture effectuée sur de petites surfaces, par un système qui n’a pas pris aussi rapidement que dans d’autres territoires - notamment concernant les collines - le tournant de l’industrialisation. Cette réalité historique rend difficiles la modification des pratiques et l’adaptation au marché.

12. En France on remontera au 14 août 1889 avec la loi « Griffe », qui tente de définir le vin en intégrant la force du lien spatial et temporel avec le produit (HANNIN, COUDERC *et al.* 2010, p.163).

13. En 1935 avec la création du CNAO qui deviendra en 1947 l’INAO (Institut national de l’origine et de la qualité) pour la France, ou 1963 pour la reconnaissance des DOC (Denominazione di Origine Controllata) en Italie.

14. Organisation Commune des Marchés viti-vinicoles en 2008.

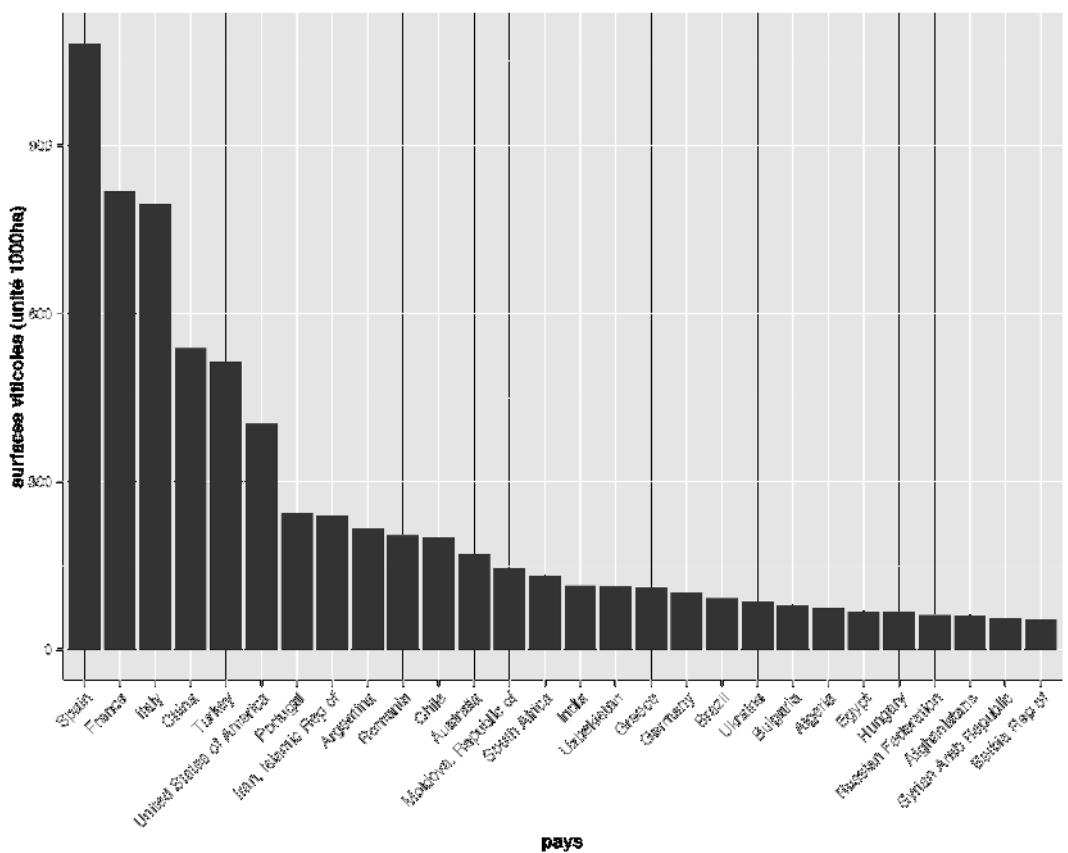


FIGURE 1.8 – La répartition des surfaces viticoles mondiales en 2010 pour les pays avec plus de 50 000 ha de surface viticole (source : OIV)

AYMARD (1973) prendra l'exemple des collines de la province de Novare (Piémont italien), dans lesquelles la structure familiale des exploitations les fait échapper à toute logique économique. La crise phylloxérique qui frappa l'Europe ne permet pas aux États, aussi bien français qu'italien, de prendre des mesures autres qu'à court terme. Les mesures prises provoquent une extension du vignoble « alors même que la reconstruction avec des plans américains et la plantation dans la plaine [...] aggravent la surproduction d'un vin mal adapté aux nouvelles exigences du marché urbain ».

Face à cette surproduction européenne et aux difficultés étatiques d'orientation de la production mentionnées par AYMARD (*ibid.*), l'Europe essaie depuis plusieurs années de mener une action concertée vers une production de qualité. C'est le début de l'organisation commune des marchés viticoles (OCM), dont une première version apparaît en 1970.

L'Europe et son organisation commune des marchés viticoles : 1970-2008

Bien qu'étant une production agricole, la viticulture est peu prise en compte dans les différentes politiques agricoles communes (PAC) qui se sont succédées, et elle dispose d'orientations politiques propres. C'est sans doute le rang de l'Europe viticole parmi les pays producteurs (fig. 1.8) qui explique en partie le traitement de la vigne par Bruxelles. Depuis 1970, cinq vagues distinctes d'OCM (HANNIN, COUDERC *et al.* 2010, p.170) se distinguent.

L'objectif de l'OCM est de proposer un cadre de protection aux viticulteurs intracommunautaires vis-à-vis du marché qui se mondialise. La première OCM (règlement CEE 816 & 817/70) vise à harmoniser les méthodes de reconnaissance des vins à l'échelle européenne, en adaptant pour une large part le système français en droit européen (HANNIN, BRUGIÈRE *et al.* 2010).

Si les productions importées de pays tiers sont taxées, la concurrence des pays communautaires (en particulier les vins en provenance d'Italie) continue d'aggraver la crise de surproduction française.

La deuxième et la troisième OCM tentent de réduire cette surproduction en proposant des mesures de distillation et de réduction des potentiels de production. Pour la première OCM, ces mesures de distillation sont volontaires, et le prix maintenu par l'UE est relativement élevé. Les viticulteurs s'empressent donc de placer le maximum de leur production dans cette mesure, ce qui ne les incite pas à se tourner vers la réduction des volumes et l'augmentation de la qualité. La troisième OCM consiste à ajuster les mesures de la précédente en réduisant le prix proposé à la distillation, reportant sur les États la charge de répartir entre les producteurs, les volumes et les primes à la distillation.

À partir de 1994 et des accords de Marrakech qui entérinent la création de l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC), les États signataires entrent dans une démarche libérale orientée vers une spécialisation des territoires comme levier de croissance à l'échelle mon-

diale. OMC et OCM entrent donc en opposition dans la philosophie qui les anime, dans le sens où la première vise à réduire les barrières douanières et tarifaires tandis que la seconde a pour objectif de protéger le marché communautaire. La quatrième OCM vise donc à entrer en conformité avec l'OMC.

Depuis 2008, nous sommes entrés dans la cinquième OCM¹⁵ qui s'organise de manière logique vers une plus grande libéralisation des échanges, et repense la manière dont les budgets sont distribués sans accroître les contributions des États membres, et ce même si le budget viticole européen est peu important comparé à sa valeur dans la production agricole finale (le budget agricole est surdimensionné sur le plan de l'UE au regard d'autres politiques communes). Cette cinquième OCM correspond à « un changement de logique (aider à s'adapter structurellement à un marché ouvert et compétitif) et conduit à marginaliser la gestion d'excédents »(HANNIN, BRUGIÈRE *et al.* 2010, p.187).

- **Les droits de plantation et d'arrachage :** leur gestion est confiée aux États. Les droits de plantation sont réduits au maximum, puis seront abolis, ce qui veut dire qu'il n'y aura plus de cépages autorisés ou interdits, ni de droits de plantation. Des primes substantielles et dégressives sont données aux vigneronnes qui arrachent leur vigne. La gestion de campagnes d'arrachage est à l'appréciation des États qui peuvent y mettre un terme si les surfaces concernées dépassent 8% des surfaces encépagées totales ou 10% des surfaces encépagées totales d'une région. Les États peuvent également s'opposer à l'arrachage (par la non-allocation des primes) dans les zones de montagne ou pour des raisons environnementales ;
- **Les enveloppes nationales :** cette nouvelle OCM laisse plus de marge de manœuvre aux États pour la gestion de leurs ressources économiques en direction de la filière viticole. Les mesures héritées des anciennes OCM comme la distillation de crise sont maintenues, mais tendent à se réduire. L'objectif est de redéfinir les actions de l'Europe pour limiter son rôle de gestion des excédents de production ;
- **Les droits au paiement unique (DPU) :** pour entrer en conformité avec la PAC, les différentes mesures donnant lieu à différents paiements sont rassemblées sous un seul droit à paiement lié à l'exploitation et non au foncier ;
- **Les organismes de filière :** le rôle des organismes de filière (interprofession) est étendu. Ils peuvent notamment rendre obligatoire la distillation de crise sur de petits volumes. Leur pouvoir ne s'attache plus seulement aux vins d'indication géographique, mais à tous les vins de leur territoire d'action ;
- **Les pratiques œnologiques :** c'est la Commission qui a la charge d'évaluer les nouvelles pratiques œnologiques, ou de modifier celles qui existent, au regard des pratiques admises par l'OIV. Cette dernière devient alors « organisme de référence » pour les nouvelles pratiques.

15. le règlement du Conseil n° 479/2008

Nous l'aurons compris, cette organisation commune des marchés oriente les vignerons et les consommateurs vers une certaine vision de la viticulture, calquée sur le modèle libéral promu par l'OMC, tandis que la construction de ses productions culturelles s'est faite en Europe sur une certaine notion de bien commun.

Bien que certaines mesures soient explicitement prises par l'UE pour maintenir la viticulture de montagne ou de fortes pentes¹⁶, dans sa grande majorité celle-ci est traitée de la même manière que ses consœurs en niant toutes leurs spécificités.

Cette construction de la législation viticole européenne change donc les équilibres nationaux qui avaient été trouvés jusque-là. Les territoires viticoles sont considérés sur un pied d'égalité, et ils se retrouvent dans une certaine mesure en compétition pour la ressource sans pour autant être véritablement lisibles sur le marché international. Nous allons voir, à travers nos deux territoires d'étude, comment la viticulture de montagne et de fortes pentes s'organise pour surmonter à la fois les contraintes structurales, mais aussi les contraintes sociales, législatives, sociétales, etc.

1.2 Les vignobles de fortes pentes des territoires en situation délicate : les cas du *Val di Cembra* (Italie) et de Banyuls-Sur-Mer (France)

Pour réaliser ce travail, nous nous sommes appuyés sur deux territoires viticoles de fortes pentes en Europe : les vignobles de Banyuls et du *val di Cembra*. Ils se situent respectivement en France et en Italie¹⁷ (c.f. fig 0.1).

La confrontation de deux contextes européens différents nous permet de définir et baliser quelles sont i) les spécificités purement locales qui influencent ces territoires de ii) celles qui sont issues du contexte orographique particulier et enfin iii) celles qui sont propres à la viticulture de manière générale. Dans cette section, nous utilisons pour notre description des territoires l'ontologie proposée sur la figure 1.4. Par la suite, nous reviendrons sur les spécificités liées à la viticulture de montagne et de fortes pentes (partie 1.3) qui nous occuperont plus particulièrement dans la suite de ce travail.

16. Notamment en ce qui concerne l'incitation à l'arrachage ou les droits de plantation. Les états peuvent en effet définir des zones de montagne ou de fortes pentes sur lesquelles les mesures d'arrachage ne sont pas effectives.

17. La France et l'Italie sont respectivement 2^e et 3^e producteurs mondiaux en considérant les surfaces de production.

1.2.1 Le *Val di Cembra*, la marginalité d'une viticulture productiviste

La composante sociale

La zone du *val di Cembra* sur laquelle nous avons travaillé regroupe quatre communes au nord de la province du Trentino (c.f. fig. 1.10(a)), proche de l'*Alto Adige*. Le Trentino fait administrativement partie avec ce dernier des cinq régions autonomes italiennes à statut spécial¹⁸, ce qui lui donne de grandes latitudes de gestion. Dans ce contexte, et ce depuis les années 1970, l'agriculture est largement subventionnée pour faire face à l'exode rural.

Le *val di Cembra* est une vallée glaciaire suspendue au-dessus de la vallée du fleuve Adige dans le Trentino (IT). La vallée de l'Adige est une vallée en augé où se sont accumulés au cours du temps des alluvions fins. Cette richesse du sol est propice à l'agriculture (c.f. fig 1.10(b)), et plus particulièrement à la pomiculture¹⁹ et à la viticulture qui sont les deux productions majeures de la région.

La province est largement marquée par la coopération, il n'est donc pas surprenant de retrouver ce tissu social dans le *val di Cembra*. On retrouve naturellement ce fonctionnement coopératif pour la production viticole avec presque exclusivement deux caves coopératives : la *cantina sociale di Lavis* et la *cantina sociale di Mezzocorona*²⁰. D'un point de vue agricole, nous notons également que la gestion de l'irrigation se fait sous la forme d'une coopérative. La fondation E. MACH grâce à un système en réseau relativement dense de stations météorologiques, et avec l'aide de modèles phénologiques, informe en temps réel les coopératives d'irrigation de la province pour optimiser les apports.

Si les viticulteurs de la vallée doivent effectivement faire face à des conditions structurales difficiles par rapport à celles de la plaine, les surfaces viticoles ont malgré tout augmenté de près de 12% ces 30 dernières années (c.f. fig. 1.9). Nous remarquerons que le *val di Cembra*, bien que représentant une faible part de la production viticole de la province, est souvent mis en avant dans les stratégies de communication, aussi bien celles des coopératives que provinciales.

La composante environnementale

La pente que nous retrouvons dès que nous nous éloignons du lit de l'Adige (c.f. fig. 1.10(a)) oppose donc l'agriculture de fond de vallée (fig. 1.10(b)) à celle des territoires

18. Cette autonomie leur confère des pouvoirs législatifs et économiques étendus. Si les lois provinciales doivent être en conformité avec la Constitution italienne, elles sont capables d'en édicter des particulières. Par ailleurs, une grande partie des impôts prélevés sur le territoire régional sont à usage exclusif de la région

19. Avec la DOP (*Denominazione di Origine Proteggiata mela di val di Non*) des pommes du *val di Non*

20. Nous pourrions ajouter la *Cantina di Trento*, mais le nombre de coopérateurs adhérents y est anecdotique.

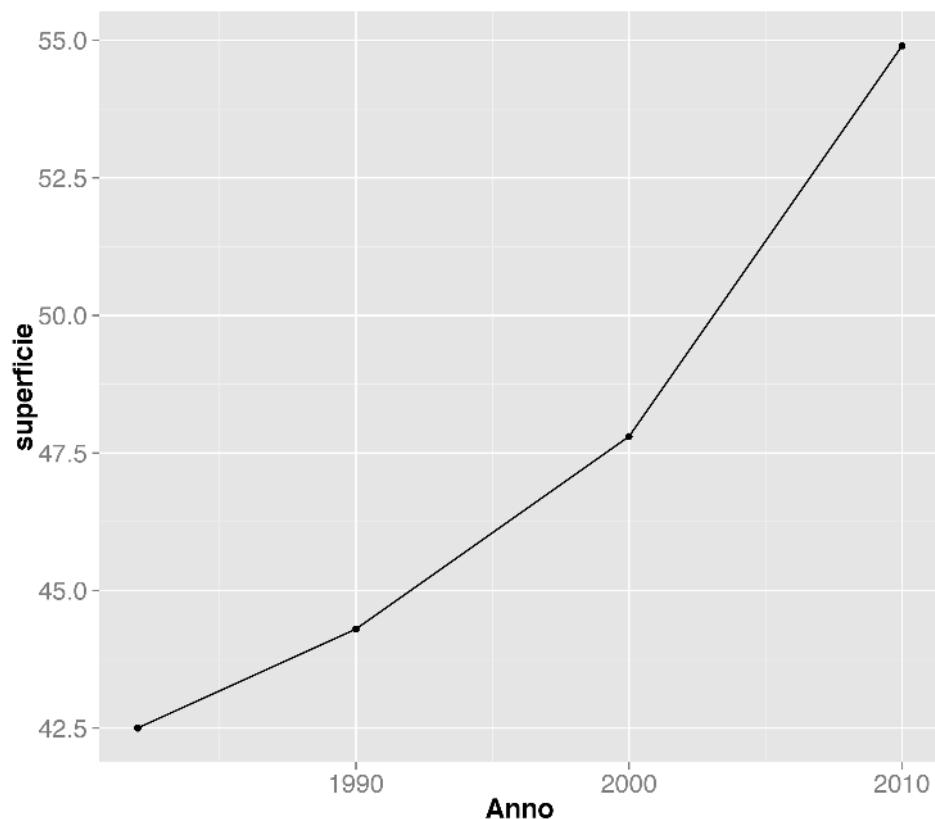


FIGURE 1.9 – Proportion (%) des surfaces cultivées en vigne sur la communauté *val di Cembra* par rapport aux surfaces agricoles entre 1980 et 2010.

plus escarpés comme sur les versants Sud et Sud-Est de la vallée en *V* du *val di Cembra* (fig. 1.11(a)). Pour autant, pour ce dernier, l'agriculture en général et la viticulture en particulier ne sont pas en perte de vitesse. Les surfaces viticoles ont tendance à être stables, voire même à très légèrement augmenter.

Nous avons installé depuis 2012, grâce à l'ANR-JC TERVICLIM²¹, 10 capteurs de température de type *tinytag®* sur des parcelles viticoles de la vallée. Ces capteurs nous permettent d'enregistrer la température toutes les 10 minutes et ainsi de suivre l'évolution de la température à « échelle fine » (c.f. chapitres 5.1 et 5.2). Si, dans un contexte agricole, le climat joue un rôle important, c'est d'autant plus vrai pour nos terrains d'étude, que nous travaillons dans des lieux où, orographie aidant, la température est un indicateur particulièrement intéressant (résultat du climat et de la topographie).

La composante écophysiollogique

Les vignes sont plantées sur de larges terrasses (bien visibles sur la photo 1.11(a)) ou sur un système de banquettes, dans des sols bruns profonds (FALCETTI *et al.* 2007). Elles sont conduites traditionnellement en pergola (c.f. fig. 1.11(b)) (CHEMOLLI *et al.* 2011), ce qui permet le développement d'une large canopée pour alimenter les 80 à 150 hectolitres par hectare de vendange qui sont attendus en fonction du cahier des charges.

La photo 1.11(b) permet de constater qu'un enherbement est maintenu sur le rang et dans les allées du vignoble. En effet, les températures moyennes relativement peu élevées et une pluviométrie étalée dans le temps avec des valeurs élevées pendant la période végétative de la vigne (c.f. fig. 1.12) réduisent la compétition entre les adventices et la vigne. De plus, grâce à un investissement largement subventionné à l'échelle de la province, un système de goutte à goutte est installé dans la plupart des parcelles (le système est visible au pied des vignes sur la photo 1.11(b)).

En suivant le même schéma, nous allons maintenant nous intéresser aux vignobles de la Côte Vermeille située dans les Pyrénées-Orientales aux confins de la France et de l'Espagne.

1.2.2 Les AOC Banyuls et Collioure, un territoire écartelé entre mer et montagne

La composante sociale

Les AOC Banyuls et Collioure sont situées en France dans le département des Pyrénées-Orientales. Les quatre communes qui composent l'AOC sont localisées entre mer et montagne sur les contreforts du Massif des Albères (c.f. fig 1.14(a)) aux confins de la France

21. Site web de l'ANR <http://terviclim.in2p3.fr/>, consulté le 27 décembre 2014.

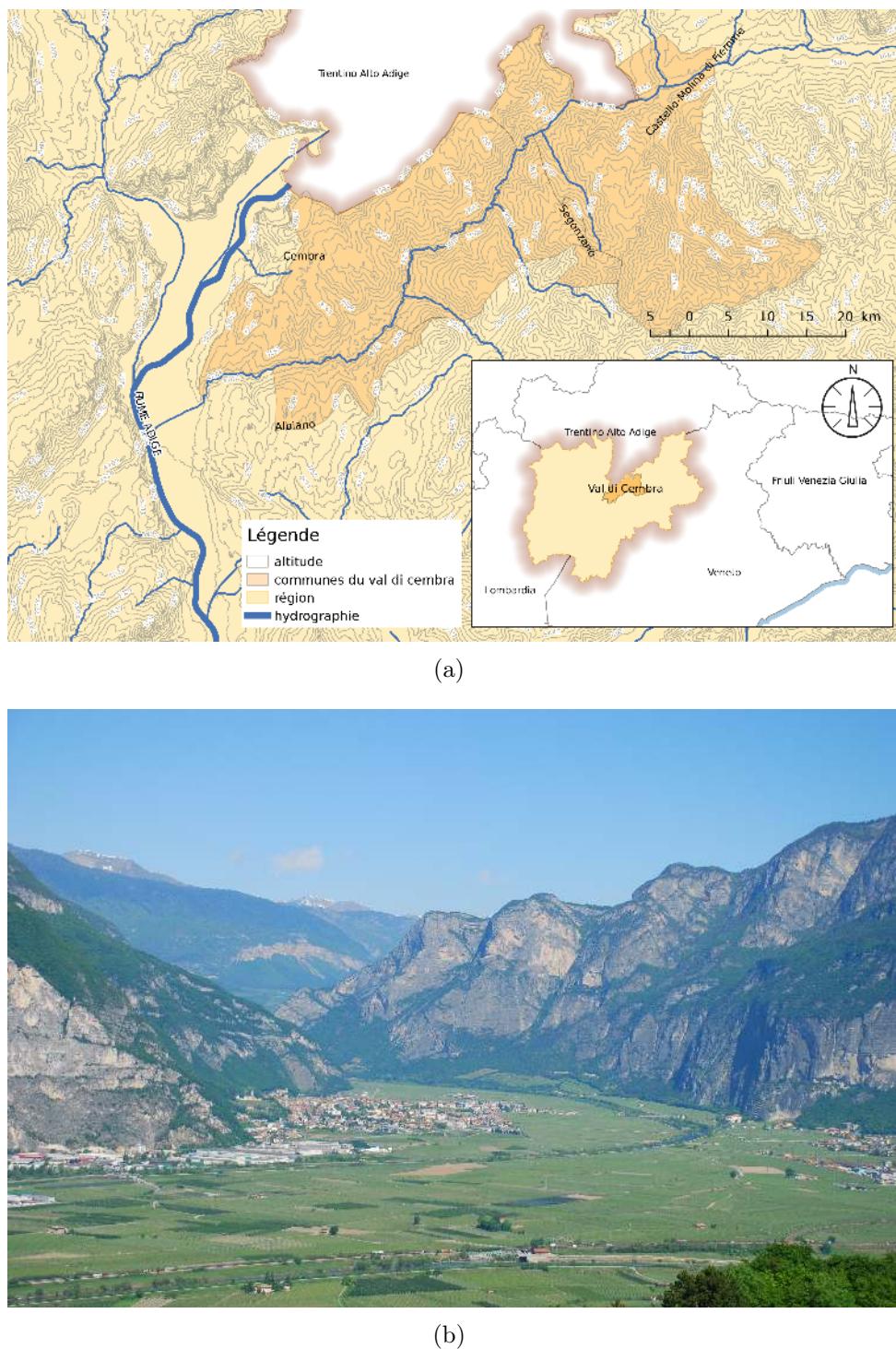


FIGURE 1.10 – La carte de localisation du Val di Cembra (a) permet de se rendre compte de l’orographie de la zone. Photo (b) de la plaine de l’Adige prise depuis les hauteurs de San Michele All Adige. On y voit se développer une agriculture intensive, largement tournée vers la viticulture et la pomiculture.



(a)



(b)

FIGURE 1.11 – La photo (a) présente la disposition du vignoble sur les versants de la vallée en V (commune de Cembra), et la photo (b) illustre le mode de conduite de la vigne en *pergola* dans le val di Cembra, ici sur des banquettes de culture.

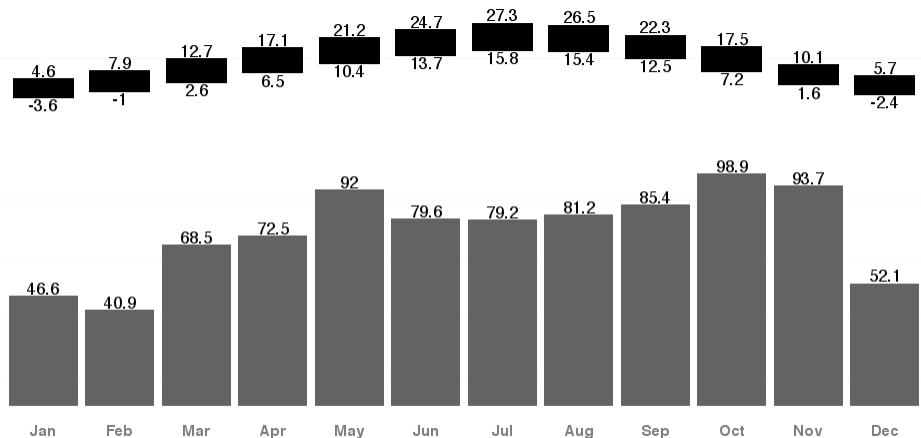


FIGURE 1.12 – Diagramme climatique pour la station de la Fondazion E. MACH à San Michele Al Adige (moyennes de pluviométrie en mm (gris foncé) et de températures minimales/maximales (en °C en gris claire) mensualisées entre 1959 et 2005)

et de l'Espagne sur la Côte Vermeille. La viticulture à l'échelle du département représente 10% des surfaces cultivées²² avec 15 254 hectares. La viticulture des AOC Banyuls Collioure avec ses 1 200 hectares ne représente donc qu'une petite fraction de l'activité agricole de la zone.

Malgré tout, rapporté à l'échelle des AOC, le paysage productif agricole est largement tourné vers la monoculture de vigne, ce qui façonne largement les paysages de la zone.

Les difficultés structurales auxquelles doivent faire face les viticulteurs et le contexte historique de ces quatre communes aux confins de la France et la sociologique de la catalogue ont conduit très tôt les viticulteurs à s'organiser en coopératives. Encore aujourd'hui, la structuration sociale donne une très large dominance à ce type d'organisation. Cela a permis de maintenir une viticulture de petite taille²³ (CHIFFOLEAU 1999).

En 2012, la viticulture représentait encore environ 1 500ha²⁴ sur les quatre communes (soit un peu moins de 25% des surfaces communales), entretenu par environ 660 viticulteurs²⁵. Ce modèle d'une viticulture jardinée (BRIFFAUD et DAVASSE 2012) est depuis plusieurs années remis en question. En cause, les transmissions d'exploitations difficiles dans un contexte de population viticole vieillissante et des coûts de production très élevés. Pour revenir sur la transition démographique, celle-ci était très préoccupante en 2005

22. En 2012 d'après le « Registre Parcellaire Graphique 2012 » publié en 2014 par l'Agence de services et de paiement (ASP) sur <https://www.data.gouv.fr>, site consulté le 11 avril 2015.

23. La surface médiane par exploitant en 2013 étant de 0.8ha alors que la surface minimale pour l'installation (SMI) dans les Pyrénées Orientales est de 2.5ha.

24. D'après les données de l'ODG des vignobles de la Côte Vermeille (Organisme de Défense et de Gestion) la viticulture est passée de 1 599ha en 2011 à 1 523ha en 2013, et cette tendance tend à s'accélérer du fait de la pyramide des âges des viticulteurs sur le cru (fig. 1.13).

25. Sur la période 2011-2013, et toujours d'après l'ODG, le nombre de viticulteur en activité est passé de 773 à 657.

(fig. 1.13(a)) avec une très grande proportion du vignoble aux mains de retraité. En 2012 (fig. 1.13(b)), la situation laisse imaginer que la transition est en cours ou s'est réalisée. L'âge des exploitants est toujours élevé, mais est comparable aux dynamiques du département²⁶. Les surfaces viticoles se réduisent au détriment des zones hautes et pentues (le vieux vignoble) qui sont abandonnées au profits des zones basses (c.f. partie 4.1). Ces mêmes zones basses et plates des fonds de vallée sont par ailleurs sensibles aux événements climatiques comme les crues des bassins versants de la Baillaury sur la commune de Banyuls-sur-mer (en 2003 et 2014 pour les plus récents).

La composante environnementale

L'altitude s'élève du niveau de la mer à 988m avec des pentes variant de l'horizontal au vertical. Son climat peut être identifié comme Méditerranéen (CARBONNEAU *et al.* 2007) ou Csa²⁷ selon la classification de Köppen (PEEL *et al.* 2007). Cela se caractérise sur la zone par un volume de précipitations annuelles moyen de 592 mm et une température moyenne annuelle de 13 ° C pour les minimales et 18 ° C pour les maximales (c.f. fig 1.15). À la différence du *val di Cembra*, la période végétative de la vigne est marquée par un gros déficit en eau.

Comme pour le *val di Cembra* depuis 2012, et toujours grâce à l'ANR TERViCLIM, nous avons implanté 11 capteurs de température de type *tinytag®* qui procèdent à des relevés toutes les 10 minutes²⁸ (c.f. chapitre 5.1 et plus particulièrement figure 5.1).

Les sols de l'AOC sont schisteux et très peu profonds. Ils disposent d'une très petite réserve hydrique. Si le manque d'eau a certains avantages, notamment pour limiter la prolifération de parasites cryptogamiques, il est tout de même un facteur limitant pour le développement végétatif de la plante. Les mois de juin à août sont largement déficitaires alors que c'est dans ces périodes que nous relevons les température les plus élevées. Cela conduit traditionnellement les viticulteurs à traquer toute concurrence végétale, ce qui se traduit par un fort désherbage (chimique ou manuel) et confère au paysage cette minéralité emblématique de la viticulture locale (c.f. fig 1.14(b) et 1.14(c)).

La composante écophysiologique

26. Dans les Pyrénées-Orientales d'après l'Agreste, en 2010, 58% des chefs d'exploitations ont entre 40 et 60 ans. Source : http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf_R9112RA02.pdf, site consulté le 23 mars 2015.

27. La classification de Köppen est une méthode de classification des climats mondiaux basée sur les précipitations et les températures. La première lettre correspond au type de climat, la seconde lettre au régime pluviométrique et la dernière aux variations de température. Dans le cas qui nous occupe, nous sommes sous un climat tempéré (C), avec une saison sèche en été (s), et avec une température moyenne du mois le plus chaud supérieure à 22 ° C (a).

28. Nous pouvons avoir un aperçu des données journalisées sur https://elcep.shinyapps.io/shiny_static, une application web basée sur R et développée par nos soins pour les viticulteurs du cru. Site consulté le 28 décembre 2014.

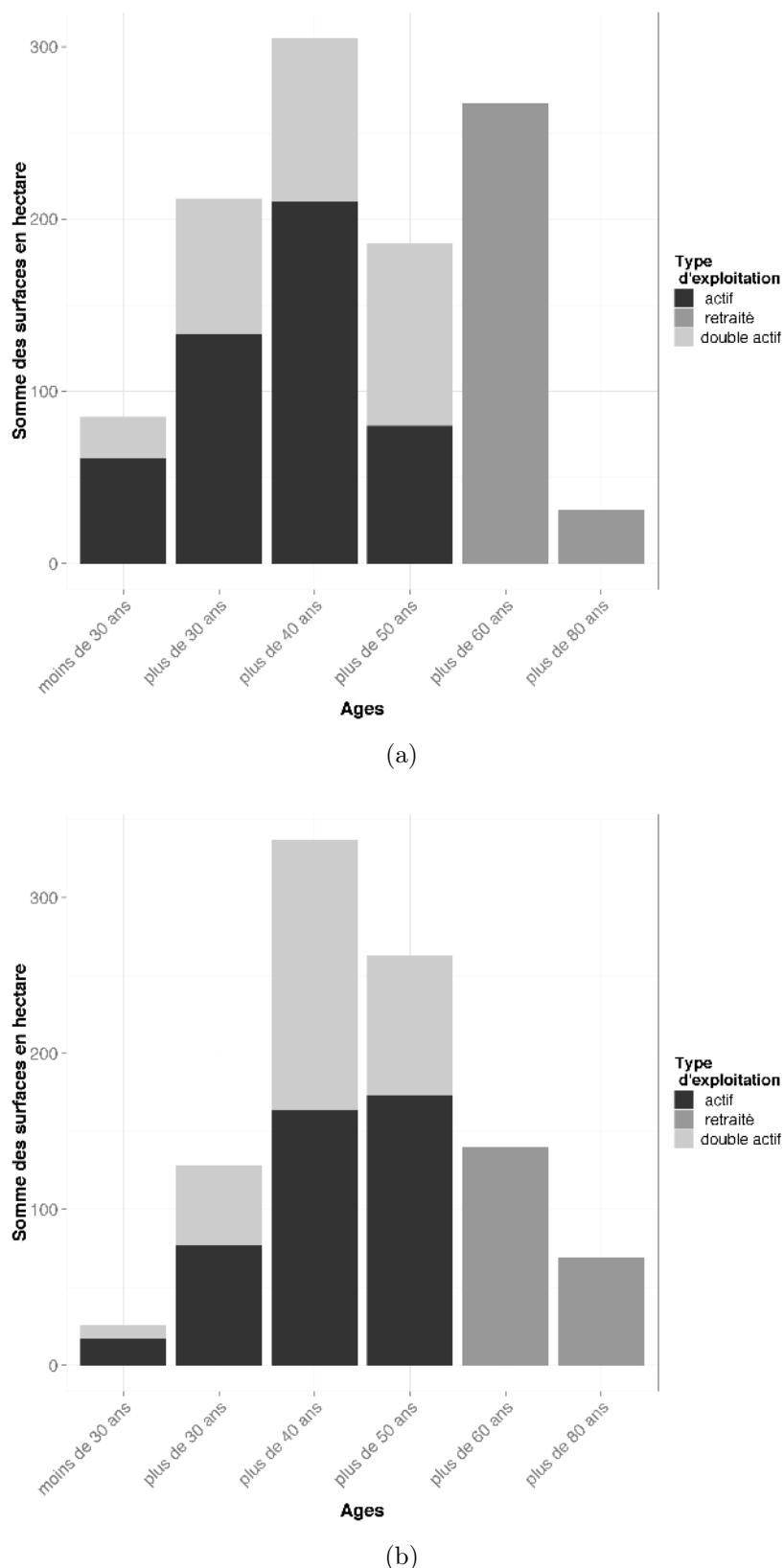
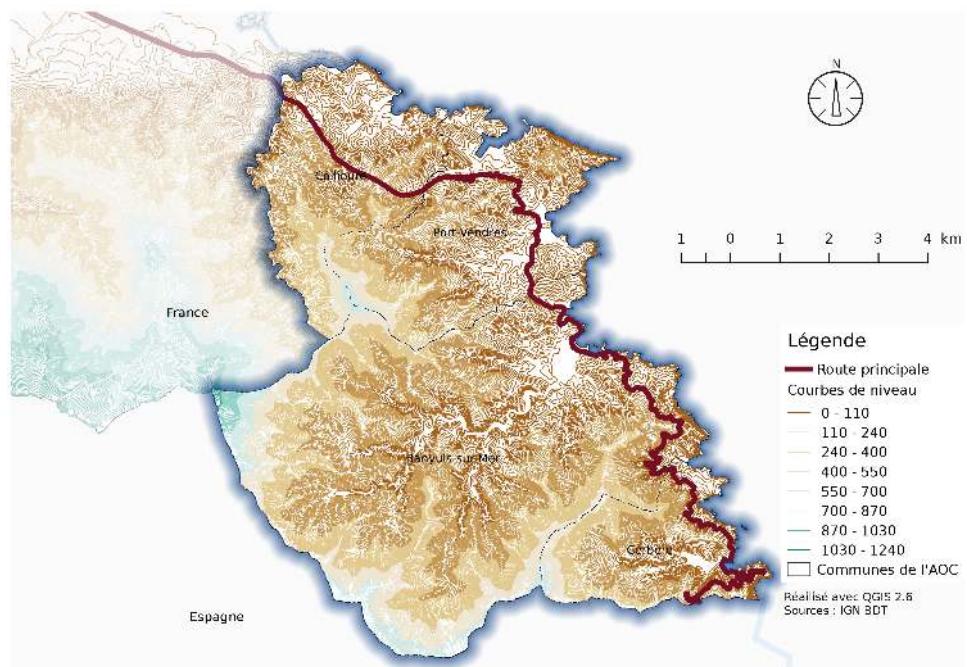


FIGURE 1.13 – Répartition par l'âge des coopérateurs, des surfaces en production au GICB en 2005 (a) et 2012 (b) en fonction du type d'activité principale.



(a)



(b)

(c)

FIGURE 1.14 – La carte de localisation des AOC Banyuls et Collioure (a) permet de se rendre compte de l'orographie de la zone. La photo (b) illustre cette orographie, et la complexité du réseau hydraulique qui lui est associé, enfin la photo (c) montre en détail la taille des terrasses et la configuration des agouilles

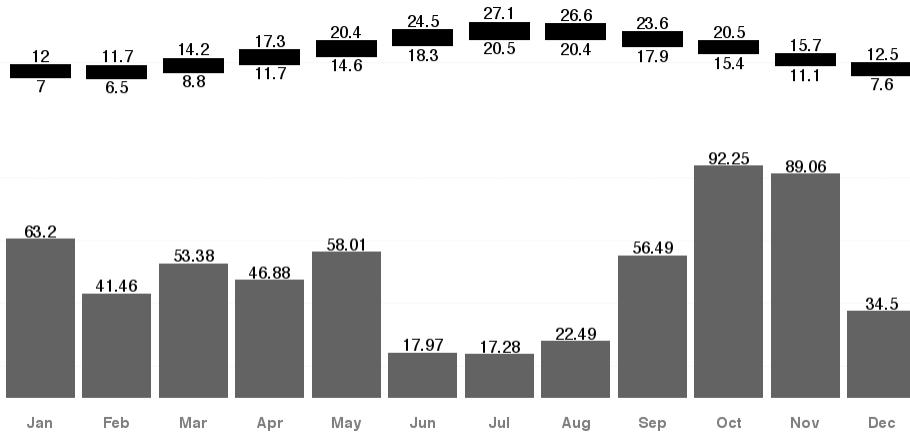


FIGURE 1.15 – Diagramme climatique pour la station météo-france du Cap Béart (moyennes de pluviométrie en mm (gris foncé) et de températures minimales/maximales (en $^{\circ}\text{C}$ en gris claire) mensualisé entre 2004 et 2014)

Trois vins en AOC peuvent être produits sur la zone, le Banyuls et Banyuls grand Cru qui sont des vins doux naturels fortifiés (blanc ou rouge), et le Collioure qui est un vin sec (blanc, rosé et rouge). La vigne est généralement conduite en gobelet et la charge maximale des parcelles est fixée par le cahier des charges AOC à 6 tonnes par hectare pour le Banyuls et 6.5 tonnes par hectare pour le Collioure. Les trois principaux cépages plantés sont : le Grenache Noir (56.2%), le Grenache Gris (19.1%), et le Mourvedre Noir (8.4%).

Si la pression cryptogamique est assez faible sur la zone, la question du désherbage est très complexe. En effet la mécanisation du vignoble est dans plus de 90% des cas inenvisageable pour deux raisons :

- La pente qui rend difficile la mécanisation est accompagnée d'un réseau complexe d'ouvrages hydrauliques servant à évacuer l'eau en évitant le ravinement des sols déjà peu profonds (c.f. fig. 1.14(b)) ;
- Le système de micro terrasse qui participe à limiter l'érosion et à maintenir le sol est façonné pour optimiser la moindre petite partie de terre et la rendre cultivable, ce qui amène les terrasses à ne représenter que de petites surfaces (c.f. fig. 1.14(c)).

Cette première confrontation des deux territoires d'étude en suivant le plan de l'alignement ontologique nous a permis de dresser un premier panorama des spécificités locales au regard des composants des concepts de terroir et territoire. Nous allons ensuite revenir sur chacun de ces territoires pour en souligner les spécificités. Cela nous aidera, dans les chapitres suivants, à comprendre les choix en terme de formalisme et de processus représentés.

1.3 Questionner les spécificités de la viticulture de montagne et de fortes pentes

Les sections 1.1 et 1.2 nous ont amenés à construire respectivement le contexte scientifique et le contexte géographique de la viticulture de fortes pentes au travers du prisme des AOC Banyuls - Collioure et du *val di Cembra*. Nous reviendrons sur ces territoires pour les confronter à notre cadre conceptuel. Ce retour est également l'occasion d'intégrer les interrogations qui nous sont apparues au contact des lieux et des populations interrogées. Nous accentuerons dans cette partie les enjeux qui semblent émerger des territoires. Ils s'attacheront à quatre contextes différents :

- la pente dans les pratiques viticoles entre attraction et répulsion ;
- la pente considérée comme construit social et en tant que facteur de dynamique spatiale ;
- la coopération viticole, une place prépondérante dans la structuration territoriale ;
- l'adaptation des pratiques individuelles et collectives en contexte viticole.

1.3.1 La pente dans la construction de la qualité

Aborder la notion de pente en territoire viticole peut se révéler être un objet d'une grande complexité. Si, d'un point de vue factuel elle est facilement identifiable, elle engendrera des représentations et des configurations spatiales parfois contradictoires selon que nous nous placions du côté de la recherche de qualité à petite échelle ou que nous nous attachions plutôt aux comportements individuels qu'elle va contribuer à mobiliser.

1.3.1.1 La pente et son rôle dans la construction sociale du vignoble de qualité

Que nous adoptions une vision plutôt vidalienne et proche des agro-terroirs, ou une vision plus globalisante comme celle proposée par O. DE SERRES et R. DION, la pente conserve sa place en tant qu'élément fondamental dans la construction des paysages viticoles. En introduisant la notion de qualité des vins, nous introduisons de fait la distinction opérée par DION (1952) entre la viticulture de qualité « bourgeoise » et la viticulture « paysanne ». Cette distinction issue de l'analyse historique des dynamiques du vignoble nous amène à voir la viticulture comme l'objet d'une lutte (de classes) dans laquelle le protagoniste cherche à légitimer ses pratiques par rapport à celles des autres.

Les pouvoirs publics se sont de longue date préoccupés de la viticulture. On retrouve dans ces préoccupations des questions d'autosuffisance. La vigne étant une culture généralement plus rémunératrice que les céréales, elle aura tendance dans l'histoire à abandonner les terres de coteaux peu fertiles (MESSIEZ 2002) pour descendre dans les plaines et concur-

rencer les cultures vivrières. L’édiction des bans de vendange²⁹ en Savoie, ou les mesures prises au XVIII^e siècle en Tournaine (Val de Loire) par les intendants du roi, convergent vers cette nécessité de limiter la surproduction viticole, en interdisant de cultiver la vigne en plaine, afin de garantir l’autosuffisance alimentaire des territoires.

Plus récemment, nous pouvons identifier deux tendances fortes de la viticulture. D’un côté nous pourrons souligner le travail de structuration et de protection des zones viticoles de qualité (une qualité largement inscrite sur le temps long). Nous pouvons considérer la création des AOC, DOC et plus récemment IGP comme une consécration de ces dynamiques locales en France et en Europe au XX^e siècle qui vise, toujours dans un mouvement de ségrégation spatiale, à favoriser certaines zones en excluant celles qui sont considérées comme moins légitimes³⁰, car incapables de présenter la profondeur historique nécessaire à sa reconnaissance. Le processus de ségrégation par les appellations ambitionnait l’exclusion de zones de viticulture de masse héritées au XIX^e siècle issues de la révolution industrielle et du besoin des « vins de peine »³¹ qui se devait d’abreuver les classes laborieuses.

De l’autre côté, parallèlement à ces mesures de protection, la filière entrait dans la mondialisation des échanges, et les viticulteurs ont continué à faire face à des crises de surproduction. Cependant la globalisation n’est pas la mondialisation (PECQUEUR 2006). Ce mouvement général a conduit à l’émergence de zones renommées de qualité (AOC-IGP), opérant, *de-facto* une ségrégation sur les zones qui ne pouvaient pas prouver leur qualité pour bénéficier de cette reconnaissance. Une seconde stratégie s’est construite en négation de la démarche de reconnaissance d’appellation d’origine, orientée sur les vins de marque et les cépages. Issue de la globalisation des échanges, elle opère une simplification de la lecture et de la compréhension des consommateurs. Les vins de marque ou de cépages n’ont pas besoin de justification géographique (et donc d’avoir recours au terroir) pour exister (LAVAUD *et al.* 2010). L’abstraction de l’espace participe donc à une optimisation des coûts qui permet de vendre des produits de manière décorrélée du lieu de production. Ces mécanismes d’optimisation conduisent les territoires vers un processus d’« inversion de terroir » décrit par FAUCON et RIEUTORT (2010) qui consiste en un abandon de coteaux pour « glisser dans les plaines » (*ibid.*).

Les désaccords qui opposaient le monde viticole, s’ils n’ont pas changé de nature, ont

29. Au XVI^e siècle, le duc de Savoie Emmanuel Philibert instaure par édit une mesure visant à favoriser la récolte des raisins de qualité (MESSIEZ 2002) et à limiter l’extension de la vigne sur les terrains de plaine.

30. Nous revenons sur ces questions dans le chapitre 3

31. Au tournant de la révolution industrielle, la demande ayant du mal à être assouvie par l’offre, il y a eu une vraie rupture dans les pratiques de production. Le secteur viticole français largement influencé par les autres secteurs de la filière agroalimentaire s’est mis à produire du vin à la manière des brasseurs de bière (AIGRAIN 2011) « on va chercher des sultane en Grèce ou en Turquie, on rajoute de l’eau, on ajoute de l’acide, on agite bien fort et on sert bien frais [...] ce sont les élaborateurs de vins qui font [alors] le vin à partir d’une matière première qui est le raisin »

changé d'origine et nous pourrions presque parler d'une inversion ; les productions localisées mobilisant dans l'imaginaire plus facilement une petite viticulture (appartenant au monde paysan de R. Dion), face à une viticulture industrialisée des marques. Si la réalité est bien sûr plus complexe, avec une industrie et un monde coopératifs jouant sur les deux registres, nous pouvons néanmoins souligner cette tendance qui pousse les zones de qualité vers une gestion et une organisation de la ressource de manière concertée (HINNEWINKEL 2007).

1.3.1.2 Les questions autour des échelles de réflexion

Cette lutte autour de la qualité des vins se livre à plusieurs échelles spatiales : intercontinentale (nouveaux pays producteurs contre vieux pays producteurs), internationale avec les tentatives protectionnistes des productions nationales (par exemple, les vins produits en France contre les vins produits en Italie), lutte qui se retrouve au niveau régional avec des distinctions entre les vins de Bourgogne contre les vins de Bordeaux, mais aussi jouant sur la renommée des AOC/IGP à l'intérieur des régions. À chacun de ces niveaux se retrouve l'objectif de valorisation de la rente de production (*ibid.*) en jouant sur la valeur économique par hiérarchisation.

HINNEWINKEL (*ibid.*) propose de schématiser le terroir comme un système complexe constitué de quatre composants en interactions (fig. 1.16), et nous permet également de penser les processus en œuvre dans une différenciation hiérarchique à toutes ces échelles. Le terroir est inscrit spatialement dans un « milieu original ». Ce milieu est valorisé collectivement et participe à l'identité. C'est cette identité locale, fruit de l'interaction avec le milieu, qui participe à sa valorisation. C'est au niveau de la valorisation que s'opère le changement d'échelle, et que le marché peut se trouver déporté bien loin des considérations locales. Cette valorisation est donc complètement déterminée par les interactions économiques qui entrent en jeu et elle participe à la hiérarchisation des produits à une échelle dépassant largement les contours de l'espace géographique de départ.

Le schéma proposé par HINNEWINKEL (*ibid.*) sur la figure 1.16 identifie les ingrédients nécessaires à la construction du terroir et d'une viticulture de qualité. Or quand nous parlons de viticulture de qualité, nous cherchons à lui donner une large portée. Les appellations d'origine ont participé largement à cette dynamique afin de donner une lisibilité et une visibilité des territoires qui les portent. Mais comme nous l'avons déjà évoqué précédemment à la suite de COUDERC *et al.* (2007) et HANNIN, COUDERC *et al.* (2010), nous constatons petit à petit un repli du protectionnisme aux échelles nationales (AOC, DOC) puis dernièrement à l'échelle européenne (AOP, IGP) (c.f. part 1.1.3).

« *Le local a cessé d'être protégé par les instances nationales ou régionales : il est désormais en prise directe sur lui* » (CLAVAL 2003)

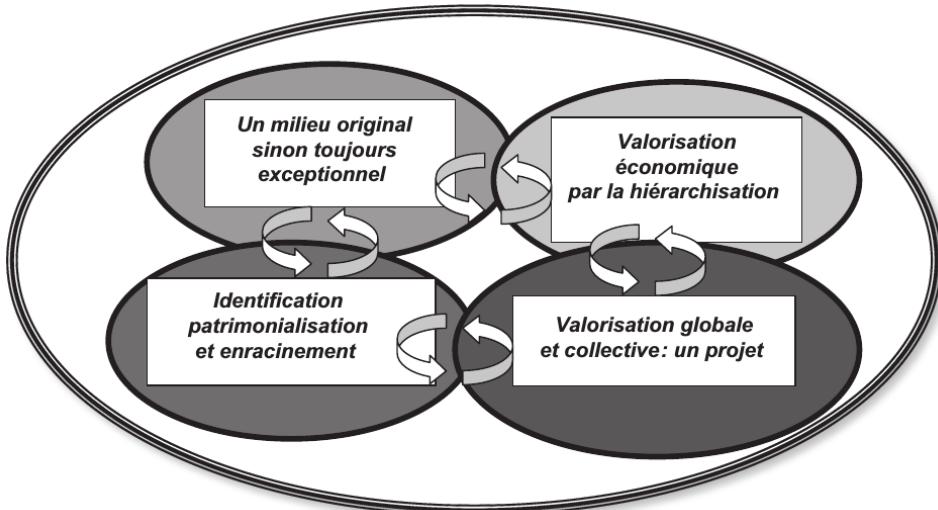


FIGURE 1.16 – Le terroir un objet géographique complexe (issu de HINNEWINKEL (2007))

Cette mise en contact directe qu'évoque CLAVAL (*ibid.*) oblige le système à évoluer et innover. Si le processus de spéciation³² des zones viticoles peut être pensé aux différentes échelles, la question des implications de la pente et de la montagne sur la production viticole doit aussi être pensée à différentes échelles (c.f. chap. 3). Pour cela nous proposons d'utiliser la notion que remet au goût du jour BECATTINI (1992) :

« le district industriel est une entité socio-territoriale caractérisée par la présence active d'une communauté de personnes et d'une population d'entreprises dans un espace géographique et historique donné. Dans le district [...] il tend à y avoir osmose parfaite entre communauté locale et entreprise ».

Ce qui autorise MUCHNIK et SAINTE-MARIE (2010), en s'appuyant sur TORRE *et al.* (2003) et ALLAIRE (2002), à considérer l'espace local comme construisant ou reconstruisant un rôle important dans l'élaboration de la qualité. Le concept de Système Agroalimentaire Localisé (SYAL) émerge dans les années 2000 (MUCHNIK et SAINTE-MARIE 2010) pour proposer une traduction du concept de district industriel (très largement adapté au monde industriel) en y introduisant des spécifications propres au contexte de production agricole.

Les SYAL « désignent des organisations de productions et de services (unité d'exploitation agricole, entreprise agroalimentaire, entreprise commerciale, entreprise de restauration, etc.) associées par leurs caractéristiques et leurs fonctionnements à un territoire spécifique. Le milieu, les produits, les hommes, leurs institutions, leurs savoir-faire, leurs comportements alimentaires, leurs

32. Nous employons un terme qui est généralement utilisé dans un contexte de biologie évolutive à dessin. Il nous apparaît ici que les territoires sont également soumis à des logiques de spécialisation.

réseaux de relation se combinent dans un territoire pour produire une forme d'organisation agroalimentaire à une échelle spatiale donnée » (MUCHNIK et SAINTE-MARIE 2010, p.12)

Ce cadre nous aide à penser la structuration de nos deux territoires d'étude. En effet, dans le contexte de la Côte Vermeille, le territoire agricole dédié à la production viticole est largement prédominant. De même, il faut souligner la prédominance de la viticulture coopérative sur les quatre communes. Les outils de production (vigne, comme bâtiments de vinifications) sont situés sur les quatre communes, ce qui accentue l'« unité » socio-économique et paysagère qu'on peut ressentir sur le territoire. Pour les résidants permanents, le vignoble occupe une place patrimoniale. Pour les touristes ou les habitants saisonniers, cette activité agricole est moins visible (pour ne pas la nier). Le centre de leurs préoccupations est généralement plus orienté sur la côte, ou en direction de l'Espagne. Dans les deux cas, les voies d'accès, soit par la route des côtes, soit sur l'intérieur de terre, limite leurs exposition au paysage. Paradoxalement, le territoire bénéficie d'une reconnaissance de qualité au travers des différentes productions viticoles sous AOC, lui donnant une certaine visibilité face aux consommateurs.

Pour le *val di Cembra*, s'il y a quelques vignerons-vinificateurs sur le territoire, la très grande majorité des viticulteurs livre leurs vendanges à l'une des coopératives à proximité. Bien que la Cantina Sociale di Lavis dispose des anciens locaux de la cantina sociale di Cembra (rachetés dans les années 1995), les véritables bâtiments de vinification se situent dans la vallée de l'Adige (c.f. fig. 1.10(a)). Par ailleurs, si la vigne est très présente dans l'imaginaire des habitants de la vallée (comme dans ceux des habitants de la province³³), le territoire ne dispose pas d'un capital touristique aussi puissant que l'AOC Banyuls-Collioure. Malgré cela, un certain nombre de touristes passe sur le territoire pour se rendre, depuis la vallée de l'Adige, dans les stations de ski renommées du val di Fiemme³⁴.

Nous remarquons donc rapidement que si le territoire de l'AOC Banyuls-Collioure est constitué d'une certaine unité, le *val di Cembra* lui est un territoire large qui, du point de vue des SYAL, ne se suffit pas à lui-même, car les entreprises et les points de vente de la filière viticole se situent hors du territoire. Toutefois, dans les deux cas, le territoire de production est largement mis en avant, « c'est le territoire lui-même qui est vendu, c'est lui qui constitue l'offre composite » (PECQUEUR 2006).

Nous percevons maintenant la manière dont nos deux territoires ont mobilisé (ou non) la contrainte orographique dans la construction de la notion de qualité perçue depuis l'extérieur. Nous allons particulièrement nous intéresser à l'implication des pentes sur les dynamiques sociales du territoire.

33. Le *val di Cembra* étant cité en exemple de paysage emblématique de la province

34. Stations qui ont par exemple accueilli en 2003 et 2013 la coupe du monde de ski nordique

1.3.2 Les paysages viticoles de pente : émergences sociales

Pour travailler sur ces paysages, et toujours d'après SMITH et MARK (2003), nous nous situons à l'interface entre un objet produit par les temps géologiques, fruit d'une lente évolution, et un objet « délibérément *designé* ». Pour en cultiver les versants, les hommes en ont savamment modifié et restructuré les comportements initiaux en y construisant des terrasses ou banquettes de culture (AMBROISE *et al.* 1993 ; LARCENA 2012).

La culture en terrasses a un impact sur les processus hydrologiques et les caractéristiques géologiques (GROVE et RACKHAM 2003). Les terrasses sont généralement utilisées pour pouvoir retenir plus d'eau dans des sols plus profonds, tout en réduisant par la même occasion l'érosion par écoulement (GARCÍA-RUIZ et LANA-RENAULT 2011 ; COTS-FOLCH *et al.* 2006). De plus, elles améliorent les conditions de travail des agriculteurs en offrant par défaut de travailler sur une pente atténuée et, dans le meilleur des cas, une possibilité de mécanisation (TAROLLI *et al.* 2014).

Ce type d'ouvrage est bien connu dans le bassin Méditerranéen (ALCARAZ 1999 ; DUNJÓ *et al.* 2003 ; TRISCHITTA 2005), et représente un héritage patrimonial important en Europe (VAROTTO 2008), mais n'est pas propre aux paysages européens. Il est possible de retrouver également ce type d'infrastructures en Afrique, en Amérique latine, ou encore en Chine (TAROLLI *et al.* 2014). Sur notre continent, l'industrialisation de l'agriculture et de la viticulture a favorisé l'abandon d'un grand nombre d'espaces ruraux (WEISSTEINER *et al.* 2011), au premier rang desquels les territoires de terrasses (CONSTANS 2010).

Or les paysages viticoles sont pourvoyeurs de capital culturel, environnemental, social et économique. Ils peuvent donc être considérés comme vecteurs de développement territorial (DÉRIOZ 2004 ; ROCHARD et HERBIN 2006). Toutefois, pour cela, encore faut-il arriver à capter et mobiliser cette ressource territorialisée (DOUENCE 2009).

1.3.2.1 Les AOC Banyuls et Collioure en défaut de visibilité

Le paysage du vignoble historique des AOC Banyuls et Collioure en étant « le fruit en totalité de l'aménagement hydraulique et anti-érosion » (ROUVELLAC 2013, p.141) propose aux observateurs un paysage unique marqué par les micros-terrasses et les *agouilles*³⁵. Assez paradoxalement, ce paysage d'exception qui pourrait servir de support de communication comme c'est le cas dans d'autres vignobles de pente (MESSIEZ 2002 ; DOUENCE 2009), est peu utilisé dans le marketing des bouteilles. On lui préfère volontiers des visuels issus de la peinture et du fauvisme dont Collioure est un haut lieu au XIX^e siècle.

Si le paysage n'est pas ou peu sur les étiquettes, il est dans les bouches et les esprits des viticulteurs mais aussi dans la communication qui est faite autour des produits. La

35. Ces aménagements hydrauliques également appelés *peus de gall* que nous voyons sur la photo 1.14(c)

visite du Cellier des Templiers³⁶ à Banyuls-sur-Mer, ferait même remonter le début de la construction de ces paysages au temps des templiers au Moyen Âge ce qui reste aujourd’hui douteux (ROUVELLAC 2013).

Le vignoble qui historiquement se jetait dans la mer (c.f. fig. 1.17(a)) a été repoussé dans l’arrière pays (fig. 1.17(b)), ce qui réduit le temps de contact du touriste de masse avec le paysage viticole. Si un petit train touristique emmène les vacanciers dans les terres, les occasions de découvrir le paysage viticole sont très limitées. De même, il est assez rare de croiser des randonneurs malgré l’existence du GR10³⁷.

Sur la Côte Vermeille le patrimoine paysager semble donc faire défaut aux touristes balnéaires, alors qu’il est mobilisé voire sur-mobilisé quand ces derniers entrent dans une cave. Pour illustrer ce propos, lors d’une réunion du syndicat des vignerons au Mas Reig en 2012, la responsable de l’office de tourisme se plaignait du manque d’informations qu’elle pouvait délivrer. Paradoxalement, l’image de ces paysages est largement utilisée à l’échelle du département³⁸.

1.3.2.2 Le *Val di Cembra* : un emblème sans reconnaissance

Quand nous abordons avec les *Trentini* les questions autour des paysages emblématiques de la viticulture provinciale, il ne faut généralement pas attendre longtemps avant que le *val di Cembra* arrive dans la discussion comme un emblème des paysages viticoles du *Trentino*³⁹. Pour autant ces paysages sont assez peu connus à l’extérieur du Trentino, et ce malgré le fait qu’un grand nombre de touristes passent par le *val di Cembra* pour aller en villégiature dans les stations du *val di Fiemme* et du *val di Fassa*, ou encore qu’un peintre allemand du nom d’Albrecht DÜRER y ait peint quelques aquarelles dans les années 1495⁴⁰ (fig. 1.18).

Pourtant le paysage est hautement patrimonial. On y retrouve sur l’adret les terrasses viticoles et sur l’ubac les carrières d’*oro rosso*⁴¹. L’édification des terrasses qui façonne le paysage (fig. 1.20) et qui remonterait au XVIII^e siècle représente 700km linéaire de mur de pierres sèches (MÄRS 2013). L’effet de ce paysage découpé par les parois verticales des murs de soutènement des terrasses, donne naissance chez l’observateur à une sensation de morcellement et d’éclatement foncier qui se concrétise quand on observe le parcellaire des

36. filière du GICB qui commercialise les vins pour le grand public. La cave de l’abbé Rous étant la marque destinée à la restauration

37. Sentier de grande randonnée ralliant Batère (Pyrénées-Atlantiques) à Banyuls-sur-Mer.

38. Sur la page des vins du Roussillon sur le site des Pyrénées-Orientales. Site consulté le 28 décembre 2014.

39. Nous pouvons même ajouter qu’à l’échelle de la province, le *val di Cembra* constitue l’une des trois communautés où la viticulture occupe la proportion la plus élevée des terres agricoles : <http://www.statweb.provincia.tn.it/indicatoriStrutturaliSubPro/>, site consulté le 2 février 2015

40. Il n’y figure pas explicitement la viticulture, mais se dessine déjà un paysage largement anthropisé.

41. L’or rouge du *val di Cembra* est le Porphyre extrait d’importantes carrières à ciel ouvert visibles en arrière-plan des photos de la figure 1.11. La *Cantina Sociale* de Lavis propose un Trento DOC éponyme.



(a)



(b)

FIGURE 1.17 – Photographies diachroniques sur la plage de Banyuls-sur-Mer. La photo (a) montre l'emprise de la viticulture au début du XIX^e siècle, et au début du XXI^e siècle (b)(Crédit photo : Elodie GILLES)



FIGURE 1.18 – Paysage dans les environs de *Segonzano* dans *Val di Cembra*. Aquarelle peinte par Albrecht DÜRER (1495) et conservée à l’Ashmolean Museum, Oxford

viticulteurs.

Les cépages sur la zone sont le Müller Thurgau⁴² dans les hauteurs de la vallée, tandis que dans les zones plus basses, sont plantés en Chardonnay⁴³ et en Pinot noir⁴⁴.

La viticulture est donc bien présente, hier (fig 1.19) comme aujourd’hui (fig. 1.20), et se développe sans pour autant bénéficier/revendiquer sa propre identité. En effet, les viticulteurs qui sont pour une grande majorité coopérateurs peuvent proposer des raisins dans plusieurs appellations⁴⁵ : DOC Trentino, IGT Dolomiti, etc., mais aucune DOC *val di Cembra* pour l’identifier.

Ces deux territoires sont marginaux au regard de la production de leurs régions respectives. Cette singularité par rapport au contexte régional s’exprime tant du point de vue des surfaces en production que de la structuration sociale de la viticulture autour de la coopération ou encore de celui des formes paysagères produites, permettant de rapprocher sur ces points ces deux territoires éloignés géographiquement.

De même, nous constatons que leurs stratégies d’adaptation divergent au niveau

42. Le Müller Thurgau représente aujourd’hui 2/5 de l’encépagement de la vallée.

43. Le Chardonnay qui entre dans la composition du Trento DOC, un vin effervescent méthode champenoise, occupe près de la moitié de l’encépagement.

44. Le Pinot noir, entre également dans l’élaboration du Trento DOC.

45. La coopérative de Lavis propose malgré tout une marque sous le vocable *Cembra Cantina di montagna*, qui met en avant les productions viticoles de la vallée.

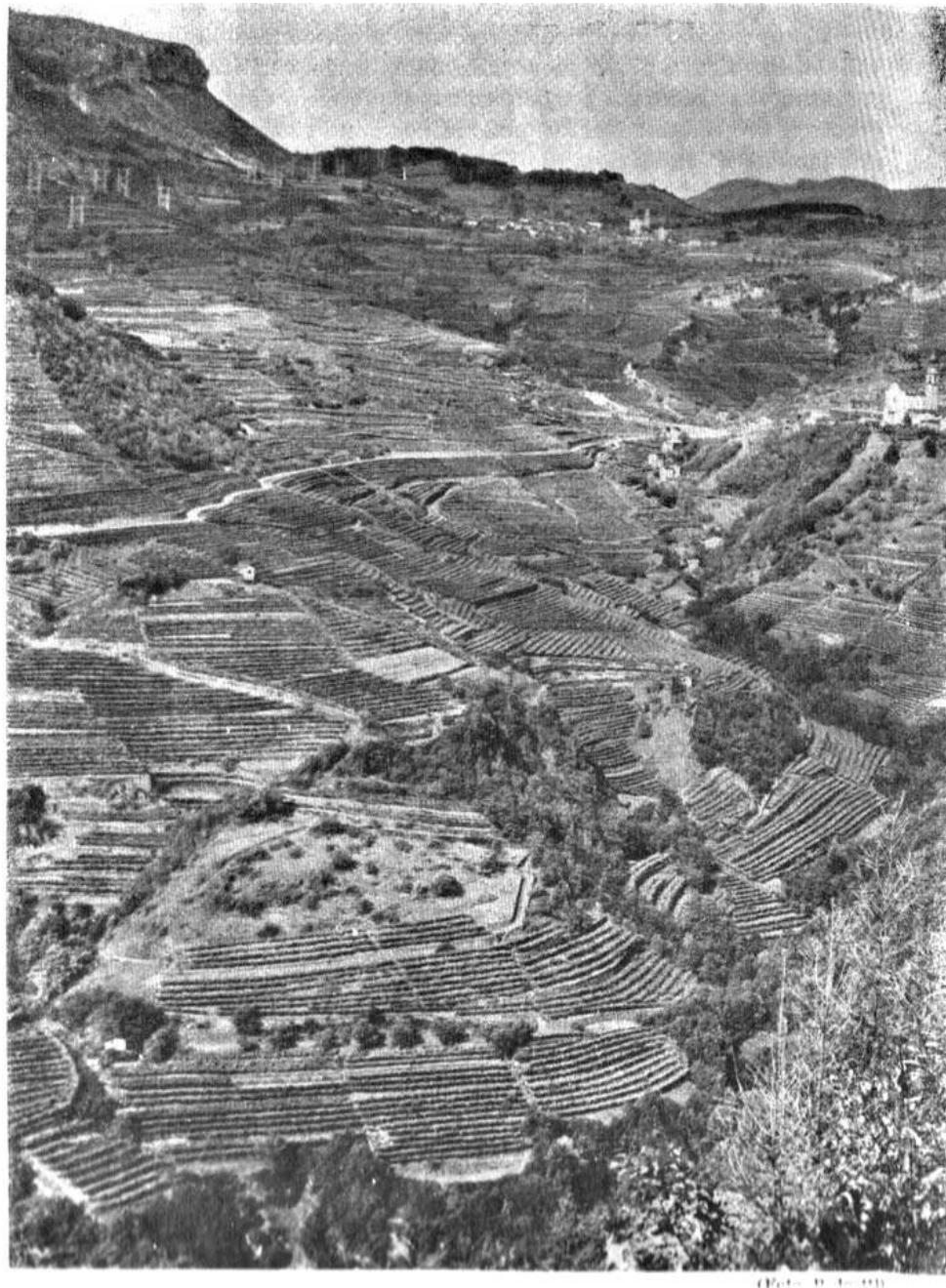


FIGURE 1.19 – Photographie de l'amont du *Val di Cembra* dans les années 1950 (TRENTO 1954, p.55)



FIGURE 1.20 – Photographie de l'amont du *Val di Cembra* en 2013

de l'effort de reconnaissance. Pour la communauté pyrénéenne, la reconnaissance s'est concrétisée par la naissance de l'AOC alors que, pour la communauté italienne, le besoin n'était pas assez fort pour amorcer ce processus. Cela pose une question qui pourrait être fondamentale quant à la tentative d'explication des dynamiques paysagères en place.

Dans le contexte de la Côte Vermeille, la construction de la reconnaissance a débuté très tôt dans l'histoire française des appellations⁴⁶, mais l'âge d'or des AOC sur ce territoire se situe dans les années 1960 (ALCARAZ 1999). Les créations de la plupart des AOC dans la zone se situent donc dans un contexte de crise. Ce qui souligne le recours de la société viticole à l'interprofession pour tenter de redresser la tendance à la réduction des surfaces.

Parallèlement pour les viticulteurs du *val du Cembra*, si la crise se situe également dans les années 1960-1970, elle survient avec la réorientation de l'encépagement vers des cépages aromatiques comme le Chardonnay ou le Müller Thurgau suite à la controverse autour du cépage Schiava⁴⁷ (PATTON 2013). À ce moment, les coopérateurs, largement incités par des aides provinciales, ont réorienté leur production sur le plan spatial comme sur le plan ampélographique. Nous nous sommes donc intéressés aux questions que posent

46. Le site du syndicat interprofessionnel de la Côte Vermeille donne la date de la première reconnaissance pour le Banyuls en 1936, suivi de la reconnaissance du Banyuls grand cru en 1972. Dans la même période, en 1971, 1991, 2003 respectivement suivront les reconnaissances des vins secs Collioure rouge, rosé et enfin blanc. <http://www.vins-cotevermeille.fr/aoc-et-igp#1>, site consulté le 3 février 2015.

47. Le Cépage Schiava, est un cépage autochtone, qui entrait dans l'élaboration d'un vin destiné à l'exportation vers l'Autriche et l'Allemagne, mais a été revendiqué en tant que DOC de la province de Bolzano (province de l'*Alto Adige*)

les choix individuels et collectifs (au sein de structures coopératives) aux dynamiques des paysages viticoles (c.f. chapitre 4 page 187).

1.3.3 La coopération viticole en tant qu'entité agrégée

HANNIN, BRUGIÈRE *et al.* (2010) relèvent que la coopération est un mode de structuration très présent dans le monde viticole, ce qui est particulièrement vrai dans la situation de nos deux territoires où les doubles actifs en particulier et les coopérateurs en général représentent une large part de la production. L'Alliance Coopérative Internationale dans sa déclaration de 1995 définit ce type d'organisation comme « [...] une association autonome de personnes volontairement réunies pour satisfaire leurs aspirations et besoins économiques, sociaux et culturels communs au moyen d'une entreprise dont la propriété est collective et où le pouvoir est exercé démocratiquement ».

Pour AURIAC (2000, p.138), la coopération infléchit les composantes de la structuration des entreprises⁴⁸. En particulier, elle transforme la fonction de production, en la transférant du niveau individuel au niveau collectif, ce qui crée une réciprocité entre adhérents et coopératives. Et à PECQUEUR (2006, §39) d'ajouter :

« Les acteurs se rassemblent par groupe en fonction des problèmes productifs qu'ils ont à résoudre à une échelle mésoéconomique qui n'est ni l'individu ni le tout » .

La coopérative assure donc pour ses adhérents l'assemblage de la production et la mise en commun du produit pour atteindre des marchés inaccessibles aux individus. Lui sont généralement déléguées les fonctions de stockage de la production et de mise en vente du produit. Pour AURIAC (2000, p.109), elle va minimiser l'entropie du « vignoble-système, qui serait maximale si tous les producteurs vinifiaient et commercialisaient individuellement ». Cette notion d'entropie qu'AURIAC (*ibid.*) emprunte à la physique permet de juger du degré d'organisation d'un système. Plus l'entropie est forte, et plus le système est désorganisé. Ainsi la coopérative se positionne comme un élément stabilisant pour le « vignoble-système ».

D'un point de vue géographique, les coopératives sont généralement nées d'un double enjeu : permettre aux populations locales de maintenir des productions de qualité⁴⁹, tout en entrant en concurrence avec des marchés mondialisés par la reconnaissance de cette qualité (J.-F. DRAPERI et TOUZARD 2003). Elle peut donc être considérée comme une réponse des producteurs de raisin à son besoin de stabilité économique pour qu'ils puissent faire face à l'aval de la filière, et notamment au négoce (COOK 1995). La filière viticole,

48. Ces composantes sont définies par BOULET (1973) au nombre de 4 : la fonction production, le décideur, la fonction d'objectif, le patrimoine

49. Généralement territorialisées, ce qui renvoie aux notions de systèmes productifs locaux (POMMIER et BOILÈVE 2002) ou de SYAL (MUCHNIK et SAINTE-MARIE 2010)

quel que soit le pays, est une grande utilisatrice des formes coopérativistes⁵⁰ (c.f. tab. 1.1) (TOUZARD, COELHO *et al.* 2008 ; COUDERC *et al.* 2007).

pays	1er degré	2ème degré	adhérents	C.A. (Million)	Production
France	750	50	90 000	4 300	50
Espagne	720	18	220 000	1 500	60
Italie	550	40	200 000	3 600	55
Grèce	170	25	170 000	100	60
Portugal	118	4	55 000	120	50
Chypre	13	1	10 000	10	35
Tunisie	12	1	1 500	30	75
Malte	1	0	75	1	10
Afrique du S.	56	0	4 000	220	80
Allemagne	220		54 000	750	30
Suisse	26	1	8 000	70	25
Autriche	20		10 000		25
Luxembourg	6	1	400	28	66
Pays-Bas	1	0	11	<1	10
Australie	7	0			1
N. Zélande	0	0	0	0	0
Etats-Unis	12	0	350		1
Canada	2	0			
Argentine	36	1	2 500 (5 000)	190	20
Brésil	26	1	5000	77	25
Chili	3 (+ 3 pisco)	0	460 (+ 2 100)		3
Uruguay	2	0	40	<1	1
Slovénie	6 (10)	0	400	40	40
Croatie	35	1			
Hongrie	32	1	5 200	20	12
Roumanie	0 (10)	0	0	0	0
Rp. Tchèque	1	0			< 1
Bulgarie	30				

Tableau 1.1 – Effectif et importance des coopératives viticoles par pays (estimations 2005-2007)

Pour l'Italie, nous n'avons pas trouvé plus d'informations que celles déjà relevées par

50. Estimations à partir des consultations suivantes : **France** : CCVF, 2006-07 (hors Charente et distilleries) ; **Espagne** : CCAE, FCAC, MAPA, UCAMAN, 2006-07 (CA non consolidé) ; **Italie** : LEGACOOP, AGCI AGRITAL, UNCI et Confcooperative, 2005-2007 ; **Grèce** : KEOSOE, CUWC 2006 ; **Portugal** : FENADEGAS, 2006 ; **Malte** : données entreprises 2006 ; **Chypre** : WPC 2005 ; **Tunisie** : UCCV 2007 ; **Afrique du Sud** : AWBC et SAWIS (« producers cellars » 2007, adhérents estimés à partir données 2002) ; **Allemagne** :DRVW 2007 (incluant coopératives de collecte de raisin) ; **Suisse** : ANCV (incomplet) ; **Autriche** : AWBM (incomplet) ; **Luxembourg** : « Les Vins de Moselle » 2006 ; **Pays-Bas** : presse 2007 ; **Australie** : annuaires entreprises 2007 ; **Nouvelle Zelande** : NZ co-op association ; **USA** : presse et expertises universitaires 2007 (new generation coopératives) ; **Canada** : secretariat des coopératives et Gouvernement 2006 ; **Argentine** : INTA et Fecovita 2007 (5000 apporteurs de raisins) ; **Bresil** :Fecovinho 2006 ; **Chili** : Departamento de cooperativas, Ministère de l'économie 2006 ; **Uruguay** : « Mesa de las Cooperativas Vitivinicolas » 2007 ; **Slovénie** : WBM 2006 ; **Croatie** : CCC (incomplet) ; **Hongrie** : expertise universitaire 2007 ; **Roumanie, République Tchèque et Bulgarie** : Ministères de l'agriculture 2005-2007 (incomplet). Données issues de (TOUZARD, COELHO *et al.* 2008).

TOUZARD, COELHO *et al.* (2008) dans le tableau 1.1, mais pour la France, en croisant des données issues de l'observatoire de la viticulture⁵¹ et de la Confédération des Coopératives Vinicoles de France (CCVF)⁵², nous sommes en mesure d'explorer un peu plus finement le fait coopératif dans le monde viticole.

Les cartes proposées sur la figure 1.21 montrent une nette domination en terme de volumes des départements du pourtour méditerranéen (la région Languedoc Roussillon et en particulier l'Hérault, l'Aude, et le Gard), et des départements proches de l'embouchure de la Garonne (départements de la Gironde, et de la Charente-Maritime) (carte 1.21(a)). La carte 1.21(b) nous permet de constater un certain gradient Nord-Sud en faveur de la coopération quand nous considérons les volumes produits par département, avec une nette démarcation de la région Languedoc Roussillon.

1.3.3.1 La coopération dans les AOC Banyuls - Collioure

Les AOC Banyuls-Collioure dans les Pyrénées-Orientales (c.f. fig. 1.14(a)) ne dérogent pas à cette large tendance dans le Languedoc-Roussillon(c.f. fig 1.22). Aujourd’hui 3 caves coopératives sont en activité sur le territoire : Le GICB⁵³, la cave de l’Étoile, et le Dominicain. Que nous nous intéressions au nombre de viticulteurs (c.f. fig 1.22(a)) ou aux surfaces cultivées (c.f. fig. 1.22(b)) il y a une nette prépondérance du GICB avec 75% de la production et des vinifications.

Il semble que dans la communauté des viticulteurs de la Côte Vermeille le sentiment vis-à-vis du système coopératif soit assez mitigé. Une large proportion de la population viticole, essentiellement composée des doubles actifs et/ou des retraités, constitue une masse silencieuse dont l’intérêt est de produire du raisin par besoin économique ou par passion. Pour cette catégorie, la partie viniculture et vente ne les intéresse que modérément. Une seconde catégorie se dégage, constituée de viticulteurs plus engagés dans les processus collectifs. Parmi ceux-ci, et en ce qui concerne le GICB, depuis quelques années se structure une fronde remettant en question les orientations du conseil d’administration⁵⁴. On trouve enfin une petite proportion de coopérateurs membres ou soutiens du Conseil d’Administration (CA).

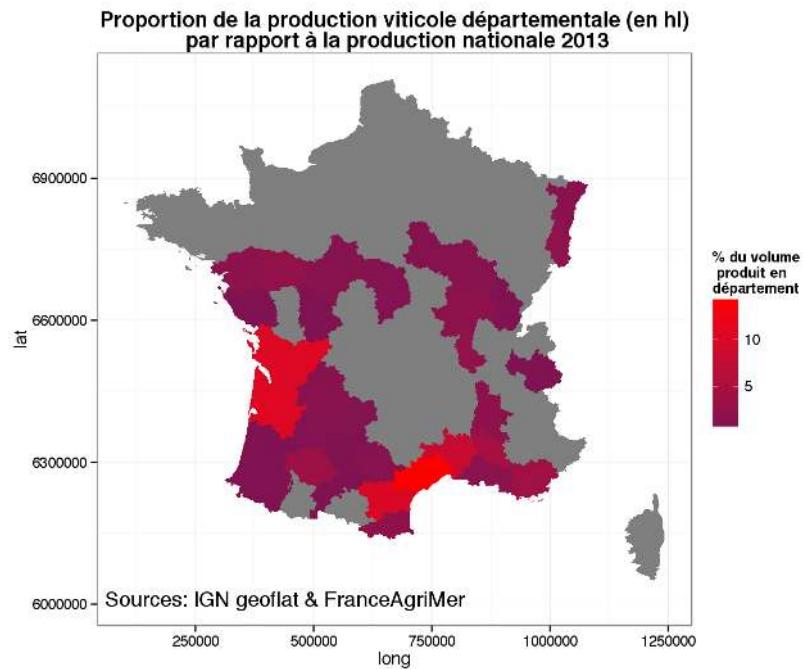
De manière caricaturale, chez les viticulteurs de moins de 50 ans interrogés, la coopération est vécue comme une nécessité leur permettant de survivre quand ils n’ont pas les moyens de passer à une viticulture individualisée. Ce sentiment est à contrebalancer

51. FRANCEAGRIMER et DYOPTA 2014.

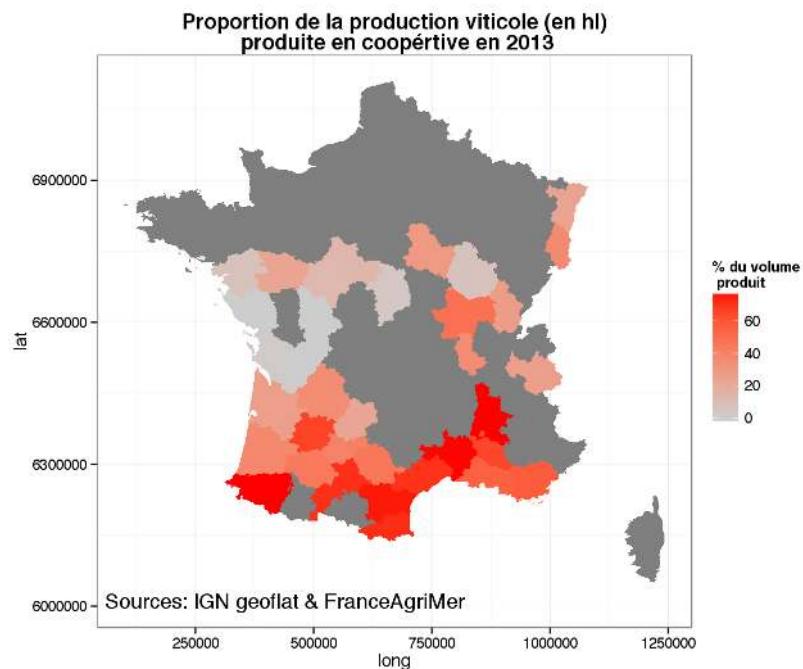
52. COOPÉRATIVES VINICOLES DE FRANCE 2014.

53. Groupement Interproducteurs Collioure Banyuls.

54. Cette fronde s'est durcie quand des informations sur la mauvaise santé économique du GICB ont été révélées aux journaux locaux. c.f. l'article de L'indépendant du 13 juin 2014 titré *Banyuls-sur-Mer : alerte rouge sur les finances du GICB*. http://www.lindependant.fr/2014/06/13/banyuls-sur-mer-alerte-rouge-sur-les-finances-du-gicb_1894357.php, site consulté le 4 février 2015.



(a)



(b)

FIGURE 1.21 – Carte de la production viticole en France en 2013, (a) proportion de la production viticole produite par département, (b) proportion de production départementale produite en coopérative

par le fait qu'une bonne partie d'entre eux ne serait pas forcément capable de vinifier et exprimerait cette frustration sous la forme de menaces déguisées.

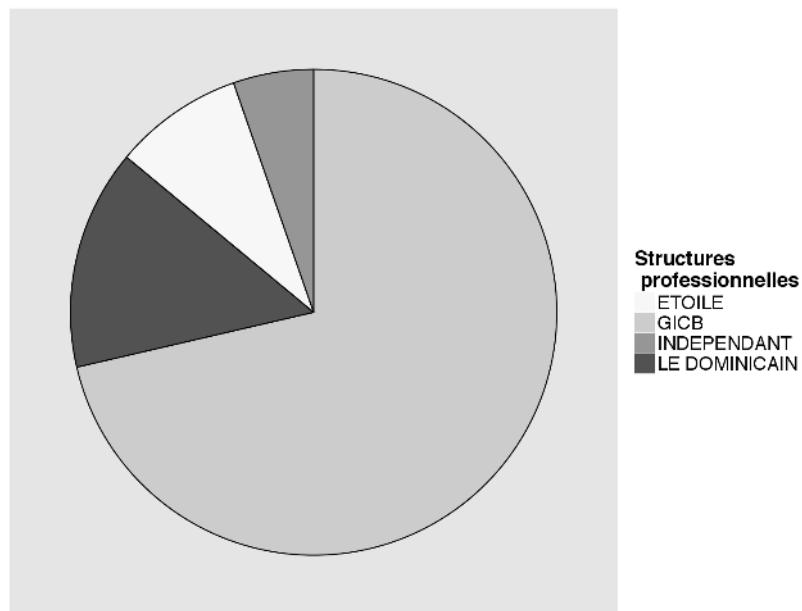
1.3.3.2 La coopération dans le *val di Cembra*

Pour le *val di Cembra*, l'acquisition de données est beaucoup plus compliquée du fait même de l'inexistante d'une DOC. Les données ne sont centralisées par aucun organisme. Malgré cela, et grâce à nos entretiens avec le technicien agricole de la zone, Antonio PATTON, et les responsables du zonage des deux caves coopératives du secteur, nous savons que les viticulteurs coopérateurs représentent 70% des producteurs de raisin de la Vallée. Comme nous l'avons déjà évoqué précédemment, ces derniers se répartissent entre *la cantina Sociale di Lavis* (qui représente la majorité des apportants) et *la cantina sociale di Mezzocorona*, une quantité infinitésimale apporte également sa production à la *Cantina di Trento*. Cette segmentation majoritairement entre les deux principales caves est historique. En effet, jusque dans les années 1980, perdurait à Cembra *la cantina sociale* de la vallée, mais des difficultés financières ont obligé les viticulteurs à se rapprocher de la coopérative de Lavis pour réduire les coûts de production. Si certains viticulteurs étaient déjà coopérateurs à Mezzocorona, cette fusion en a poussé un certain nombre vers cette dernière.

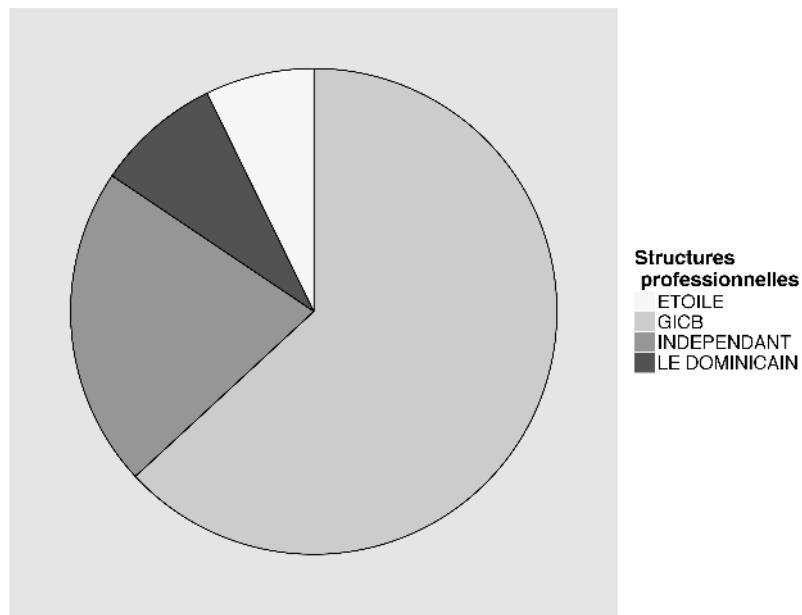
Le climat social vis-à-vis de la coopération est très différent de celui qui règne sur les AOC françaises. La coopération, bien que critiquée pour des rémunérations toujours trop faibles au goût des viticulteurs rencontrés, n'est pas du tout perçue négativement. Dans le Trentino, elle est d'ailleurs présente partout de manière ostensible (des coopératives de production, d'irrigation, aux coopératives de consommateurs, ou au secteur des assurances et de la banque). Il en résulte un sentiment de confiance largement partagé par la population viticole. Ce qui pourrait expliquer en partie le très petit nombre de viticulteurs indépendants dans la vallée.

La coopérative considérée comme un élément de stabilisation du « vignoble-système » se retrouve sur nos deux territoires. Ces mêmes territoires sur lesquels les viticulteurs doivent faire face à des conditions structurales difficiles, aux effets visibles sur la structuration spatiale des exploitations (c.f. chapitre 4 page 187).

Nous avons voulu nous interroger sur la place et le rôle que pouvait jouer la coopérative pour le territoire. En effet si AURIAC (2000) a ouvert sur un très grand nombre des questions par son approche systémique à l'échelle du Languedoc, il nous est apparu important de tester ces hypothèses à une échelle plus fine. De la sorte, nous avons effectivement exploré l'effet de la coopération sur la réduction de l'entropie sociale et spatiale (c.f. 4.2). D'autre part nous nous intéresserons aussi à une variable qualitative qui pourrait être



(a)



(b)

FIGURE 1.22 – Répartition des viticulteurs de l'AOC Banyuls-Collioure (a) et des surfaces en production (b) entre les différentes structures de vinification

considérée comme le « climat social », que nous avons caractérisé de riscophile pour les territoires où la confiance dans la coopérative est limitée, et riscophobe quand celle-ci est beaucoup plus partagée.

Par ailleurs nous nous sommes également interrogés sur la possibilité de considérer la coopérative comme un niveau d'agrégation possible pour orienter les territoires (c.f. 5.1). Cette seconde partie du questionnement pourrait replacer la coopérative en tant qu'objet efficient dans la réorientation de la production territoriale et renforcerait encore son rôle de réducteur d'entropie en cas de crise, à la manière de celle qu'a brillamment surmontée le *val di Cembra*.

1.3.4 Les singularités, l'échelle fine et les réflexions opérationnelles au service des acteurs

Au fur et à mesure du travail de terrain, nous avons formalisé un certain nombre d'hypothèses que nous avons confrontées à la vision des acteurs. Une constante lors de ces discussions relevait de la distance symbolique existant entre la vision du monde i) des acteurs institutionnels (dans lesquels nous nous inscrivons) et ii) celle des viticulteurs. Les premiers tels que les techniciens des coopératives, la chambre d'agriculture ou encore les chercheurs participant au séminaire LACCAVE⁵⁵, n'ayant pas les mêmes attentes que les viticulteurs indépendants ou coopérateurs.

Une partie de l'intercompréhension émane, à notre avis, des échelles spatiales et donc des phénomènes observés par les deux précédents groupes. Plus les acteurs s'entretenaient d'objets considérés à une échelle territoriale, plus l'incompréhension était grande. Ce qui, si nous remobilisons l'ontologie terroir-territoire (fig. 1.4), revient à exprimer une nette disjonction entre les concepts de terroir et de territoire. Cette prise de conscience nous a conduit à réfléchir à des échelles spatiales plus fines, et sur des problématiques plus proches des sous-concepts du terroir. Deux questionnements ont alors émergé : le premier est lié à une problématique autour de la maturité de la vendange et de son évolution dans un contexte de changement climatique (c.f. partie 5.1), le second est davantage tourné vers l'étude d'un phénomène de diffusion parasitaire (c.f. partie 5.2).

1.3.4.1 Le changement climatique et la montagne

Les processus à l'œuvre dans la maturation du raisin sont très complexes. Si grâce au suivi parcellaire et à l'étude de la végétation, les techniciens sont capables de suivre de manière assez efficace l'avancée de la maturité, une analyse plus précise peut être effectuée dans les dernières semaines. Sans entrer dans les détails, trois indicateurs sont utilisés par

55. Séminaire sur le changement climatique organisé à Banyuls le 16 septembre 2013.

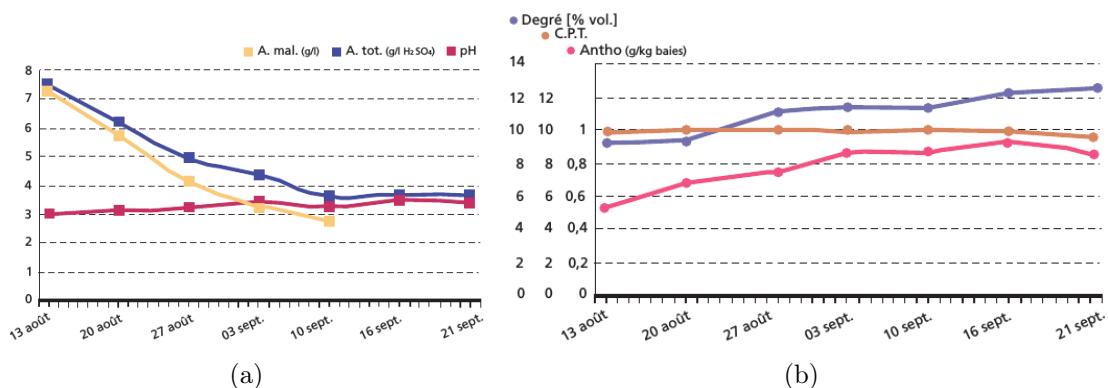


FIGURE 1.23 – Exemple d’évolution des différentes variables pour l’étude de la maturité sur raisin de Grenache noir en 1997 dans la vallée du Rhône. Le graphe (a) reprend l’évolution du pH, de l’acidité totale et de l’acide malique. Le graphe (b) permet de suivre l’évolution du degré potentiel, des teneurs en anthocyanes et des composés phénoliques totaux (VIN D’A.O.C. CÔTES DU RHÔNE 1997).

les techniciens du GDA⁵⁶ pour évaluer l’avancée de la maturité :

- le taux de sucre dans les baies (qui va déterminer le degré alcoolique potentiel de la vendange) ;
- l’acidité totale en $g \times L^{-1}$ de H_2SO_4 ⁵⁷ ;
- le pH.

D’autres indicateurs existent, tels que le dosage de l’acide malique, l’acide tartrique, le potassium, l’azote assimilable et les composés phénoliques (tanin et anthocyane), mais leur dosage nécessite du matériel qui n’est pas disponible au GDA. Pour la vinification d’un vin de qualité, l’acidité totale au moment de la vendange doit être comprise entre 3 et 4 (c.f. courbe bleue dif. 1.23(a)) et dans le cas de la Côte Vermeille un degré potentiel de 13 ou 14 (courbe bleue sur la figure 1.23(b)). Les degrés potentiels de la vendange sont issus de processus liés à la photosynthèse et donc à l’ensoleillement. Nous avons montré qu’à Banyuls l’acidité totale est, elle, liée à la température journalière (c.f. part 5.1).

En confrontant les courbes bleues des figures 1.23(a) et 1.23(b) nous comprenons qu’il faudra attendre que l’acidité baisse suffisamment, tout en surveillant que les degrés potentiels n’augmentent pas au-delà des valeurs acceptées par le cahier des charges. Or à Banyuls, dans les zones très chaudes des fonds de vallée, les degrés potentiels ont tendance à augmenter très rapidement alors que l’acidité n’est pas suffisamment avancée, ou que la coopérative n’est pas encore ouverte pour la saison de vendange. Ce phénomène risque de s’accentuer avec le changement climatique. Nous avons donc cherché, dans la partie 5.1, à connaître quel type d’incitation pouvait être mis en place par la coopérative pour

56. Le GDA (Groupement de Développement agricole) du cru banyuls et des Albères est un organisme technique qui aide et conseille les viticulteurs.

57. L’acide sulfurique.

maintenir une acidité totale des valeurs acceptables sans augmenter la fenêtre temporelle durant laquelle les viticulteurs peuvent apporter leur vendange. Une solution à long terme pour les viticulteurs serait d'aller chercher de la fraîcheur en altitude.

Cette partie de la réflexion s'ancre dans une échelle spatiale encore relativement grande (le bassin versant de la Baillaury sur la commune de Banyuls). C'est donc, de fait, un modèle qui s'adresse aux coopératives afin de proposer des *scenarii* d'évolution de la vendange en fonction de décisions impliquant des surfaces viticoles suffisamment étendues.

1.3.4.2 L'importance de l'espace dans les phénomènes de diffusions des ravageurs

Du fait de la distance cognitive entre la profession et la recherche que nous évoquions à propos des concepts de terroir et de territoire, nous avons cherché à répondre à des problématiques ancrées dans la réalité des viticulteurs. Un grand nombre de réflexions s'est matérialisé lors de nos entretiens, et notamment autour des questions phytosanitaires. En effet, le contexte de nos deux territoires, largement coopératifs, épaulés techniquement par des techniciens compétents, entraîne qu'une majeure partie des questionnements gravite autour des questions touchant l'état sanitaire des vignes.

Nous avons donc choisi de nous intéresser à une problématique phytosanitaire présente sur les deux territoires et pour laquelle des données existaient déjà : le parasitisme par *Lobesia botrana*⁵⁸ (c.f. part. 5.2). Si cet insecte est présent en Italie et en France, sur la Côte Vermeille, il est suivi sur des parcelles témoins depuis les années 1990. Des expérimentations de méthodes de lutte intégrée sont mises en place par le GDA sur une dizaine d'hectares.

Les techniques de lutte consistent à diffuser des phéromones dans la vigne de manière à réduire la capacité des insectes mâles à trouver des insectes femelles pour s'accoupler. Nous constatons donc que l'espace en tant que support des interactions papillon ↔ papillon, papillon ↔ vigne, papillon ↔ homme est un élément central de la réflexion. Les viticulteurs soucieux de protéger leur récolte n'ont effectivement pas besoin de penser cet espace, mais les échelles restent fines.

Conclusion

Ces conditions structurales auxquelles les viticulteurs, et la société qui les abrite, doivent faire face les obligent à avoir recours à un très grand nombre de travaux manuels, à cultiver de très petites surfaces et à faire la part belle aux structures émergentes de second ordre que sont les organismes interprofessionnels et les organismes coopératifs (N. GILBERT et

58. *Lobesia botrana* est un microlépidoptère dont le nom vernaculaire est l'Eudémis.

TROITZSCH 2005).

Dans ces conditions les interactions sociales et les interventions individuelles reposent sur une multitude de comportements individuels qui façonnent par petites touches l'objet paysage donné à voir à la société civile.

À travers ce chapitre, nous avons décrit la viticulture de montagne, par le prisme de la Côte Vermeille et du *val di Cembra*, dans le contexte de l'épistémologie actuelle. Si ces deux territoires sont différents par bien des aspects, ils restent proches sur de nombreux points ce qui a fait naître un certain nombre d'hypothèses de travail, notamment concernant les adaptations et les comportements sociaux émergents d'un contexte de pente.

Ceci nous a permis de délimiter des questionnements et des enjeux issus aussi bien de la communauté scientifique que des acteurs du territoire portant sur la durabilité des territoires viticoles de montagne et de pente.

Pour répondre à ces questionnements, le géographe dispose d'un certain nombre d'outils. Le travail de terrain avec les acteurs se révèle une source d'inspiration sans borne, mais se pose très rapidement la question de la généralisation et systématisation des résultats. L'une des réponses possibles peut être de faire appel à la modélisation par l'intermédiaire de simulations dynamiques de l'espace et des comportements sociaux qui s'y tiennent. Si la modélisation est un champ de recherche à part entière, nous verrons dans le chapitre 2 de quelle manière nous y avons inscrit notre démarche.

Chapitre 2 :

Épistémologie et usages de la modélisation et des systèmes multi-agents en géographie

Introduction

« L'homme se découvre quand il se mesure avec l'obstacle. Mais, pour l'atteindre, il lui faut un outil. Il lui faut un rabot, ou une charrue. Le paysan, dans son labour, arrache peu à peu quelques secrets à la nature, et la vérité qu'il dégage est universelle. »

SAINTE-EXUPÉRY (1939, p.9)

Nous avons consacré le chapitre 1 à la délimitation de notre travail dans le cadre d'une géographie de la viticulture de montagne et de fortes pentes, et ce à la fois d'un point de vue théorique avec la construction d'une ontologie, mais également d'un point de vue pratique en ancrant nos territoires d'étude dans cette ontologie. Dans ce chapitre 2, nous allons nous intéresser à un autre pan de notre travail : la modélisation et la simulation à base d'agents en géographie.

Si le travail dans le champ de la géographie viticole nous place à l'interface entre plusieurs disciplines, pouvant aller de l'agronomie à l'écologie en passant par la sociologie et l'économie, notre positionnement dans le champ de la modélisation et de la simulation à base d'agents nécessite également un recadrage épistémologique.

Si l'on considère la géographie comme une jeune science, nous pouvons noter qu'elle s'est appropriée très tôt dans son histoire la notion de modèle et d'approche systémique. Cette appropriation s'est accélérée dans les années 1970 grâce aux partisans de la *new geography* (PUMAIN 1998). Parmi ces géographes, un effort de systématisation a été proposé par AURIAC (1979) qui en plus d'utiliser la Théorie du Système Général (TSG) pour construire son référentiel, propose une nouvelle approche de la géographie viticole en théorisant le « vignoble-système ». La modélisation systémique en géographie s'est largement inspirée des autres champs disciplinaires, comme la physique ou plus tard l'écologie, pour s'en approprier les outils. BRIAN et BERRY (1964, p.3) vont jusqu'à proposer de considérer les travaux des géographes comme des activités traitant de l'écosystème mondial dans lequel l'homme occupe une place prépondérante :

« *Geography's integrating concepts and process concern the worldwide ecosystem of which man is the dominant part* »

L'intégration disciplinaire des démarches de modélisation systémique conduit naturellement certains protagonistes de l'époque à pousser l'utilisation des modèles jusqu'aux pratiques de simulations.

La simulation, qui consiste à plonger le modèle dans le temps (COQUILLARD et HILL 1997), a petit à petit été mobilisée pour résoudre des problèmes insaisissables par une

méthode analytique traditionnelle. Le temps est pris en compte sous forme itérative permettant d'accéder à certains états de variable en résolvant des configurations dépendant des conditions initiales. En tant que discipline, la géographie a été sensible aux nouvelles théories et aux travaux issus de la physique, de l'Intelligence Artificielle (IA), ou encore de l'écologie ou l'économie, et à remobiliser certaines de ces approches dans son champ disciplinaire.

La modélisation à base d'agent est une discipline issue de la croisée entre l'informatique (programmation orientée objet, système distribué) et l'intelligence artificielle distribuée¹ (vie artificielle, robotique, sciences cognitives) qui émerge dans les années 1980. Elle trouve rapidement des relais dans la communauté des géographes appartenant au courant de la « nouvelle géographie » (SANDERS 1984).

Dans ce chapitre, nous aborderons l'évolution épistémologique des pratiques de modélisation et de simulation, et leur appropriation par les géographes, afin de situer l'émergence des théories de la complexité et de leur mobilisation disciplinaire. Après cette description des différents mouvements épistémologiques, nous y inscrirons notre réflexion et nos pratiques. Si nous revenons en détail sur les approches et les procédés dans les chapitres suivants, nous insisterons ici sur les méthodologies mobilisées pour explorer la durabilité des territoires viticoles de fortes pentes.

2.1 La démarche de modélisation

La notion de modèle est presque inséparable de la démarche scientifique. Le modèle est une représentation simplifiée qui permet de penser le monde à partir d'hypothèses. Par exemple, le modèle héliocentrique de COPERNIC (1473-1543) révolutionna le modèle géocentrique. Le modèle microbiologique de L. PASTEUR (1822-1895), quant à lui, révolutionna le modèle basé sur la génération spontanée. Un modèle n'est pas fait pour être immuable, mais permet de construire des raisonnements accessibles au plus grand nombre.

Dans cette partie, nous positionnerons l'usage des pratiques de modélisation dans les différents champs qui les mobilisent pour comprendre, à la lumière des différentes controverses, comment la géographie s'en est accommodée pour les faire évoluer sur son propre terrain disciplinaire.

1. Par opposition aux travaux autour de l'intelligence artificielle classique dans les années 1980, l'intelligence artificielle distribuée propose de faire reposer les comportements du modèle sur une multitude de petites entités plutôt que sur un processus centralisé c.f. FERBER (1995)

2.1.1 Qu'est-ce que modéliser ?

2.1.1.1 Du système au modèle vers une tentative de théorisation du monde

La notion de modèle est intimement liée à la pensée scientifique en tant que *construit formel* (COQUILLARD et HILL 1997), bien que VARENNE (2010) propose de délimiter la mobilisation de ce terme au *tournant des modèles formels* du XX^e siècle. Si nous pouvons faire remonter la notion de modèle à la Grèce Antique (MITCHELL 2009), il nous apparaît intéressant de commencer à réfléchir sur cette notion de modélisation telle qu'elle est envisagée au XVII^e siècle quand DESCARTES (1637) propose

« de diviser chacune des difficultés que j'examinerai en autant de parcelles qu'il se pourra, et qu'il sera requis pour mieux les résoudre. »

Depuis DESCARTES ou NEWTON, la formalisation des modèles a bien changé, mais le *construit formel* poursuit le même but ; il vise à faciliter une représentation, un calcul, une expérience en s'installant comme outil de médiation entre les chercheurs (VARENNE 2010).

La notion de système, elle aussi, est intimement liée à la notion de modélisation, mais la formalisation en tant que système est une démarche plus récente. En s'appuyant sur la méthode de DESCARTES pour résoudre les problèmes, on commence pourtant à distinguer une approche systémique. En effet, en se référant à COQUILLARD et HILL (1997, p.3), « un système est une collection d'objets en interaction ». Nous comprenons que ces objets en interaction sont les parcelles du problème de DESCARTES. Dans l'étude des systèmes complexes² (que peuvent être les sociosystèmes, les écosystèmes, etc.), nous aurons du mal à imaginer des systèmes indépendants les uns des autres (isolés au sens thermodynamique), et nous ne nous attaquerons donc *de facto* qu'à des sous-systèmes. Réfléchir sur des systèmes fermés constitue une approximation qui, si elle est abusive, est suffisamment féconde pour être régulièrement utilisée dans toutes les disciplines en lien avec la modélisation (*ibid.*). Si en médecine la circulation sanguine est considérée comme un système propre, en biologie c'est la cellule qui fait système. Tout dépend de l'échelle de réflexion à laquelle nous nous situons.

L'approche systémique est à rapprocher de l'ambition des diverses disciplines scientifiques à vouloir théoriser. Pour PUMAIN (2003, p.27),

« Théoriser c'est d'abord tenter d'échapper aux apories d'une "science du concret", et surtout dépasser l'irréductible unicité des lieux, chercher à construire un point de vue nomothétique sur la discipline ».

Se proposer d'entrer dans une approche systémique n'est donc pas neutre et consiste à s'éloigner du « concret » pour proposer une généralisation théorique transposable sur

2. Nous reviendrons sur la notion de complexité dans la partie 2.1.2.

différentes réalités. On considère alors le système comme une collection de sous-systèmes. La difficulté majeure consiste à définir la granularité des sous-systèmes qui nous offrent la possibilité d'explorer la/les question(s) qui nous intéressent. Cette démarche s'inscrit donc dans une dialectique entre le chercheur et le système réel étudié, qui va par itération tenter d'en définir les contours. Le système n'existe donc que parce qu'il est observé³.

La notion de modèle aujourd’hui « oscille entre deux significations : l’objet matériel et la norme abstraite » (BOMMEL 2009). Nous utiliserons ici la définition proposée par COQUILLARD et HILL (1997, p.7) :

« le terme de modèle a la même signification que celui de concept ou d’hypothèse ou d’analogie [...], un modèle est une abstraction qui simplifie le système réel étudié [...] pour se focaliser sur les aspects qui intéressent le modélisateur et qui définissent les problématiques du modèle. »

Ici encore on retrouve cette dialectique avec l’observateur que nous venons de souligner pour l’approche systémique. On pourrait penser la notion de modèle comme recouvrant la notion de système. Il se trouve que la distinction entre les deux est importante. En effet, la systématique va permettre de poser un premier niveau d’abstraction sur le réel, et le modèle peut alors être considéré comme le bras armé de la définition du système, s’imposant comme une manière de tester les hypothèses formelles définies par le système. Cela signifie qu’il sera possible de théoriser des systèmes sans avoir recours à la modélisation, mais le corollaire inverse est beaucoup plus difficile. Le construit formel qui en découle peut ensuite être confronté à l’expérimentation, ce qui signifie que, par essence, l’expérimentation ne peut conduire seule à un progrès (THOM 2009), et

« la théorisation [...] est liée à la possibilité de plonger le réel dans un virtuel imaginaire, doté de propriétés génératives, qui permettent de faire des prévisions. » (ibid., p.91)

Nous voilà donc devant un ensemble d’interactions entre la théorisation \Leftrightarrow le système \Leftrightarrow le modèle \Leftrightarrow l’expérimentation, allant de la complexité du réel vers le simplifié du modèle et alimentant le complexe par rétroaction.

Cette rapide définition des notions et des implications de la modélisation nécessite d’approcher l’arrivée de la théorisation et donc de l’abstraction dans la pensée scientifique et plus particulièrement dans les sciences humaines et sociales.

2.1.1.2 Un nécessaire besoin de théorisation

Ce besoin de s’abstraire des formes « concrètes » du monde pour ne pas se limiter à des descriptions⁴ et entrer dans des *construits formels*, s’est fait sentir avec le *tournant*

3. Ce qui nous renvoie à l’expérience du *chat de Schrödinger*, qui illustre le paradoxe de l’état du système comme lié à l’observateur.

4. Ce que PUMAIN (1998) pour la géographie appelle une géographie de *mise à jour*.

formel des modèles scientifiques au XX^e siècle. Il pose des questions sur la nécessité de la théorisation émergeant dans toutes les disciplines scientifiques.

Les chercheurs (en tant qu'observateurs) doivent changer de point de vue et se concentrer sur les phénomènes générateurs des formes ou les objets décrits. Or à THOM (ibid., p.93) de questionner cette position d'observateur :

« Peut-on, dans un paysage de phénomènes, reconnaître un objet ou une chose si l'on n'en a pas au préalable le concept ? C'est aussi simple que ça. Si l'on n'a pas le concept d'un objet, on ne le reconnaîtra pas. [...] La possibilité de reconnaître un être en général, une entité dans un paysage empirique, est toujours à mon avis subordonnée à une conceptualisation »

En géographie cette recherche de forme et ce mouvement vers une plus grande abstraction se sont annoncés au XIX^e siècle avec, par exemple, les travaux de Johann Heinrich VON THÜNEN, mais ils ont réellement pris un tournant décisif dans les années 1950 avec les tenants de la *nouvelle géographie* (CLAVAL 1977) qui s'est développée conjointement à la diffusion d'une forme de scientification des sciences sociales (PUMAIN et ROBIC 2002). Le changement de perspective qui s'opère fait passer la géographie des disciplines qui jusqu'alors était limitée à *l'observation pure* vers une discipline de *l'expérience* au sens de THOM (1989, p.9). Ce mouvement, cause ou conséquence de l'introduction des mathématiques conjointement aux innovations techniques qui avaient lieu à la même période (informatique, imagerie satellitaire, etc.) a permis la structuration et la constitution du *construit formel*. À la fin des années 1970 *construit formel* déboucha sur les théories des systèmes auto-organisés, plutôt issus de la physique, mais qui inspireront un grand nombre de disciplines comme l'informatique (MINSKY 1997), l'économie et la géographie (SCHELLING 1971) et les conduiront vers l'étude des systèmes complexes (c.f. partie 2.1.2)

« Il n'y a de sciences que dans la mesure où l'on plonge le réel dans un virtuel contrôlé. Et c'est par extension du réel dans un virtuel plus grand que l'on étudie ensuite les contraintes qui définissent la propagation du réel au sein de ce virtuel. » THOM (2009, p.122)

Cette articulation entre la conceptualisation et la reconnaissance de formes nécessite, pour rester dans la logique déductive de POPPER (1998), de procéder de manière itérative en confrontant des hypothèses à l'expérimentation, et en procédant par réfutation et acceptation de celles-ci.

2.1.1.3 Validation de modèle : la guerre et la paix

Tout travail de modélisation place le modélisateur dans une situation d'inconfort, et ce quelle qu'en soit la discipline. Il est toujours aisément d'accuser un modèle d'incomplétude ou de défaut de validation, car, par nature, la modélisation (et peut-être encore

plus la modélisation géographique) fait intervenir des disciplines variées mêlant théorisation, simulation et analyse de données. Ces pratiques relèvent d'une épistémologie très différente des sciences théorico-expérimentales classiques (STENGERS 2010). Les modèles intègrent des théories issues de la physique (processus de diffusion), des représentations simplifiées de processus complexes, des observations directes de terrain. La validation est souvent indirecte et nécessite des aller-retour entre le modèle et le réel. Il y a donc une vraie nouveauté épistémologique de ces modélisations vis-à-vis de l'histoire des approches classiques. Ceci bien sûr interroge le géographe modélisateur sur la nature de la science produite.

POPPER (1998, p.297) propose de considérer que :

« Le but de la science est de découvrir des *explications satisfaisantes* de tout ce qui nous étonne et paraît nécessiter une explication. »

Or, et c'est ce qui lui permet de différencier le *sens subjectif* du *sens objectif*⁵, arrive inévitablement, quand on parle de modélisation, le moment délicat de la validation du modèle et donc de la confrontation des hypothèses par rapport aux données et à la discussion critique.

Il est communément admis que la validation consiste à confronter des observations issues du monde réel avec les résultats générés par l'abstraction du modèle.

« *Validation is the determination that the conceptual model is an accurate representation of the real system. Can the model be substituted for the real system for the purposes of experimentation ?* » BANKS (1999) dans BOMMEL (2009, p.23)

Or si cette conception de la validation est largement partagée, elle véhicule d'après BOMMEL (ibid.) une « idée inquiétante », celle de vérité. Or ce concept de vérité diffère largement de la découverte des *explications satisfaisantes* que nous évoquions précédemment. Si pour des disciplines comme les mathématiques, la physique ou peut-être dans une moindre mesure la chimie, cette notion est concevable, en géographie qui malgré la révolution de la *nouvelle géographie* reste une discipline empirique, la vérité nous semble tout aussi inquiétante.

Cette réserve permet à BOMMEL (ibid.) de distinguer la vérité et la vraisemblance, et de proposer de distinguer deux types de validation :

- *la validation forte* : qui découle de la certitude, et où la distance qui sépare les résultats du modèle et le système représenté est très faible.

5. Pour POPPER (1998, p.126), « (1) il existe une connaissance au sens subjectif, qui est faite de dispositions et d'attentes. (2) Mais il existe aussi une connaissance au sens objectif, la connaissance humaine, qui est faite d'attentes formulées dans un langage et soumises à la discussion critique. (3) La théorie du sens commun ne parvient pas à voir que la différence entre (1) et (2) est de la plus grande importance. La connaissance subjective n'est pas sujette à la critique. »

- *La validation faible* : qui propose une explication juste et vraisemblable, bien qu'éloignée de la réalité. Cette distance pouvant être aussi bien le fait d'un éloignement des résultats de modélisation aux données observées que de l'éloignement du modèle ayant subit une simplification forte et donc *de facto* produisant des résultats éloignés du réel.

Cette distinction fait écho à la différenciation que propose THOM (2009) considérant lui aussi deux types de modèles conçus soit pour *prédirer*, soit pour *expliquer*(c.f. part. 2.1.3). Ainsi on pourra considérer qu'un modèle à base d'ontologies ou de cartes heuristiques sera construit dans le but de comprendre tandis qu'un modèle météorologique sera plutôt construit pour prédire de manière mathématique le temps qu'il fera. On comprend que nous nous retrouvons une fois encore confrontés à la finalité du modèle, ce qui souligne la limite inhérente à la démarche de modélisation, et donc aux possibilités de validation du modèle.

On pourra donc prendre la précaution de dire que tout modèle est par nature intrinsèquement faux (BOMMEL 2009), mais un modèle reste « satisfaisant s'il fournit une réponse satisfaisante à la question qui a motivé la modélisation » (THOM 1979). Sans tomber dans l'angélisme, l'opposition entre prédiction et explication relève pour partie au moins de conflits de « culture épistémique ». Les modélisations à base d'agents, sur lesquelles nous reviendrons dans la suite de ce travail, constituent ainsi un très bon exemple de ce que FUNTOWICZ et RAVETZ (1993, p.750) considèrent comme des sciences « post-normales » qui deviennent nécessaires

« *when uncertainties are either of the epistemological or ethical kind, or when decision stakes reflect conflicting purposes among stakeholders* ».

Cette première approche de la modélisation nous a donné la possibilité de dresser à grands traits le mouvement des sciences s'efforçant d'explorer et d'expliquer le monde qui les entoure au travers de modèles. Nous retiendrons de cette première analyse le besoin de théorisation des objets réels et le fait que ce processus de définition d'un système fonctionne par des cycles itératifs entre modélisation et observation. Cette approche nous amènera, par l'intermédiaire des travaux de modélisation proposés dans cette thèse, à retrouver une succession de modèles indépendants et complémentaires plutôt que de chercher à produire un unique modèle intégratif.

2.1.2 La controverse du réductionnisme et du holisme : une 3^{me} voie, la *complexité*

L'évocation de ces deux termes, *réductionnisme* et *holisme*, fait immédiatement apparaître des fractures encore vives aujourd'hui entre les tenants de chacune de ces concep-

tions⁶. La controverse surgit entre les tenants d'une conception *réductionniste* où l'on considère que la complexité des comportements observés à un niveau donné est à rechercher au niveau sous-jacent. Par exemple, pour OPPENHEIM et PUTNAM (1958, p.7) :

« It's not absurd to suppose that psychological laws may eventually be explained in terms of the behavior of individual neurons of the brain ; that the behavior of individual cells - including neurons - may eventually be explained in terms of their biochemical construction ».

Tandis que pour les partisans d'une approche *holiste* comme MILL (1865), les propriétés à un niveau donné ne peuvent pas être comprises comme le résultat des niveaux sous-jacents :

« the chemical combination of two substances produces, as well know, a third substance with propertie different from those of either of two substances separately or of both of them taken together ».

Si 150 ans après MILL (ibid.) cette vision a quelque peu évolué avec les avancées scientifiques⁷, elle a l'avantage d'illustrer assez bien les fondements du holisme.

Dans les sciences sociales, c'est COMTE (1830) qui est l'un des fervents défenseurs du holisme et du positivisme⁸ et refuse l'idée que l'on puisse « décomposer l'humanité en individus », soutenant que l'existence sociale ne fait pas sens au niveau individuel.

Aujourd'hui le holisme est toujours largement mobilisé en physique, en biologie et en sciences cognitives. On pourra, par exemple, s'intéresser aux travaux de WOLFRAM (2002) qui travaille depuis plus de 20 ans sur des comportements et des formes complexes issus de programmes informatiques simples :

« I took a sequence of simple programs and then sistematicaly ran them to see how they behaved. [...] was that despite the simplicity of their rules, the behavior of the programs was often far from simple. Indeed, even some of the very simplest programs that I looked at had behavior that was as complex as anything I had ever seen » (ibid., p.2).

L'exemple de la figure 2.1 est réalisé avec un programme constitué de 8 règles de comportement cellulaire⁹. On observe des formes régulières ponctuelles sous forme de triangles

6. Pour se persuader de cette actualité, nous pouvons observer le nombre de publications qui se revendiquent encore de l'une ou de l'autre, et ce en particulier dans les champs de la médecine, de la biologie et de la physique.

7. notamment en chimie c.f. MILL (1865).

8. Le positivisme de COMTE soutient que « la généralisation d'un phénomène n'est pas la preuve qu'il donne accès à une quelconque essence objective intégrale et sous-jacente ni donc à une connaissance principielle de laquelle dépendraient ensuite toutes les autres » (VARENNE 2011, p.32).

9. L'espace des automates proposé par WOLFRAM (2002) est une grille cellule carré de taille infinie. Chaque cellule peut prendre deux états (sur la figure 2.1, l'état noir et l'état blanc). À un intervalle de temps défini, toutes les cellules changent spontanément d'état en fonction d'un groupe de règles de voisinage. On retrouvera les règles sur la page Wikipédia consacrée à la règle n°30. <http://en>.

blancs (fig. 2.1 n° 1), mais aussi des régularités spatiales à plus grande échelle dans la partie inférieure de la figure (n° 2). Au fur et à mesure des itérations, la partie régulière se réduit pour laisser place à des configurations aléatoires. L'aspect particulièrement intéressant pour le géographe dans cette approche est que, même de manière intuitive, ces règles simples permettent de générer plusieurs niveaux de complexité (à l'échelle spatiale comme à l'échelle temporelle) impossibles à discerner à partir des règles de base. Nous sommes donc face à un système *auto-organisé*, c'est-à-dire un système dont les configurations ne sont pas contrôlées de manière centralisée, mais qui aboutissent à des organisations « ordonnées » (au moins localement).

La construction de cette notion qu'est l'auto-organisation doit beaucoup aux travaux issus de la cybernétique dans les années 1960 montrant qu'un système a tendance à s'organiser quand il est soumis à des perturbations aléatoires (VON FOERSTER 2003). Cela incitera PRIGOGINE et NICOLIS (1977) et PRIGOGINE et STRENGERS (1984) à travailler sur des questionnements issus de la thermodynamique, et en particulier le paradoxe du démon de Maxwell (1871)¹⁰, et aux *structures dissipatives*. Pour revenir à des préoccupations plus géographiques, ce qu'il faut conserver de ces digressions interdisciplinaires¹¹, concerne les questions d'échelles de réflexion et consiste à dire qu'une configuration macroscopique du système étudié peut provenir de plusieurs types de microsystèmes.

Pour ANDERSEN (2001), c'est l'approche holiste qui, en évoluant, a permis de déboucher sur le concept d'*émergence*¹². Ce concept, parfaitement illustré par la figure 2.1, est défini de la sorte :

« *emergence occurs when interaction among objects at one level give rise to different types of objects at another level. More precisely, a phenomenon is emergent if it requires new categories to describe it which are not required to describe the behaviour of underlying components.* » (N. GILBERT et TROITZSCH 2005, p.11)

Dans cette définition on retrouve toutes les composantes d'un système auto-organisé auxquelles sont ajoutées et formalisées les questions de description et d'échelle. Si les aspects d'organisation ne sont pas au cœur des questionnements de N. GILBERT et TROITZSCH (*ibid.*) dans cette définition, elles restent néanmoins sous-jacentes dans la

wikipedia.org/wiki/Rule_30, site consulté le 2 avril 2015

10. L'expérience du démon de Maxwell a été proposée par James Clerk MAXWELL en 1871. C'est une expérience de la pensée qui suggérait des limites à la seconde loi de la thermodynamique. Cette seconde loi augure de l'irréversibilité des phénomènes physiques à cause d'une augmentation du désordre : *l'entropie*. Toute tentative de retour à un état d'ordre nécessite de dépenser de l'énergie. L'expérience du démon de Maxwell propose d'imaginer un démon capable de trier des molécules de gaz contenues dans deux pièces contiguës en ouvrant la porte au moment opportun grâce à une connaissance poussée du système.

11. qui évoluent parfois vers des indisciplines (BESNIER et PERRIAULT 2013).

12. Selon ANDERSEN (2001). Le concept d'*émergence* est à attribuer à LEWES (1874) même si on en trouve les prémisses chez MILL (1865) sous le vocable *heteropathic*.

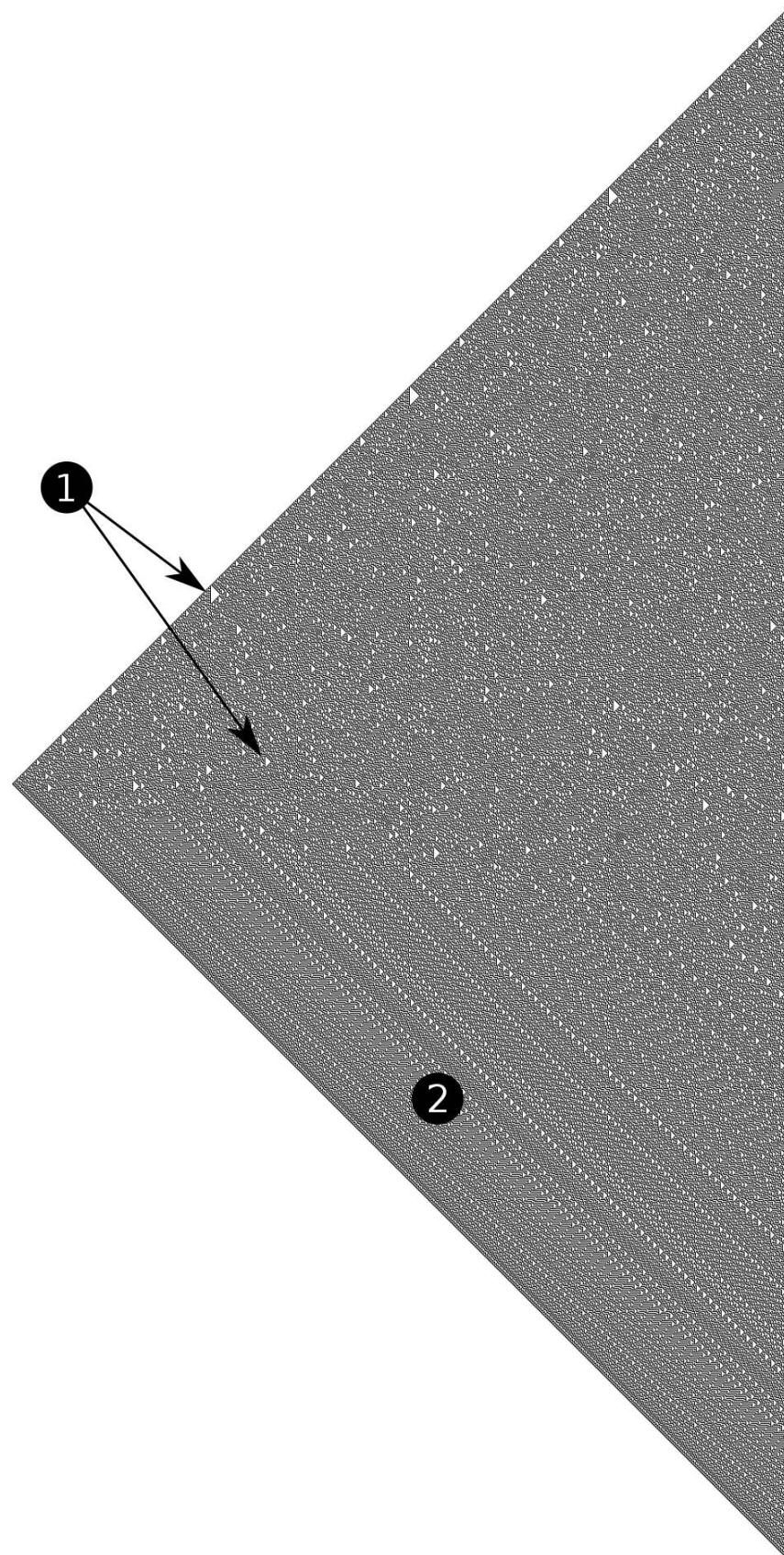


FIGURE 2.1 – Forme produite par la règle 30 après 1000 itérations (WOLFRAM 2002, p.30). La première itération est située à gauche et l’itération n° 1000 à droite.

mesure où pour la description du phénomène, l'observateur doit pouvoir identifier des motifs¹³. Or pour observer des phénomènes émergents, il faut être confronté à des phénomènes dynamiques. Si N. GILBERT et TROITZSCH (2005) proposent une bonne définition de l'émergence, la question de la survenue de cette organisation reste floue. MORIN (2013, p.51) propose que :

« pour qu'il y ait organisation, il faut qu'il y ait interactions : pour qu'il y ait interactions, il faut qu'il y ait rencontres, pour qu'il y ait rencontres il faut qu'il y ait désordre (agitation, turbulence). »

Ce qui veut dire entropie et désordre. L'intérêt de cette observation de MORIN (ibid.) ne réside pas seulement dans ces questions autour du désordre comme source d'organisation, mais vient également de l'introduction de la notion d'interaction. Pour qu'on puisse parler d'interaction, il faut définir des objets élémentaires qui puissent entrer en interaction, ce qui n'est pas sans rappeler les conceptions *réductionnistes* (OPPENHEIM et PUTNAM 1958). Les ensembles ne sont donc pas forcement aussi imperméables que nous pourrions le penser de prime abord.

Dans ce sens d'ailleurs THOM (1989) propose de réfléchir à une position *médiale* considérant le réductionnisme à la manière de PUMAIN (1998), comme un travail de mise à jour mais qui nécessite un changement d'échelle pour en comprendre les implications.

« Tôt ou tard les savants sont contraints de passer de l'explication réductionniste à un autre type d'explication, que j'appellerai "structurale". [...] La tendance structurale a pour but d'en simplifier la description en fournissant un nombre de règles combinatoires relatives à certaines morphologies élémentaires et qui permettent de reconstruire la morphologie en question » (THOM 1989, p.11).

On ne résoudra pas ici l'opposition entre *réductionnisme* et *holisme*,

« Cela n'implique pas que l'on prenne définitivement parti pour le holisme (VALADE 2001), contre l'individualisme méthodologique (BOUDON 2004), mais cela implique qu'on garde l'un et l'autre en mémoire comme gardes fous de l'autre » (PUMAIN 2003, p.26)

Nous percevons, dans ces différentes contractions épistémologiques, l'importance que prend la modélisation et les simulations qui suivront dans le rôle qui sera dévolu aux modèles. Si dans ce travail nous naviguerons dans une sorte de voie médiane en fonction des objectifs de modélisations et des niveaux d'organisation dont ont besoin nos systèmes pour être explorés et étudiés. Cela souligne encore une fois la nécessité de définir la place qui sera donnée au modèle et le positionnement du modélisateur qui ne sera en rien anodine. Cela va nous amener à considérer différents rôles que peut jouer la modélisation.

13. On pourra aussi utiliser le mot *pattern*.

2.1.3 Rôles et statuts du modèle

On retrouve en filigrane de la partie précédente deux conceptions de la place du modèle qui ont marqué l'histoire des sciences écartelées entre holisme et réductionnisme. Ce qui nous conduit donc à interroger la place du modèle dans notre travail. Nous pourrions détailler toutes les fonctions qu'il remplit, mais nous avons choisi de nous concentrer sur trois formes qui occupent selon nous une place importante dans la conception contemporaine des modèles : les modèles pour prédire, les modèles pour comprendre, les modèles pour prospectiver. Il s'agit de concentrer notre attention sur leur source et leurs objectifs pour mettre en lumière les questions et les postures de modélisation qu'ils impliquent.

2.1.3.1 Modéliser pour prédire

Le XIX^e siècle a vu le triomphe des sciences expérimentales et du positivisme, augurant qu'il n'existerait qu'une seule vérité vers laquelle le scientifique et la société avec lui sont entraînés.

« Le but de la science est de prévoir, et non comme on l'a souvent dit, de comprendre » LECOMTE DU NOUY (1948)

On s'inscrit alors dans la lignée du cartésianisme proposé par le *Discours sur la méthode*. L'un des travaux les plus représentatifs de cette période est pour LEGAY (1997) l'*Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* de BERNARD et DAGOGNET (1865). On y retrouve en particulier un certain nombre d'obligations que doivent remplir les sciences (LEGAY 1997) :

- La mise en place explicite d'hypothèses
- L'organisation d'expériences cruciales
- La comparaison des traités et témoins (état de l'art)
- La répétition comme gage de la sûreté des résultats.

Pour LEGAY (ibid., p.14), cette volonté explicite de généralisation est largement contextuelle, et les avancées et les résultats scientifiques radicaux qui sont faits à ces époques sont d'une très grande généralité. Ils doivent donc être vérifiables « en tout lieu et en tout temps. La localisation géographique était sans objet, le local était hors de la science ». Le travail du scientifique est de construire les binômes *cause* ⇒ *effet / conséquence*.

L'approche se complexifie quand se développent des outils permettant l'analyse d'objets plus complexes (par exemple d'origine multi-causales) et en particulier la démarche statistique telle qu'elle est proposée en agronomie. On pourra retenir les travaux de FISHER (1925) qui développent une série d'outils statistiques¹⁴ pour répondre à des questionnements multifactoriels de l'incidence d'intrants sur la production agricole (VARENNE

14. C'est par exemple à Fisher qu'on doit l'ANOVA (Analyse de la variance) ou du maximum de vraisemblance.

2010).

Mais nous restons dans une conception particulièrement déterministe du monde, où l'objet des interrogations scientifiques peut être considéré au même titre qu'une boîte noire. On s'intéresse alors aux entrées et aux sorties, mais le fonctionnement interne n'a pas besoin d'être explicité (THOM 1989). Pour rester avec FISHER, ce dernier considère qu'il est nécessaire de recourir aux lois mathématiques hypothétiques plutôt que de recourir à des mécanismes plus descriptifs (VARENNE 2010, p.58).

2.1.3.2 Modéliser pour comprendre

Modéliser pour comprendre consiste à ouvrir la *boîte noire* de THOM (1989, p.60) pour formaliser les mécanismes qui sont à l'œuvre à l'intérieur. Cette conception est dans la lignée de BOLTZMANN (1902)¹⁵ qui propose « que toute pensée ou connaissance [...] repose sur la faculté de construction d'images » (VARENNE 2010, p.59). Pour lui, en physique, les équations différentielles ne sont pas de bonnes vectrices de modèles, car elles ne sont pas assez descriptives. Dans ses travaux, il essaie de faire durer le plus longtemps possible l'accès intellectuel à des images (et ce qui l'oppose à FISHER dont il est contemporain). Du côté des sciences sociales, DILTHEY (1942) s'inscrit à l'opposé de la démarche positive de COMTE (1830) et MILL (1865). Pour lui, les sciences sociales ne peuvent pas s'inspirer des *sciences naturelles*¹⁶ qui ne peuvent révéler qu'une partie des sentiments :

« les actes de volonté, grâce à une dépense d'énergie et à des sacrifices [...] finissent par produire du nouveau et leur action entraîne une évolution tant de la personne que de l'humanité » (DILTHEY 1942, p.15).

Quand les sciences naturelles ont besoin d'adopter une démarche proactive pour mettre en place des expériences afin de valider des idées, les sciences sociales n'ont besoin d'aucun artifice puisque les faits sont directement disponibles pour notre intellect. Ainsi « la compréhension s'oppose à l'explication comme une imitation de la vie » (VARENNE 2011, p.66). Nous constatons donc que, pour les sciences sociales, l'enjeu de la compréhension face à la prédiction n'occupe pas le même terrain, et constitue toujours aujourd'hui une ligne de fracture entre les partisans d'une approche de type *individualisme méthodologique* et de type *holiste* de l'autre (BOUDON et FILLIEULE 2012).

« le fait que les hommes dans leurs vies courantes comprennent les activités d'autres individus est une condition ontologique de l'existence sociale en même temps que la méthode appropriée des sciences humaines » (WATIER 2002, p.26).

15. C'est également BOLTZMANN qui a repositionné le second principe de la thermodynamique vis-à-vis de l'ordre et de l'organisation au sein du système.

16. Mots employés par W. DILTHEY pour désigner les sciences expérimentales.

La méthode d'exploration et d'intervention en sciences sociales se justifie donc d'elle-même. Pour BOMMEL (2009, p.48), qui est partisan de la compréhension, le modèle est un « filtre conditionné par nos connaissances, nos vérités et nos capteurs ». Il est donc largement marqué par le point de vue et les capacités de perception du modélisateur, et ses capacités à entrer dans les différents niveaux de réalité (WATZLAWICK 1984). Il propose donc une voie médiane entre les tenants de la compréhension en *sciences naturelles* et ceux de la compréhension en *sciences sociales*.

2.1.3.3 Modéliser pour faire de la prospective

La notion de prospective a été proposée par G. BERGER (1967). Cela consiste à :

« considérer l'avenir non comme une chose déjà décidée et qui petit à petit se découvrira à nous, mais comme une chose à faire dont la nature dépendra à la fois de nos forces, de notre habileté, de notre courage, et d'un certain nombre de circonstances que nous ne pourrons jamais prévoir dans tous leurs détails.

La prospective ne prétend pas nous donner le moyen de supprimer tous les risques et de donner à nos actions une structure parfaitement rationnelle. Elle se contente de nous inviter à des actes aussi raisonnables que possible » (ibid., p.33).

La prospective procède donc d'un double mouvement i) d'analyse des signaux visibles aujourd'hui et pouvant nous renseigner sur une évolution probable, ii) pour adopter une démarche proactive dans le but d'orienter ou tout au moins préparer le futur sous forme de différents *scenarii*. Elle se base sur deux sous-concepts pour proposer une planification (GODET 1985, p.30) :

- la projection qui est le prolongement dans le futur d'une évolution sous certaines hypothèses
- la prévision qui est une projection associée à un certain degré de confiance (une probabilité de réalisation)

On constate donc que la démarche prospective nécessite de se tourner vers le passé, pour en extraire des projections futures, ce qui bien évidemment éveille des possibilités de modélisation et de simulation. Or un modèle qui est capable d'expliquer des successions d'événements passés n'est pas forcément le meilleur candidat pour se lancer dans la prospective. En effet, la construction et l'exploration de *scenarii* (parfois sous contrainte) n'est pas forcément compatible avec l'approche historique. L'usage de *scenarii* pour explorer les possibles conjonctions de projection est une démarche assez naturelle. Pour l'école française de prospective, GODET (ibid., p.53) propose deux types de *scenario* :

- Le *scenario* tendanciel qui consiste à choisir le cheminement le plus probable à tous

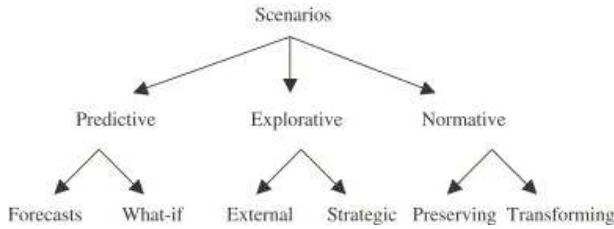


FIGURE 2.2 – Six types de *scénario* proposés par BÖRJESON *et al.* (2006)

les instants où un choix devra être fait en tenant compte des tendances actuelles

- Le *scenario contrasté* qui consiste à explorer des situations extrêmes

BÖRJESON *et al.* (2006) suggère de revisiter cette classification en définissant des sous-classes de scénario (c.f. fig 2.2 au nombre de 6). Si la proposition de normalisation est plus fine que celle proposée par GODET (1985), on se rend bien compte que les deux *scenarii* de 1985 sont encore présents (sous forme de famille ou *meta-scenarii*).

La démarche prospective est particulièrement intéressante pour nous, car elle alimente une bonne partie des questionnements autour des évolutions possibles des territoires de fortes pentes. Nous y reviendrons plus en détail par la suite, mais nous pouvons d'ores et déjà tracer des parallèles entre les formalismes prospectivistes et les préceptes de la modélisation COMMOD. Les deux approches considèrent leurs objets d'étude trop complexes pour être laissés aux seuls chercheurs. Les objectifs pouvant se recouvrir dans bien des cas, la réelle différence réside sans doute dans le *medium* utilisé pour proposer l'immersion des participants dans des futurs possibles (c.f. chap. 6).

Nous avons vu dans cette partie la genèse de la modélisation et la manière dont elle a pénétré les disciplines scientifiques pour expliciter des processus et mécanismes difficilement assimilables en l'état. Si la modélisation peut être définie comme une fin en soi, elle peut aussi être considérée comme la première étape dans un processus de simulation. C'est le choix que nous avons fait ; opter pour une approche de modélisation se combinant avec des simulations informatiques.

2.2 Modélisation et simulation, auto-organisation et émergence la prise en compte de l'espace

Jusqu'à présent nous envisagions les modèles comme le résultat d'une formalisation. Si une partie de ces derniers est construite pour exister en tant qu'objets (VARENNE 2008), d'autres formalisations appellent à pousser le processus jusqu'à la production d'une simulation.

Pour COQUILLARD et HILL (1997, p.11),

« La simulation consiste à faire évoluer une abstraction d'un système au cours du temps afin d'aider à comprendre le fonctionnement et le comportement de ce système et à appréhender certaines de ses caractéristiques dynamiques dans l'objectif d'évaluer différentes décisions ».

Si la modélisation est aujourd’hui bien ancrée dans les pratiques géographiques, les pratiques de simulations, quant à elles, ne se sont pas enracinées de la même manière dans le champ disciplinaire. En effet, les géographes travaillant sur les villes et leurs organisations se sont très vite saisis de ces pratiques, tandis qu’elle a été plus longue à s’implanter chez les géographes ruralistes. Paradoxalement les pratiques de simulation spatiale pour les systèmes ruraux se sont assez bien développées chez les agronomes, ainsi qu’en écologie.

Dans cette section, nous aborderons l’épistémologie des pratiques de simulation en géographie pour comprendre comment la discipline s’est hybridée grâce aux concepts apportés par la théorie des systèmes complexes. Toutefois cette hybridation ne fait pas perdre de vue les anciennes pratiques. Nous verrons ensuite comment l’empirisme reste présent dans les pratiques de simulation géographique, alors que ce n’est pas toujours le cas dans les autres disciplines. En hydrologie, par exemple, il est possible de travailler sur des modèles pluie-débit pendant des années sans jamais sortir du laboratoire.

2.2.1 La genèse des modèles et des simulations en géographie

Bien que ces considérations aient été abordées précédemment (c.f. 2.1.1.2) avec l’introduction de la notion de système, il nous apparaît ici nécessaire de replacer la modélisation et l’approche par simulation dans la genèse de l’utilisation des modèles en géographie. BANOS et SANDERS (2013) identifient quatre phases dans l’appropriation de la modélisation en géographie.

La *première phase* consiste en une prise en compte de la modélisation en temps qu’appropriation du système de manière abstraite de l’ensemble des composants en interaction. DURAND-DASTÈS (2003) parle d’une *systémogénèse* par laquelle passe la géographie d’après-guerre. En effet, si dans les premiers temps de la géographie celle-ci se voulait descriptive à la manière d’E. RECLUS (VINCENT 2010), elle a glissé vers une recherche des causalités (DURAND-DASTÈS 2003).

Cette recherche de causalité systémique, nous la retrouvons dans les travaux de VIDAL DE LA BLACHE (1902) et de ses héritiers BLANCHARD (1930) et JULES (1950), notamment. Si l’approche systémique est présente, la recherche de causalité se fait essentiellement en mettant en perspective le fait social et les facteurs naturels.

La prise en considération d’une chaîne causale plus complexe commence pourtant à voir le jour dans les mêmes périodes avec les travaux très innovants de DION (1959). La géographie utilisera l’histoire (et la société) pour expliquer la persistance ou la disparition des

vignobles français. La causalité multiple, une fois acceptée, permettra aux géographes de s'intéresser aux questions d'interactions spatiales (BRUNET 1980) et/ou socio-économiques (AURIAC 2000) au sein du système. Cela conduira AURIAC (*ibid.*) à imaginer le concept de « vignoble-système » qui rompt avec l'approche de la géographie viticole de DION en ce qu'il déplace l'enjeu de la recherche et les horizons d'analyses possibles en ne considérant plus l'objet vignoble par ses singularités régionales, mais comme un système explicable par l'ensemble des processus et interactions qu'il abrite.

La *seconde* et la *troisième phase* naissent du besoin de formaliser ces interactions de manière quantitative. En la matière, les travaux de FORRESTER (1969) sur les dynamiques urbaines vont marquer la pensée d'une génération de géographes français (PUMAIN 2003 ; PROVITOLO 2006). On introduit dans l'étude de ces dynamiques des outils de gestions de flux et d'hydraulique (BANOS et SANDERS 2013). Les dynamiques et les évolutions sont approchées et reproduites par des fonctions mathématiques et la géographie entre alors dans un holisme proche de celui défendu par FISHER (1925). La distance à la représentation des processus est forte, mais les résultats sont conformes aux attentes des géographes par rapport à la réalité.

La *quatrième phase* est identifiée par BANOS et SANDERS (2013) comme celle qui verra l'apparition et l'appropriation pour les sciences humaines des théories issues des systèmes complexes. C'est l'introduction des automates cellulaires et des systèmes multi-agents dans la recherche en sciences sociales. Ces deux types d'approche sont expérimentés dans les années 1950-1960, mais se développent réellement avec l'avènement de l'informatique.

N. GILBERT et TROITZSCH (2005, p.1-14) proposent un rapide historique des simulations en sciences sociales que l'on retrouve sur la figure 2.3. Cette chronologie met en évidence l'histoire de l'adoption des modèles simulés par les sciences humaines et sociales. On y retrouve un grand nombre d'outils, dont ceux que nous avons largement mobilisés au cours de ce travail, à savoir : les automates cellulaires (AC) et les systèmes multi-agents (SMA). Nous nous concentrerons donc sur ceux-là dans la partie suivante, en orientant leur description sur les notions intéressantes pour les géographes.

2.2.2 Modélisation des systèmes complexes : les automates cellulaires et les systèmes multi-agents

Parmi l'ensemble des outils et paradigmes de modélisation répertorié par N. GILBERT et TROITZSCH (*ibid.*) comme étant mobilisé dans l'épistémologie des sciences humaines et sociales (c.f. fig. 2.3), nous proposons d'en présenter deux. Nous nous attacherons à les replacer dans les mouvements historiques, pour en souligner les héritages et les conditions de mobilisation.

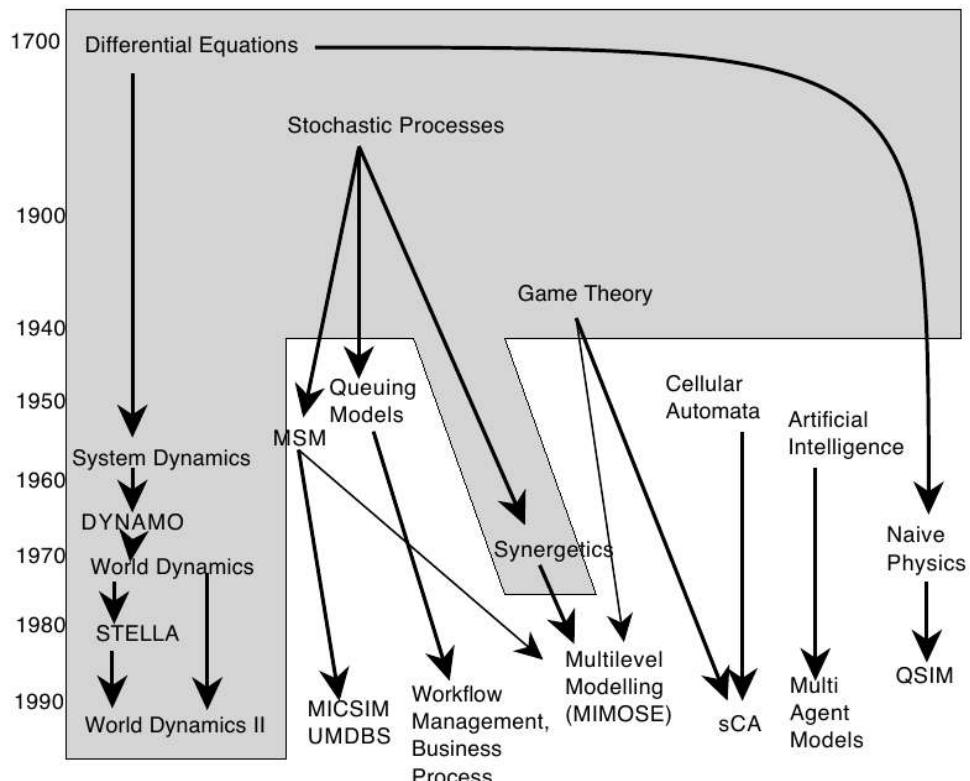


FIGURE 2.3 – Le développement de l'approche de simulation contemporaine en sciences sociales (d'après TROITZSCH 1997 dans N. GILBERT et TROITZSCH (2005, p.7)). La partie grise représente les modèles à base d'équation, la partie blanche les modèles à base d'objets, d'événements, ou d'agents. sCA veut dire *automate cellulaire utilisé pour les simulations* en sciences sociales.

2.2.2.1 Les systèmes complexes

Partiellement issue de la théorie des systèmes¹⁷ (BERTALANFFY 2012 ; PHELAN 1999), la théorie des systèmes complexes a été développée pour tenter de résoudre des problèmes de complexité désordonnée (*disorganized complexity*) relativement insolubles. Pour WEAWER (1947), c'est grâce à un changement radical de point de vue, et donc d'outils pour l'étudier, que les chercheurs se sont intéressés à la complexité organisée (*organized complexity*). À l'origine questionnée dans les champs disciplinaires comme celui de la physique, de la génétique, ou encore de l'informatique, elle a depuis une vingtaine d'années pénétré un grand nombre d'autres champs disciplinaires (MITCHELL 2009) et en particulier les sciences sociales (PHELAN 1999 ; MILLER et PAGE 2007 ; VARENNE et SILBERSTEIN 2013) et la géographie (PUMAIN 2003 ; AN 2012).

Ce champ de recherche interdisciplinaire se concentre sur la compréhension des systèmes complexes (ou des « *complex adaptive systems* » (MILLER et PAGE 2007)), ce qui comprend l'étude de systèmes et sous-systèmes hétérogènes et/ou d'entités autonomes ; lesquels ont souvent des relations non linéaires et multiples entre eux (R. AXELROD et COHEN 2001 ; AN 2012).

PHELAN (1999, p.239) d'après YALES (1978) met en évidence les apports des systèmes complexes par rapport à la théorie des systèmes comme :

« One of the basic premises of complexity theory is that much of the apparently complex aggregate behavior in any system arises from the relatively simple and localized activities of agents. Systems theory, on the other hand defines complexity as arising from a high number of parts (agents) in interactions ».

L'étude de la théorie des systèmes complexes, comme la théorie des systèmes, aborde des notions telles que : l'émergence ou l'auto-organisation, et généralement se caractérise par une grande difficulté à résoudre les problèmes posés de manière analytique (BANOS et SANDERS 2013). Cela signifie que nous ne pouvons pas prévoir le comportement du système à n'importe quel instant, car celui-là est dépendant de l'état qui le précède. Autrement dit, ce que PHELAN (1999) souligne ici consiste à considérer les comportements des systèmes complexes comme largement tributaires de phénomènes localisés. Nous comprenons donc mieux pourquoi la géographie s'est rapidement saisie des notions qu'il véhicule.

La maturité d'un champ disciplinaire se jugeant à l'aune des outils que les disciplines se forgent pour l'explorer (THOM 2009), nous pouvons remarquer aujourd'hui que l'émergence et l'adoption des théories des systèmes complexes sont allées de pair avec les avancées des capacités de calcul informatique (BANOS 2013). Ainsi ont pu se développer deux types d'outils : les Automates Cellulaires (AC) et les systèmes multi-agents (SMA), tirant

17. PHELAN (1999), explique assez bien les similitudes et les différences entre la théorie des systèmes et les systèmes complexes.

avantageusement parti de l'augmentation de la puissance de calcul et des lois de MOORE¹⁸

2.2.2.2 Les automates cellulaires

Un automate cellulaire (AC) est un réseau de cellules dans lequel chaque cellule va être dotée :

- d'un état (sous forme d'attribut) ;
- d'un nombre d'états fini ;
- d'un ensemble de règles de changement d'état.

Pour faire un peu d'histoire, les AC se sont développés à partir de 1940 (principalement en biologie et en chimie) à la suite des travaux de S. ULAM et J. VON NEUMANN ; le premier travaillant sur la croissance des cristaux en les modélisant sur une grille, et le second sur les systèmes auto replicatifs. Sur les conseils de S.ULAM, J. VON NEUMANN proposera le premier automate cellulaire de l'histoire, basé sur une grille en deux dimensions (*lattice*) où chaque cellule pourra prendre 29 états différents (J. v. NEUMANN et BURKS 1966).

Si la paternité des AC est attribuée à J. VON NEUMANN, le plus connu reste le « jeu de la vie » inventé par J. H. CONWAY en 1970 (GARDNER 1970). Cet AC est lui aussi constitué d'une grille en deux dimensions. Chaque cellule dispose de deux états : vivant et mort, et d'un comportement régi par deux règles¹⁹ :

- Si la cellule est entourée par deux ou trois cellules vivantes, elle reste vivante à la génération suivante, sinon elle meurt ;
- Si la cellule est morte et entourée par exactement trois cellules vivantes, elle naît à la génération suivante.

Ces deux règles simples permettent de générer des comportements complexes. Tout l'enjeu de l'expérience est de trouver des micro zones (donc localisées) dans lesquelles les cellules ont trouvé une stabilité (qui peut être dynamique). La figure 2.4 nous permet de visualiser à la fois la complexité issue d'une distribution aléatoire des cellules « vivantes » et « mortes », mais également au fur et à mesure de la simulation la définition de micozones stables (c.f. entre 120 et 121 itérations sur la figure 2.4). Autrement dit, nous observons l'émergence d'objets ayant une identité propre et n'étant défini par aucune des conditions ou règles du modèle.

Enfin, WOLFRAM (2002), dont nous avons déjà parlé (c.f. fig. 2.1), propose de résoudre

18. Les lois de MOORE sont des lois empiriques. La première loi de MOORE exprimée en 1965 dans « *Electronics Magazine* » postule, qu'à coût constant, la complexité des processeurs en entrée de gamme, et donc dans une certaine mesure leur puissance, doublerait tous les ans. Cette loi s'est révélée étonnamment exacte de 1971 à 2001. C.f. http://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Moore, site consulté le 10 février 2015.

19. Description issue de Wikipédia : http://fr.wikipedia.org/wiki/Automate_cellulaire#Le_jeu_de_la_vie, site consulté le 4 janvier 2015

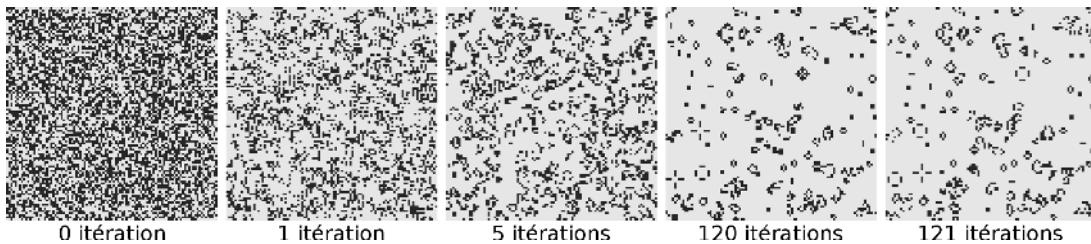


FIGURE 2.4 – Le « jeu de la vie » de J. H. CONWAY, à plusieurs instants.

un très grand nombre de problèmes qui se posent en informatique, en biologie, ou encore en mathématiques ou en sociologie par l’intermédiaire d’AC aux règles plus ou moins complexes.

On peut considérer l’utilisation des AC particulièrement intéressante pour les sciences humaines et sociales, car ils permettent : 1) de formaliser des règles de changement d’état qui peuvent être proches des phénomènes étudiés, 2) d’utiliser des notions de voisinages et donc d’introduire l’espace par l’intermédiaire de la grille. L’AC du « jeu de la vie » est particulièrement représentatif de cette prise en compte de l’espace.

D’un point de vue des sciences humaines et sociales, nous pourrons davantage nous intéresser au modèle proposé par SCHELLING (1971). Ce dernier invite à explorer des « modèles dynamiques de ségrégation » au travers du phénomène de ségrégation raciale spatiale qui se manifeste à l’insu des acteurs²⁰. Sur une grille en deux dimensions, T. SCHELLING dispose des individus noirs et des individus blancs (une cellule est un individu). Il ajoute ensuite plusieurs cas de figure avec des individus plus ou moins tolérants à la différence. Si le seuil de tolérance à la différence est dépassé, l’individu change de cellule pour une autre cellule inoccupée disposant de caractéristiques meilleures que la précédente. Les simulations montrent qu’après un grand nombre d’itérations, des agrégats se formaient, et cela même quand le racisme appliqué au système est faible (c.f. configuration a) fig. 2.5).

Ce type de modèle peut également être pensé comme la première étape dans un processus de réflexion à des échelles spatiales connues. E. DELAY, REULIER *et al.* (2014) se servent d’un automate cellulaire pour tester des mécanismes à un niveau micro (infra régional pour la France). L’idée est de proposer des *scenarii* prospectifs à des échelles plus larges dans le but de mener des politiques publiques à l’échelle régionale ou nationale.

Dans ce type de simulation, les configurations stylisées permettent malgré tout de garder le sens des résultats en sortie de modèle, ce qui permet de mobiliser facilement

20. Nous pourrons lire une analyse critique du modèle de ségrégation de T. SCHELLING par DAUDÉ et LANGLOIS (2007). Il est montré en particulier que la densité des cellules « actives » joue un rôle important. En effet, s’il y a trop d’espace entre elles, les problèmes de ségrégations sont moins prenantes. Vient alors la question de la validité du modèle en monde rural.

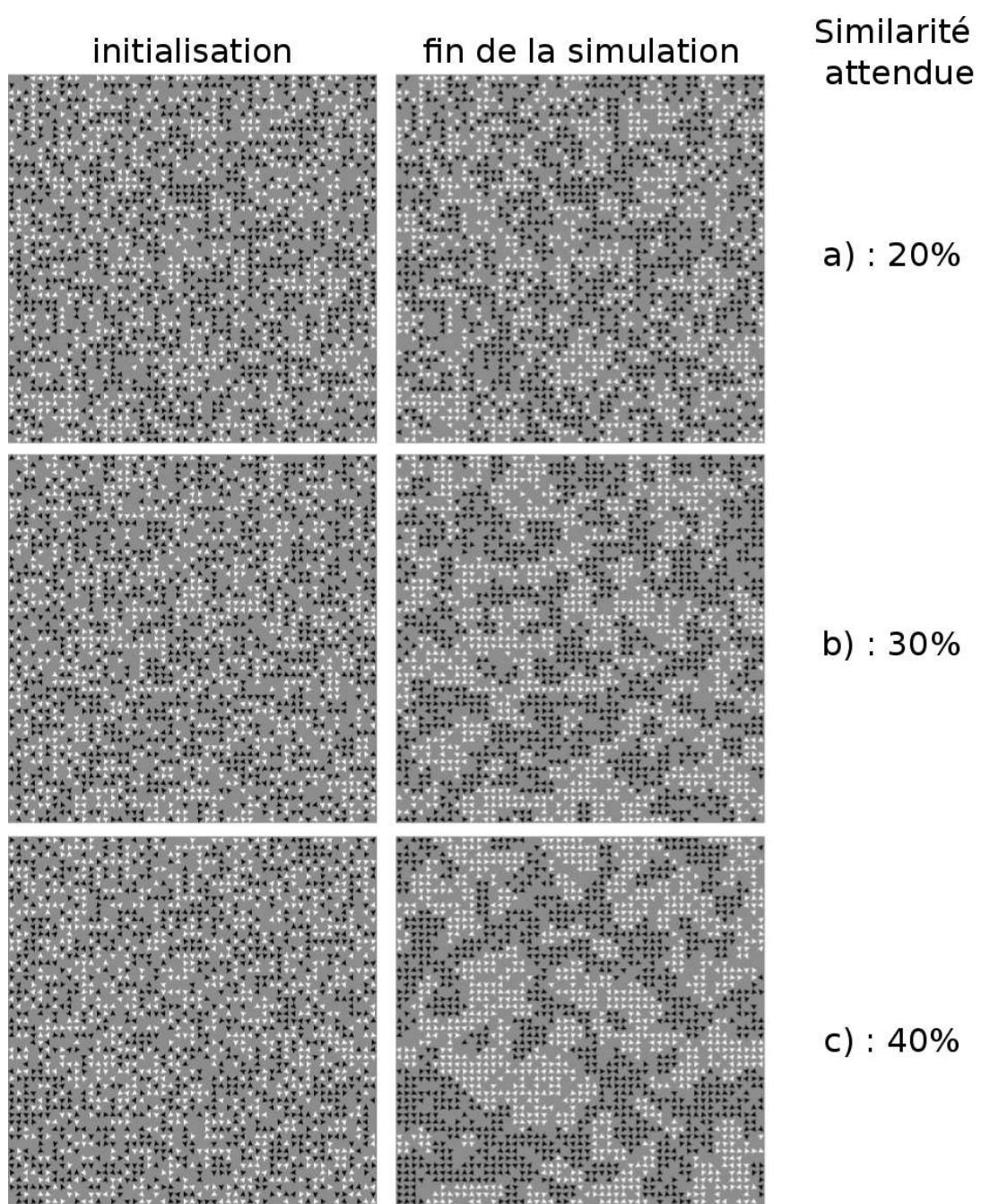


FIGURE 2.5 – Le « Processus de ségrégation raciale » par l'espace mis en évidence par SCHELLING (1971)

ce type d'outils. Cependant, une objection de taille est souvent opposée à ce type d'approche : « la sous détermination des modèles par les faits » (VARENNE 2011, p.179), ce qui est particulièrement vrai quand on s'arrête à des constatations de forme. Dans le cas de la figure 2.5 il faudrait également suggérer des évolutions d'indicateurs (indice de fragmentation, distance moyenne ,etc.).

2.2.2.3 Systèmes multi-agents

Les paradigmes qui sous-tendent la modélisation à base d'agents sont directement issus des critiques retenues contre les AC. En effet, ces derniers nécessitent un haut niveau d'abstraction des phénomènes étudiés, rendant leur interprétation parfois hasardeuse²¹. Dans les années 1990, un groupe de chercheurs en sciences humaines et sociales a initié un travail sur de nouveaux outils permettant de modéliser et de simuler des comportements de manière moins stylisée que ce qui était alors permis dans les AC (G. N. GILBERT et CONTE 1995 ; N. GILBERT 1995b ; FERBER 1995 ; DROGOUL et COLLINOT 1997 ; CONTE 2000). La modélisation à base d'agents représente alors une manière plus complexe et plus souple de modéliser et de simuler les systèmes complexes. L'entité de base est constituée d'agents qui peuvent être une multitude de choses différentes. FERBER (1995, p.13) définit les agents comme :

- "[...] une entité physique ou virtuelle :
1. qui est capable d'agir dans un environnement ;
 2. qui peut communiquer directement avec d'autres agents ;
 3. qui est mue par un ensemble de tendances (sous forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction, voire de survie, qu'elle cherche à optimiser),
 4. qui possède des ressources propres ;
 5. qui est capable de percevoir (mais de manière limitée) son environnement ;
 6. qui ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement (et éventuellement aucune) ;
 7. qui possède des compétences et offre des services ;
 8. qui peut éventuellement se reproduire ;
 9. dont le comportement tend à satisfaire ses objectifs, en tenant compte des ressources et des compétences dont elle dispose, et en fonction de sa perception et des communications qu'elle reçoit".

21. On notera par exemple le « principe de raison suffisante ». Cela peut amener à des conclusions spécieuses vis-à-vis des résultats du modèle de SCHELING (VARENNE 2011).

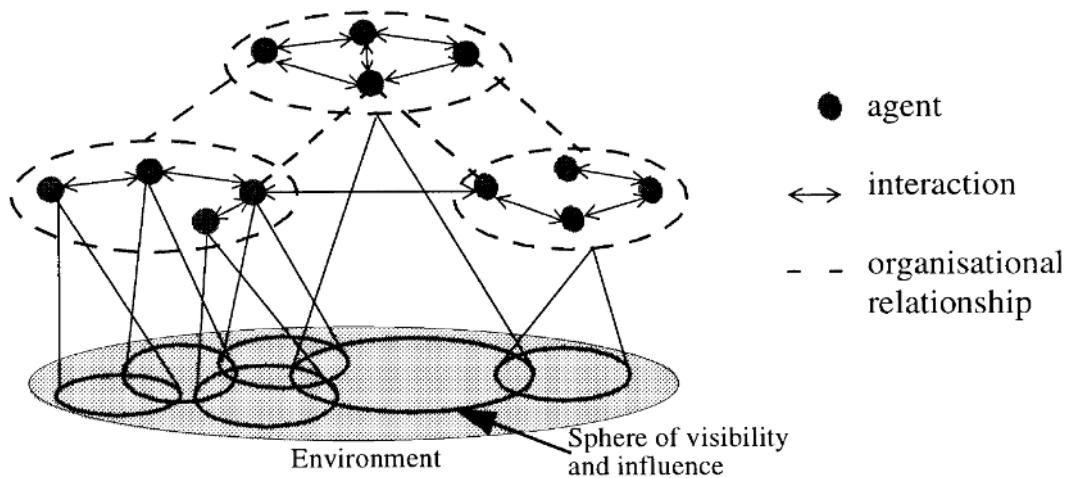


FIGURE 2.6 – Forme canonique d'un système multi-agents proposé par JENNINGS (2000, p.281)

Si cette définition est très large, elle apporte néanmoins des précisions sur la nature des agents et lève le voile sur leur fonctionnement. Nous soulignons ici qu'ils peuvent être des entités « physiques », c'est-à-dire existantes physiquement et pouvant dès lors avoir une action dans le monde réel (typiquement des individus, mais cela peut aussi être un avion, une voiture, etc.), ou « virtuelles », c'est-à-dire n'existant pas physiquement (typiquement des entités abstraites comme des organisations d'individus).

Le second point sur lequel nous souhaitons revenir dans cette définition est la place de l'autonomie et de l'environnement. En effet, chaque agent va se voir doter d'un comportement autonome (ce qui simplifie largement la conception du contrôle passablement complexe dans les configurations de simulation plus traditionnelles), et va réagir à des stimulations qui lui sont propres. On retrouve donc dans ce type de modélisation ce qui faisait l'intérêt des automates cellulaires pour les géographes en termes de résolution des problèmes locaux. Nous sommes donc face à une intelligence artificielle distribuée (entre les agents). Sur la figure 2.6, JENNINGS (2000) schématise bien à la fois les interactions que peuvent avoir les agents entre eux (flèches), mais aussi leur influence locale sur leur environnement (cercles).

Ce qui différencie vraiment les automates cellulaires des systèmes multi-agents est l'hétérogénéité des agents en présence (CONTE 2000). En effet, pour les AC, chaque cellule de la grille représente le même type d'agent qui aurait un comportement variant en fonction des caractéristiques locales. Dans le cas d'un SMA, la diversité des agents explose littéralement (JANSSEN et OSTROM 2006).

Or cette explosion n'est pas sans poser d'autres problèmes. En particulier se pose la question de la formalisation des interactions. Deux écoles de pensées se matérialisent.

La première se compose des partisans d'une modélisation et de simulations **KISS** pour « *Keep It Simple and Stupid* », comme R. M. AXELROD (1997) qui propose d'opter pour des pratiques de modélisation parcimonieuses du point de vue des hypothèses. Pour lui, ce sont les résultats qui sont complexes, pas les hypothèses. De ce point de vue, les travaux de EPSTEIN et R. AXTELL (1996) sont particulièrement connus. Ces derniers proposent, à partir de leur expérience du *sugarscape*²², un « paysage » artificiel dans lequel évolue une « société » d'agents sur laquelle les auteurs vont expérimenter l'introduction de grandes caractéristiques génériques comme le commerce, la maladie, la culture et les conflits au travers de l'introduction d'un nombre très limités de paramètres.

La seconde approche a été développée par EDMONDS et MOSS (2005) et se nomme **KIDS** pour *Keep It Descriptive, Stupid!*. Elle se concentre sur les mécanismes sous-jacents du système afin d'en produire une représentation plus descriptive. Cette approche requiert, à notre avis, une meilleure connaissance formelle des situations simulées et autorise beaucoup moins de flexibilité aux modélisateurs. Nous nous éloignerons de la démarche *KIDS* à partir du moment où nous nous intéresserons à ce que SIMON (1996) appelle des « *poorly understood systems* ». En effet, là où *KISS* permet de prendre des raccourcis dans le formalisme, en ne prêtant attention qu'aux résultats et en les confrontant aux observations, avec *KIDS*, la manière de formaliser les interactions est centrale. Les modèles sont beaucoup plus guidés par les données expérimentales (BANOS et SANDERS 2013), ce qui rend cette méthode moins généralisable, mais beaucoup plus propice à éclairer une situation bien délimitée.

Cela dit, de l'aveu même de EDMONDS et MOSS (2005), aucun modèle n'est tout à fait *KISS* et complètement *KIDS*. La proportion des deux varie en fonction des situations modélisées et de la connaissance empirique qu'en ont les modélisateurs/observateurs. Pour JANSSEN et OSTROM (2006, p.7) « the best model balance the goodness of fit and the ability to generalize ».

On constate donc ici la multitude de cas où la modélisation à base d'agents peut s'avérer un outils propice au développement de théories, ce qui explique l'engouement croissant autour de ces méthodes d'exploration. D'un point de vue disciplinaire, la géographie et les sciences qui s'intéressent à l'espace ne sont pas en reste. Nous proposons de procéder à une rapide revue de leurs pratiques.

2.2.2.4 Systèmes multi-agents et utilisation de l'espace

Le passage des AC au SMA a introduit une plus grande flexibilité à la fois dans la pratique de modélisation et dans la diversité des processus modélisables. On comprend

22. *Sugarscape* provient du fait qu'ils ont imaginé un monde composé de sucre « This is simply a spatial distribution, or topography, of "sugar", a generalized resource that agents must eat to survive » (EPSTEIN et R. AXTELL 1996).

donc l'intérêt que porte une part croissante de géographes pour ce type d'outils qui ouvre la voie à une approche computationnelle des problématiques traitées en géographie humaine (OPENSHAW 1994; OPENSHAW 1998). Une partie de la littérature sur la modélisation à base d'agents en géographie traite de problématiques autour de l'usage des sols et du couvert végétal par les sociétés.

Les SMA examinant les dynamiques spatiales de l'usage des sols (*Land-use and Land-cover change*) tirent avantage de la diversité des agents modélisables et combinent généralement deux composants :

« *The first component is a cellular model that represents the landscape over which actors make decisions. The second component is an agent-based model that describes the decision-making architecture of the key actor in the system under study. These two components are integrated through specification of inter-dependencies and feedbacks between the agents and their environment.* » (PARKER, MANSON *et al.* 2003, p.314)

Ce type de modélisation comble donc l'écart important qui pouvait perdurer entre l'analyse descriptive des liens entre les facteurs socio-économiques et les dynamiques paysagères issues de l'utilisation des sols. La grande force de leur utilisation dans ce contexte réside dans leur composant spatialément explicite. Cela offre aux modélisateurs la possibilité d'intégrer des quantités définies d'agents dans des espaces prédéterminés, mais surtout, à la différence des modèles aspatiaux, de mesurer la réponse des agents sur l'environnement lui même. (PARKER et MERETSKY 2004).

Ces modèles servent alors de laboratoire social virtuel (AMBLARD 2010) dans lesquels il devient possible d'explorer les liens entre les comportements d'usage des sols et le résultat paysager (PARKER, MANSON *et al.* 2003), d'explorer des intuitions à propos de *patterns* observés sur les territoires, de créer des *scenarii* de développement du paysage sous contrainte ou encore de tester les effets de politiques d'aménagement sur le comportement de ce dernier (VELDKAMP et LAMBIN 2001 ; ROBINSON *et al.* 2007).

Les questions abordées par la modélisation spatialément explicite, et ce quelque soit l'orientation conceptuelle donnée au modèle, nous laissent entrevoir le changement qui s'opère dans le positionnement du modèle vis-à-vis de la démarche de recherche. En effet, dès lors que sont prises en compte la complexité spatiale et la complexité sociale des interactions, les questions abordées par la modélisation ont tendance à se positionner dans le champ des sciences « post-normales » proposé par FUNTOWICZ et RAVETZ (1993). Ces derniers identifient une rupture dans la manière de construire et de concevoir la science, au moment où les questions auxquelles elles tentent de répondre nécessitent de faire face à de grandes d'incertitudes et intégrant plus volontiers l'influence des humanités.

Plutôt que d'ignorer l'inconnue ou la complexité inhérente aux comportement humains, les sciences post-normales l'associent en essayant de la circonscrire en utilisant comme centre de résolution des problèmes une communauté de pairs. Le scientifique doit sortir de l'isolement de la recherche pour laisser la société être co-acteur de ses réflexions²³. Ce déplacement de la place du chercheur n'est pas sans rappeler la place de la construction des hypothèses dans les approches empiriques, plus particulièrement dans celles de la théorie ancrée (*grounded theory*) (PAILLÉ 1994). Même si les domaines d'utilisation ne se recouvrent pas, ce type d'approche est soluble dans la démarche de modélisation « bottom-up » de l'approche COMMOD (BARRETEAU 2003a). Il est alors nécessaire de considérer les hypothèses de recherche non plus comme présupposées mais comme émergeant du travail et des données de terrain.

2.2.3 L'empirisme dans la modélisation à base d'agents

La question de l'empirisme se dessine en filigrane de ce début de chapitre. En effet, quand nous évoluons dans l'univers des sciences humaines et sociales, il est souvent difficile d'avoir accès à des données quantitatives, et les données qualitatives sont souvent vues comme des données « non scientifiques », subjectives, biaisées, etc. (EDMONDS 2015 ; GHORBANI *et al.* 2015). Si ces critiques peuvent être dans certains cas fondées, les données quantitatives ne sont pas non plus dépourvues de biais. Les inconvénients des premières ne justifient pas de ne pas s'y intéresser. Or la modélisation à base d'agents procure de nouveaux outils aux sciences humaines et sociales permettant de tester des situations d'interactions sociales et spatiales de manière informatique. Par là, elles accèdent aux construits formels et, de ce fait, participent au développement commun des sciences :

« *formal models are essential to science, not because they are more "true" than other kinds of model, but that they facilitate a collective and progressive development of knowledge between researchers* » EDMONDS (2015, §1.2)

Le modèle produit par simulation des résultats pouvant être confrontés aux observations, ce qui permet aux chercheurs d'évaluer la distance symbolique entre modèle et réalité avant de replonger dans un cycle de modélisation/simulation.

2.2.3.1 Du besoin de formalisation des hypothèses

Dans tous les cas, les simulations produisent des résultats qui doivent être ensuite interprétés à différents niveaux. Pour AMBLARD (2010, p.72),

23. « *The researchers' choice of problems and evaluations of solution are equally subjected to critical scrutiny, and their priority disputes are similarly dragged out into the public arena* » (FUNKOWICZ et RAVETZ 1993, p.753)

« il s'agit [...] ici de mettre en place une interprétation à deux niveaux de ses résultats. Tout d'abord au niveau du modèle lui-même, la simulation étant [...] un mécanisme à produire des résultats, il s'agit de l'identifier clairement, de construire une théorie du comportement du modèle avant de réaliser une mise en perspective de cette théorie par rapport au phénomène réel étudié. Cette dernière comparaison étant celle qui porte clairement l'intérêt de la démarche [...]. »

Or les résultats des simulations ne sont intéressants qu'à l'aune des hypothèses qui ont permis la construction du modèle. Un travail conséquent a été fait dans ce sens par GRIMM, U. BERGER, BASTIANSEN *et al.* (2006), GRIMM, U. BERGER, DEANGELIS *et al.* (2010) et RAILSBACK et GRIMM (2011) pour proposer une formalisation dans la description des modèles à base d'agents. Cette description est basée sur trois axes : *Overview*, *Design* et *Details* (couramment appelée *ODD*), et offre une description unifiée des modèles pour en faciliter la diffusion.

Ce formalisme de description propose de séparer d'un côté la description du modèle indépendamment des choix d'implémentation (*Overview* et *Design*) et de l'autre les *Details* expliquant clairement les interactions pour permettre plus facilement aux lecteurs la reproduction des résultats. Cette structuration sépare les considérations littéraires des descriptions d'organisation mathématiques et/ou informatiques, et ainsi permet d'entrer de manière graduelle dans la complexité du modèle. Le lecteur passe un à un les différents cercles concentriques qui le mèneront à saisir l'ensemble des détails de l'implémentation et donc à comprendre la portée des résultats.

Au protocole *ODD*, développé originellement pour l'écologie, s'ajoute également une extension *ODD+D* proposée par B. MÜLLER *et al.* (2013) visant à ajouter des étapes de description de formalismes plus spécifiques aux processus de décisions humaines.

Pour qu'un SMA soit acceptable, voire accepté par la société scientifique, il importe donc de s'inscrire dans une grande rigueur du point de vue de la description du modèle et des processus en jeu (ce qui est facilité par l'*ODD*). Or entrer dans une description fine des relations et processus en jeu a soulevé et soulève encore de grandes interrogations pour les chercheurs partisans d'approches empiriques (JANSSEN et OSTROM 2006 ; ROBINSON *et al.* 2007 ; SMAJGL, BROWN *et al.* 2011 ; SMAJGL et BARRETEAU 2013a ; EDMONDS 2015), et en particulier concernant la prise en compte des micro-processus et de leurs influences sur le système (M. NEUMANN 2015).

Si l'intérêt de la démarche d'explicitation des hypothèses est largement plébiscité (JANSSEN et OSTROM 2006) pour ce qu'elle fait gagner en crédibilité aux sciences humaines et sociales, il reste important de bien identifier les forces et faiblesses des différents types de données empiriquement acquis, comme nous pourrions le faire pour un modèle statistique,

à partir de la capacité des simulations à s'approcher du « réel »²⁴. Mais dans une approche empirique de modélisation, le processus de construction du modèle ne peut pas être séparé du test des hypothèses, ce qui est largement plébiscité dans l'approche classique de test d'hypothèses. Du fait même d'une approche *bottom-up*, la construction de modèle se fait par d'incessants aller-retour entre le modèle et le réel simulé (BARRETEAU 2003b).

2.2.3.2 De la nécessité de l'analyse de sensibilité dans la validation de processus empiriques

Dans les approches empiriques de modélisation, un grand nombre de paramètres sont approchés ou déduits du travail de terrain et des entretiens avec les acteurs, mais il y a toujours des variables dont la paramétrisation reste inconnue ou sujet même du questionnement du modèle. L'observateur ou modélisateur passe donc par une phase de calibration du modèle. Ce travail peut se faire de manière continue, durant la construction et l'ajout des nouveaux processus au modèle, par une dialectique essai-erreur entre le modèle et la représentation que s'en fait le modélisateur (SCHMITT *et al.* 2014).

Malgré la place prise par l'utilisation des SMA en sciences sociales, aucune solution n'a encore, à proprement parler, émergé en tant que technique de description des phases de calibration et validation de modèle, ou, en tout cas, rien de comparable à ce que GRIMM, U. BERGER, DEANGELIS *et al.* (2010) ont proposé pour la description des modèles. Pour l'illustrer, THIELE *et al.* (2014) ont évalué, à partir des publications dans *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* et *Ecological Modelling*, le nombre d'articles qui exposent dans leur déroulé les paramètres utilisés lors de la calibration. Ils ont compté respectivement 14% et 37% des articles recensés qui définissent les paramètres de calibration, et respectivement 12% et 24% qui intègrent une analyse de sensibilité de leur modèle.

THIELE *et al.* (*ibid.*) définissent l'analyse de sensibilité comme :

« Sensitivity analysis helps identify those parameters that have a strong influence on model output, which indicates which processes in the model are most important. Moreover, if inputs of the model are uncertain, which is usually the case, sensitivity analysis helps assess the importance of these uncertainties. If the model is robust against variations in the uncertain parameters, i.e., model output does not vary strongly when the parameter values are varied, the uncertainties are of low importance. »

C'est toute la force des SMA d'inclure une très grande variété d'interactions (sociale, économique, etc.) entre agents (localisés), et c'est de cette interaction qu'émergent des

24. Avec toute la subjectivité qu'implique l'accès au réel. C.f l'école du Palo-Alto et en particulier les travaux de WATZLAWICK (1984).

dynamiques complexes. Cependant, le fait d'avoir une multitude d'agents, et donc une multitude d'interactions, peut engendrer, sous certaines contraintes, des comportements inattendus. C'est pour comprendre finement l'étendue des variations de comportements du modèle que les analyses de sensibilité sont incontournables. Sans elles, la compréhension du modèle ne reste que superficielle.

Or, considérant le sondage de THIELE *et al.* (2014), dans plus des 2/3 des articles aucune garantie n'est donnée que l'analyse de sensibilité a été effectuée, ce qui laisse planer des doutes sur la validité des résultats publiés et encore plus sur leur reproductibilité (c.f. controverse entre R. L. AXTELL *et al.* (2002) et JANSSEN (2009) sur le champ de validité des résultats du modèle Anasazi).

Pourtant les outils de calibration et d'analyse de sensibilité existent dans la majorité des situations et des *frameworks* de modélisation²⁵, mais les pratiques de modélisation en écologie ou en sciences sociales font figure « d'amateurisme » au regard des pratiques en informatique, et surtout du point de vue du *design* d'expérience (LORSCHEID *et al.* 2012).

L'une des raisons qui peut expliquer la difficile pénétration de ces pratiques dans les approches de modélisation à base d'agents est peut-être liée aux limites informatiques qui avaient lieu quelques années auparavant²⁶. En effet, une analyse de sensibilité nécessite de produire un certain nombre de réplications du modèle dans un jeu de paramètres donnés, avant de tester une autre configuration. Suivant la taille de l'espace des paramètres qu'on voudra explorer, on s'exposera à une augmentation exponentielle du nombre de simulations de chaque paramétrisation à faire fonctionner. Or si aujourd'hui il est possible sur des ordinateurs de bureau de paralléliser 8 à 10 simulations, il n'est pas loin le temps où nos processeurs n'étaient dotés que d'un seul cœur. Parallèlement le nombre d'équipements de calcul intensif s'est largement démultiplié ces dernières années, que ce soit sur des clusters universitaires²⁷, ou les VO (*Virtual Organization*²⁸) ; qui lancent de manière coopérative des calculs plus lourds.

Dans cette section, nous avons esquissé les contours de l'évolution des pratiques de modélisation et de simulation de manière générale en proposant aussi souvent que possible, les pratiques géographiques. Nous sommes donc revenus sur les rôles de la simulation et ses

25. Le *behavior space* (TISUE et WILENSKY 2004) et le *behavior search* (STONEDAHL et WILENSKY 2011), pour netlogo par exemple, mais des équivalents existent pour GAMA-plateforme (GRIGNARD *et al.* 2013), CORMAS (BOUSQUET *et al.* 1998), ou encore MASON (LUKE *et al.* 2003). Par ailleurs, on peut aussi souligner l'existence d'outils génériques comme OpenMOLE (*Open MOdeL Experiment*) qui encapsulent une grande variété d'outils (REUILLO, LECLAIRE *et al.* 2013).

26. À BANOS (2013, p.31) de poser la question : « Et si le vrai luxe c'était le calcul ? ».

27. Comme le cluster CALI (CAlcuL en LImousin), de l'Université de Limoges, financé par la région Limousin, les instituts XLIM, IPAM, GEIST, ou l'Université de Limoges, qui comptabilisent 500 coeurs.

28. Comme *The Complex Systems VO*, qui est une grappe de clusters comptabilisant plus de 10000 coeurs.

implications dans la théorie des systèmes complexes. Nous avons souligné les contraintes épistémologiques qui ont poussé la communauté scientifique à changer de paradigme de modélisation par simulation en passant des Automates Cellulaires (AC) aux Systèmes Multi-Agents (SMA) en intégrant plusieurs niveaux de représentation et ainsi lever les contraintes conceptuelles liées aux AC.

Si la modélisation était l'apanage des sciences expérimentales, nous avons également souligné la manière dont les sciences empiriques mobilisent les outils pour aborder leurs questions disciplinaires sous un angle nouveau.

Cela nous a également amené à considérer le lot de contraintes inhérentes aux systèmes à base d'agents et en particulier celles de la formalisation de la description et des résultats au travers de l'ODD et de l'analyse de sensibilité. Fort de cette contextualisation, nous pouvons maintenant entrer plus spécifiquement dans nos problématiques. C'est ce que nous ferons dans la section suivante.

2.3 Caractériser notre pratique de modélisation et ses implications géographiques

Nous avions besoin de cette longue introduction théorique aux pratiques de modélisation en général et au paradigme de la modélisation à base d'agents pour pouvoir sereinement nous engager dans la description de notre méthodologie de travail et à la présentation des différents modèles que nous avons développés.

Notre travail s'inscrit dans la théorie ancrée (PAILLÉ 1994 ; M. NEUMANN 2015). En effet, l'ensemble des questions que nous abordons ici a émergé des observations directes effectuées sur nos deux terrains d'étude (c.f. part 1.2), des interactions locales avec les acteurs, ou des questions animant la communauté scientifique.

Le recours à l'ontologie que nous avons développée dans le chapitre 1 (c.f. 1.1.1) nous a permis d'identifier les concepts clefs et les relations qu'ils entretiennent avec le domaine de recherche (M. NEUMANN 2015), et ainsi augmenter la transparence dans la construction des théories et dans les possibilités de transportabilité des résultats (LIVET *et al.* 2010 ; J.-P. MÜLLER et AUBERT 2011).

L'ontologie qui nous permet d'aligner terroir et territoire (fig. 1.4) nous a offert la possibilité de formaliser les spécificités de la viticulture de montagne et de fortes pentes, cette dernière ayant comme particularité de mobiliser toute l'ontologie, mais avec une très forte prégnance de la topologie influençant les autres concepts. Cela nous a amenés à expérimenter ce que M. NEUMANN (2015) appelle *theoretical coding*, qui consiste à identifier des catégories ou des mots clefs à partir du travail de terrain pour ensuite augmenter le niveau d'abstraction issu de ces mots clefs pour aboutir à un niveau théorique plus

généralisable.

Au milieu des lignes de force qui traversent l'histoire des sciences, et en suivant ce précepte, nous avons opté et exploré plusieurs types de postures méthodologiques en nous inscrivant parfois comme partisans d'une approche holiste, optant plus souvent pour un individualisme méthodologique (c.f. part 2.3.2). Nous avons construit une constellation de modèles à base d'agents pour, à chaque fois, tenter d'explorer certaines composantes du vignoble-système. Ces questionnements ont tous été identifiés par les acteurs locaux ou par la communauté technique et scientifique qui gravite autour de nos territoires d'étude. Dans tous les cas, nous essaierons de nous inscrire à la suite de la voie tracée par les géographes dans l'exploration des systèmes complexes (PORTUGALI 1997; PUMAIN 2003; BANOS 2013), tout en essayant, comme le suggère PUMAIN (2003) et EDMONDS et MOSS (2005) ou encore SMAJGL et BARRETEAU (2013b), de trouver une voie entre réductionnisme et holisme, *KISS* et *KIDS*, et les approches empiriques.

Dans la section 2.3.1, nous expliciterons notre méthode et nos positions, puis nous introduirons les différents modèles qui seront détaillés dans les chapitres suivants en les positionnant dans le paysage des SMA décrit au début de ce chapitre. Cela permettra de parcourir les différentes échelles spatiales et les différentes questions de modélisation abordées de manière individuelle.

Puis dans la section 2.3.2, nous positionnerons les modèles produits vis-à-vis de l'ontologie du système viticole de montagne et de fortes pentes, afin de comprendre les concepts recouverts par les différents modèles et donc les différentes questions identifiées dans notre ontologie (c.f. chapitre 1). Enfin nous montrerons comment chaque modèle se positionne par rapport aux autres en fonction des paradigmes de modélisation qui les sous-tendent (stylisé, particulier, KIDS-KISS).

2.3.1 Notre positionnement face aux pratiques de modélisation

Dans cette partie nous nous appliquerons à définir les méthodes d'acquisition de données que nous avons mobilisées pour ce travail et nous les situerons dans la littérature propre aux systèmes multi-agents et aux recherches empiriques menées dans le domaine. Ce qui nous conduira ensuite à décrire succinctement les différents modèles que nous retrouverons ensuite de manière plus détaillée dans les chapitres 3, 4 et 5. Enfin nous positionnerons ces modèles les uns par rapport aux autres pour comprendre les domaines théoriques mobilisés.

2.3.1.1 Positionnement des empiristes dans la complexité

Le monde empirique pouvant faire face à une multitude de situations, le nombre de méthodes d'acquisition de données pour la paramétrisation des modèles de simulations

n'a cessé d'augmenter. Ainsi quand JANSSEN et OSTROM (2006) proposent de différencier quatre méthodes d'acquisition, ROBINSON *et al.* (2007) en analysent et en proposent cinq. SMAJGL et BARRETEAU (2013b) en relèvent quant à eux 15 types pouvant se recouvrir partiellement. Parmi ceux-ci nous compterons : l'observation participative, les sondages, les *focus groups*, le « dire d'expert », les *Field or Lab Experiments* .

Dans l'optique de comprendre les effets des différents types de modélisations, ROBINSON *et al.* (2007) proposent d'étudier comparativement les cinq types d'approches empiriques qu'ils ont relevés, ce qui les conduit à les positionner les uns par rapport aux autres sur quatre graphiques en fonction des différents types d'informations qu'ils véhiculent (c.f. fig. 2.7). Nous visualisons alors très bien les forces et les faiblesses des différentes approches et nous en déduisons leurs cas d'utilisation.

Ainsi, comme nous le verrons rapidement en nous basant sur la figure 2.7, nous avons utilisé principalement deux des cinq approches : EXP (*Field or Laboratory Experiment*) et CM (*companion Modeling*). Mais comme le souligne SMAJGL et BARRETEAU (2013b, p.8), « *the majority of cases require a combination of data elicitation method* ». Ainsi dans nos travaux, nous avons cherché à multiplier l'emploi de différentes méthodes afin de parvenir à une acquisition de données de qualité (c.f. chap. 3, 4 et 5). Nous avons en particulier fait appel à :

- des entretiens (*interviews*) avec les viticulteurs, les techniciens, et les habitants. Dans ces entretiens nous avons notamment cherché à acquérir des données sur les motivations des pratiques culturelles et culturelles ;
- de la mise en situation (ce que SMAJGL et BARRETEAU (*ibid.*) appellent *knowledge engineerin methods*), qui consiste à mettre des acteurs face à des objets pour favoriser leurs retours (BECU, PEREZ *et al.* 2003; BECU, RAIMOND *et al.* 2014). Une approche que nous avons largement mobilisée ;
- le « dire d'expert » ou *expert knowledge* qui consiste à se baser sur un ensemble de sources formelles ou informelles. Dans certains cas il peut se rapprocher du *knowledge engineering methods* quand les experts valident ou invalident des résultats des modèles, mais cela peut aussi prendre la forme de paramétrisation en s'appuyant sur la littérature ;
- dans quelques cas, nous nous sommes également retrouvés dans une approche de type *field experiment* (HARRISON et LIST 2004). Ce type d'approche est proche des *knowledge engineering methods*, mais vise à faire manipuler le modèle à des personnes extérieures.

TUBARO et A. A. CASILLI (2010) et A. CASILLI *et al.* (2014) décrivent les chemins que prend la démarche scientifique en sciences sociales (fig. 2.8). On y différencie dans le cadre de gauche les étapes de la recherche qualitative, et dans le cadre de droites, les étapes de la recherche purement basée sur les SMA. Pour TUBARO et A. A. CASILLI (2010),

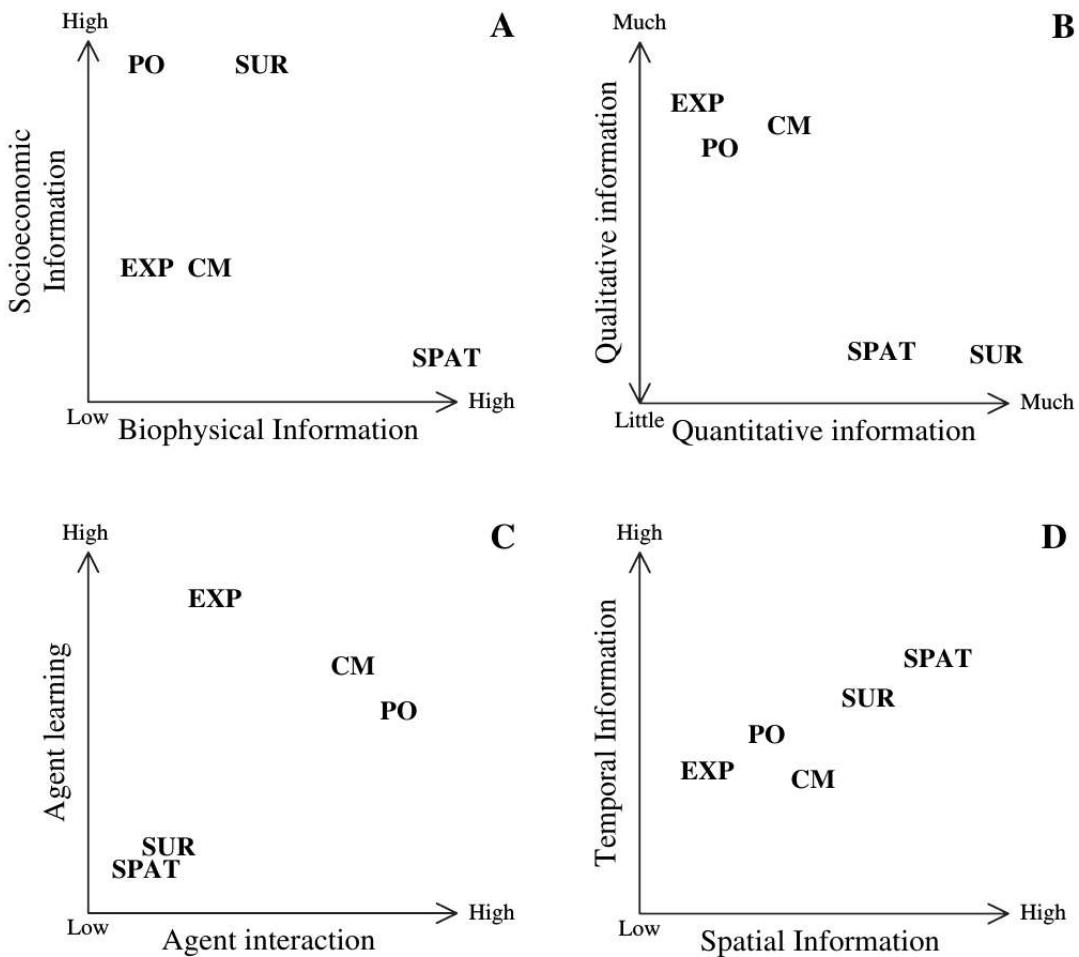


FIGURE 2.7 – Comparaison de cinq approches empiriques de modélisation issues de l'article de ROBINSON *et al.* (2007). Pour légende : SUR pour *Survey*, PO pour *Participant Observation*, EXP pour *Field or Laboratory Experiments*, CM pour *companion Modeling* et SPAT pour *GIS and Sensed Spatial Data*. Les graphes permettent de comparer les différentes approches empiriques vis-à-vis de (A) leur capacité à révéler l'hétérogénéité spatiale et sociale, (B) leur capacité à révéler les interactions entre agents par rapport aux capacités d'apprentissage de ceux-ci, (C) leur capacité à produire des données quantitatives ou qualitatives à propos des agents et enfin, (D) la spatio-temporalité des données fournies.

la forme caractéristique de papillon montre comment les deux types d'approche peuvent tirer avantageusement partie les unes des autres.

En intégrant ce schéma, l'hétérogénéité des données recueillies sur le terrain (A sur la fig. 2.8) et le besoin d'abstraction de la réalité « pure » livrée par les acteurs passent ensuite par le filtre de la formalisation des hypothèses pour identifier ce qui est « donné » afin de construire une théorie (B) et de la modéliser. C'est ce cheminement de l'information et de formalisation des processus que nous présentons ensuite.

2.3.1.2 Une constellation de modèles

Pour approcher une réalité de la viticulture de montagne, nous avons procédé à l'exploration de manière explicite à travers un double filtre (c.f. fig 2.9) (BOMMEL 2009, p.46).

Le premier filtre est celui de l'approche ontologique (n° 3 fig. 2.9) sur les objets conceptuels que nous avons présentés dans le chapitre 1 (part. 1.1.1). Il nous a permis d'isoler, à partir de la littérature (n° 1 fig. 2.9) et des comportements et stratégies d'acteurs (n° 2), les concepts qui sont mobilisés dans l'approche « terroir » et « territoire ». La construction de l'ontologie et sa complexification itérative par l'enrichissement de notre pratique de modélisation (n° 4) participent de ce premier filtre.

Le second consiste à utiliser nos interactions avec les acteurs pour nourrir notre pratique de modélisation. Ainsi à partir d'entretiens (*interviews*), de mises en situation (*knowledge engineerin methods*), ou à dire d'expert (*expert knowledge*), nos modèles se sont singularisés et enrichis (n° 5 et n° 6) pour constituer un ensemble de systèmes multi-agents. L'approche inductive, liée à la fois à la nécessité de parcimonie dans la pratique de modélisation informatique et aux découvertes des préoccupations actuelles des acteurs, nous a poussés à proposer un « écosystème » de modèles (c'est-à-dire un ensemble de modèles complémentaires), les réponses apportées par les uns faisant germer d'autres questionnements nécessitant alors la construction d'autres modèles. Pour saisir cela, il faut avoir en tête la chronologie des modélisations successives que nous avons suivie. C'est ce que nous verrons dans la section suivante.

2.3.1.3 Une chronohistoire de notre modélisation

Maintenant que nous avons évoqué la chronologie de modélisation, il nous faut lever le voile sur les 6 modèles que nous avons développés. Nous avons fait le choix méthodologique de nous investir dans plusieurs modèles fonctionnant en constellation, mais découplés les uns des autres. Ce choix a été guidé par deux facteurs majeurs :

1. Nous avons refusé d'imaginer un modèle monolithique qui aurait nécessité la prise en compte d'un très grand nombre de paramètres, pas nécessairement accessible, et

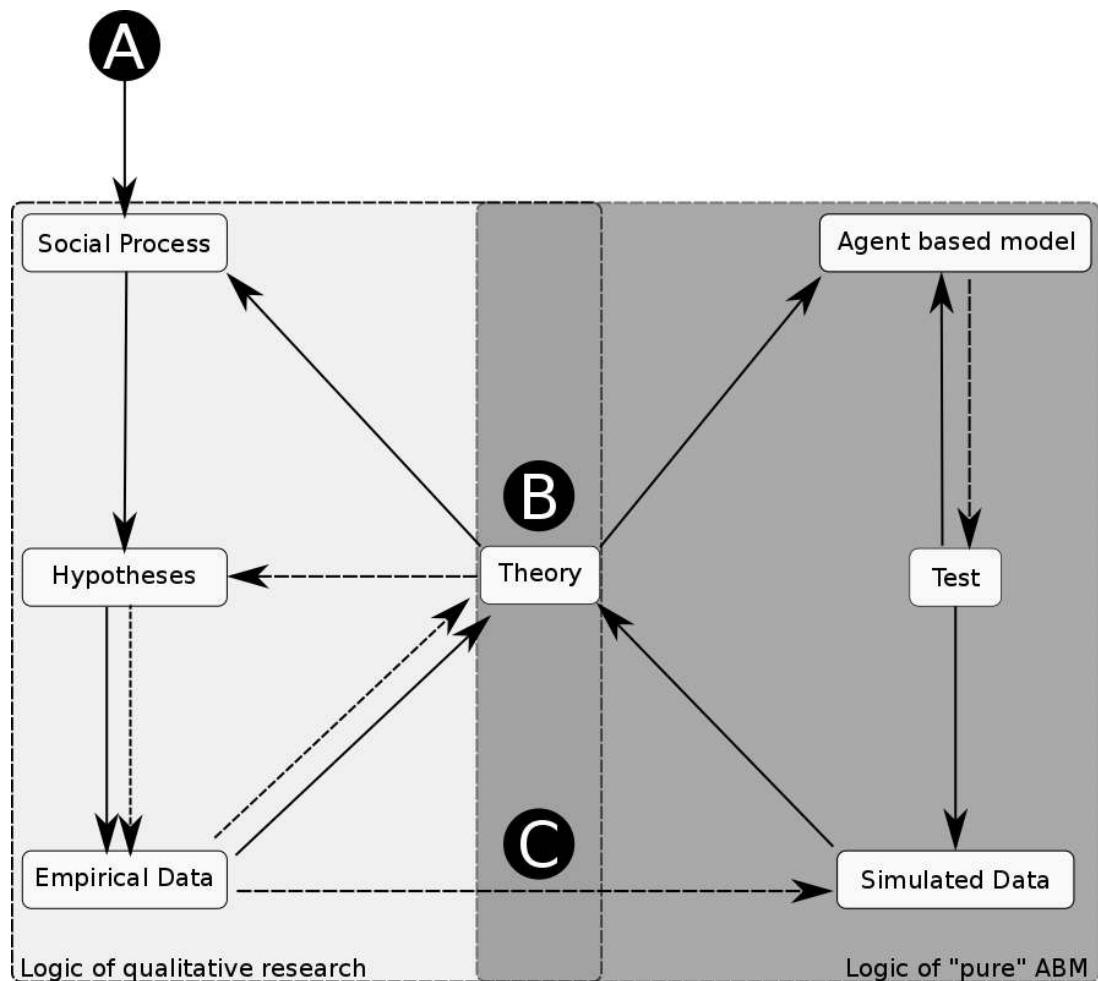


FIGURE 2.8 – Cadre méthodologique de la logique de la recherche qualitative couplée aux SMA selon TUBARO et A. A. CASILLI (2010) et la révision proposée par A. CASILLI *et al.* (2014). (A) représente le point de départ du processus de recherche. Une fois les hypothèses de recherche et les premiers résultats empiriques formulés, une théorie peut émerger (B). Un système à base d'agents peut alors être formalisé comme *proof of concept*, testé et corrigé. Des étapes supplémentaires peuvent être ajoutées pour intégrer des validations empiriques des données.

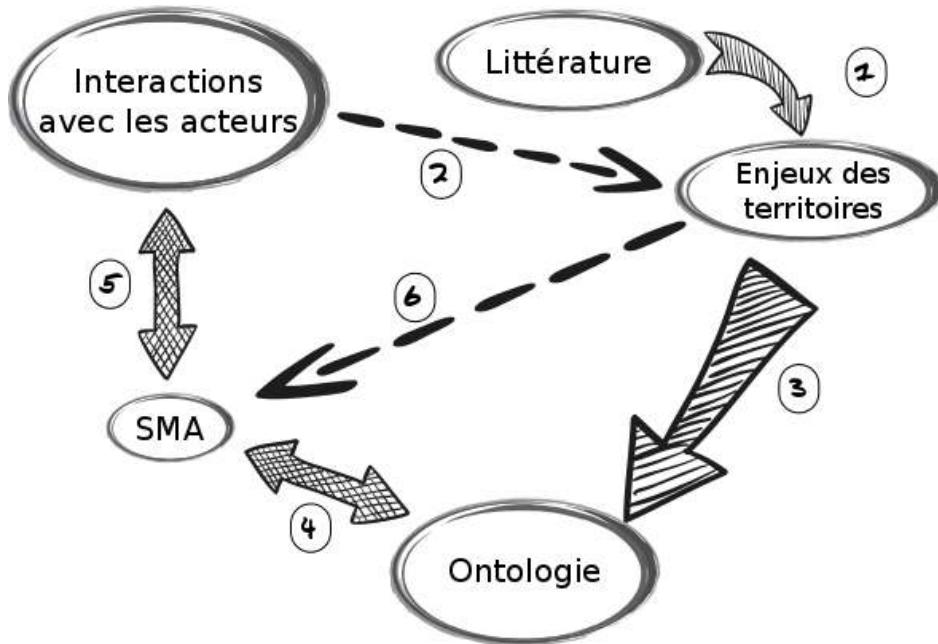


FIGURE 2.9 – Interaction entre le travail de terrain, la modélisation ontologique et les systèmes multi-agents

une validation plus qu'hasardeuse. Ce type de modèle ne se prête pas forcément à une implémentation dans Netlogo (WILENSKY 1999) ;

2. Au fur et à mesure du travail de terrain, différentes questions émanant du territoire se sont concrétisées. Les premières ont été formulées plutôt par les techniciens intervenant sur les AOC Banyuls et Collioure, puis d'autres ont émané des viticulteurs. Toutefois, ces deux types de questionnement n'impliquaient pas la même échelle de réflexion.

Ces six modèles et leur temporalité sont représentés sur la figure 2.10. Il y a évidemment une certaine filiation entre certains de ces modèles : i) d'un point de vue théorique quand les questionnements de l'un font émerger un autre questionnement connexe, mais nécessitant un nouveau cadre d'interaction et donc de programmation, ii) d'un point de vue formel dans la manière dont les interactions ont été « codées ». Ce second point reflète mon apprentissage au fil de l'eau des différents langages de programmation R (TEAM 2014), Netlogo (WILENSKY 1999), openMoLE (REUILLOU, LECLAIRE *et al.* 2013) utilisés pour effectuer ce travail.

En comprend alors que la temporalité de la modélisation et de l'apprentissage technique est allée de pair avec la complexification et l'intégration de données. Sur la figure 2.11, nous avons projeté sur l'axe des abscisses la complexité des volumes des données quantitatives mobilisées pour la construction des modèles et en ordonnée la complexité des données quantitatives. Se dégagent alors deux groupes largement liés *a posteriori* à la temporalité

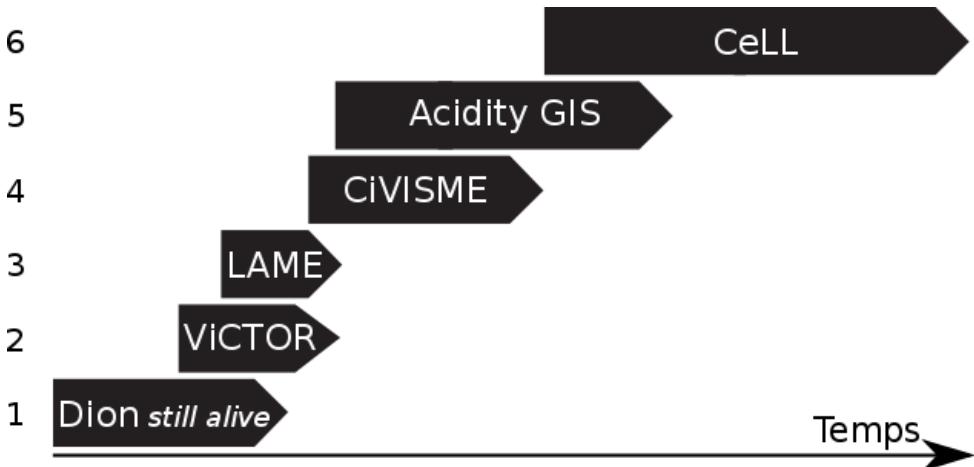


FIGURE 2.10 – Temporalité de la construction des six modèles présentés ici, ramenée au temps de la thèse

de ce travail. Les premiers modèles réalisés en début de thèse se sont basés sur un volume faible de données quantitatives et un nombre d’observations limité, alors que ceux réalisés en fin de thèse mobilisent des données plus complexes tant qualitatives que quantitatives. Nous allons maintenant décrire succinctement les différents modèles présents sur la figure 2.10.

L’influence du marché sur le territoire

*Dion still alive*²⁹. Ce modèle reflète l’une de nos premières préoccupations. En effet, il nous est apparu très tôt dans ce travail de thèse, en participant à des ateliers interdisciplinaires sur la vigne et le vin, que les travaux de R. DION étaient souvent remis en question. Nous avons donc considéré qu’il serait intéressant d’un point de vue épistémologique, de réinterroger ces écrits par l’intermédiaire des SMA, à la manière des travaux de BANOS, MORENO *et al.* (2011) sur Christaller. Notre objectif est d’identifier et de clarifier les insuffisances de ce modèle historique.

Le modèle *Dion still alive* a été développé pour représenter des comportements à l’échelle d’une région (le quart Sud-Ouest de la France par exemple). Il met en relation 2 types d’agents : un marché extérieur au territoire faisant peser une demande sur un réseau de marché intérieur. Dans ce modèle, nous nous intéressons à l’influence de la demande sur la structuration de la qualité, ce qui nous a amenés à revalider expérimenta-

29. Le nom de ce modèle fait directement référence aux travaux de BANOS, MORENO *et al.* (2011) qui proposent, suite à une « disqualification abrupte de travaux classiques de la théorie géographique », de revisiter « de manière renouvelée ces travaux fondateurs de leur discipline ». Le modèle, qui permet aux auteurs ce travail disciplinaire introspectif a été développé lors de la session 3 du réseau MAPS (c.f. <http://maps.hypotheses.org/> site consulté le 10 janvier 2015), est intitulé *Christaller still alive*. Il a été développé avec Marius CHEVALLIER et a donné lieu à plusieurs publications (E. DELAY, CHEVALLIER *et al.* 2014 ; E. DELAY et CHEVALLIER 2015)

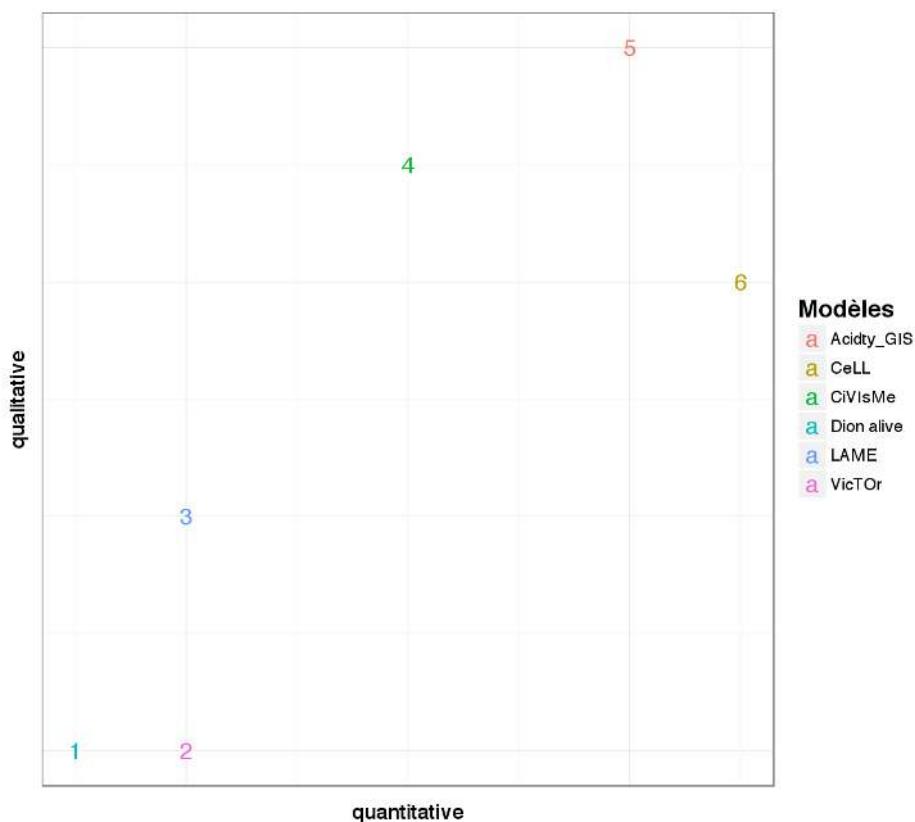


FIGURE 2.11 – Positionnement des six modèles à base d’agents par rapport aux données qualitatives et quantitatives qu’ils mobilisent (en s’inspirant du graphe B de ROBINSON *et al.* (2007). La numérotation de 1 à 5 correspond à la chronologie de construction des modèles

lement les hypothèses de DION (1952). Mais le modèle permet également d'aller au-delà des hypothèses formulées au XX^e siècle, par le fait qu'il interroge le modélisateur sur le comportement formel de la notion de qualité sur le temps long, en disqualifiant une vision fixiste de la qualité pour lui préférer une forme en constante évolution et donc infinie.

*ViCTOR*³⁰. Ce modèle hérite des questions laissées en suspend par le modèle *Dion still alive* et est largement enrichi par les questionnements issus des travaux de S. LETRUCQ et X. RODIER. Si son prédécesseur permettait d'enclencher la réflexion à l'échelle de la région, *ViCTOR*, quant à lui, questionne quelques communes, mais en considérant toujours les effets du marché. On mobilise ici des villes/villages qui vont utiliser des ressources agricoles sous forme d'environnement et un marché extérieur. Dans ce modèle nous ne parlons pas de qualité, mais nous nous intéressons cette fois à des cultures en concurrence : i) céréaliculture ii) viticulture. L'objectif est de tester les effets de l'hétérogénéité locale sur la structuration des types d'agriculture sur le territoire. Nous nous demandons également quel type de formalisme peut s'appliquer au marché des productions agricoles pour comprendre comment ce dernier influence ou non la structure territoriale.

Dans ces deux modèles, les territoires de montagne ou de fortes pentes entrent en considération en tant qu'espaces attractifs pour la viticulture. Cette hypothèse est largement basée sur les travaux de DION (*ibid.*), (1959) ou encore MAILLARD (1998), MESSIEZ (2002) et PAUL (2008) au regard de leurs approches historiques de différentes régions françaises.

Les dynamiques de paysage à mezo échelle

*LAME*³¹. Il diffère des deux précédents, car il a été construit sur une problématique issue des territoires. En effet, quand nous nous interrogeons sur les formes que peuvent prendre les îlots de culture dans le paysage, arrive rapidement la question des mécanismes socio-spatiaux qui les sous-tendent. Ce modèle se concentre donc sur les dynamiques foncières et sur les échanges parcellaires. Les agents en présence sont les viticulteurs qui vont tenter d'optimiser leur parcellaire, et le village représente la place de marché pour s'échanger des parcelles.

C'est un modèle pensé à l'échelle de quelques communes, mettant en lumière les aspirations individuelles qui guident les dynamiques paysagères. Nous nous sommes particulièrement intéressés au poids que peut prendre l'accessibilité ou la pente moyenne des parcelles dans les processus de choix des viticulteurs à investir ou abandonner/revendre une parcelle.

*CiVISME*³². Ce modèle hérite des résultats du précédent modèle auquel nous avons

30. Pour Viticulture en Touraine, développée lors d'un séjour au LAT (Laboratoire Archéologie et Territoires qui fait partie de l'UMR CNRS 7324 CITERES) avec Samuel LETURCQ et Xavier RODIER.

31. Pour *Landscape & Mountain Economics* dont la première version a été développée lors de l'Agent-Based Model Summer School 2012 (<http://cormas.cirad.fr/en/formati/september2012.htm> site consulté le 10 janvier 2015) avec Jeremy Bourgoin (CIRAD) et Sylvie MORARDET (IRSTEA). Il s'agit d'un modèle que nous avons remobilisé pour travailler sur le Trentino dans ZOTTELE et E. DELAY (2015)

32. Pour *Cooperative & Viticulture in Mountain Economie* développé avec Marius CHEVALLIER et Éric

cherché à ajouter une composante coopérative qui autorise les viticulteurs à réduire leurs coûts de production en intégrant une coopérative. Nous sommes donc dans une configuration avec des agents viticulteurs, une coopérative et un village. Ce modèle nous permet de tester l'impact de la coopération par rapport à un environnement où la coopération n'est pas possible.

En travaillant entre les contextes conjoints de la côte vermeille et du *val di Cembra*, nous avons apparaît deux perceptions différentes de la coopération par les viticulteurs. Dans le premier cas, sur les AOC de Banyuls et Collioure, la coopération est vécue relativement négativement tandis que pour le *val di Cembra*, la question ne se pose pas (c.f. part 1.3). Cette distinction nous a amenés à introduire une variable « proxi », symbolisant cette vision du territoire pour pouvoir considérer différents résultats de simulation et proposer une lecture des formes socio-spatiales produites.

Les préoccupations à petite échelle

Les modèles présentés ici ont été construits dans une démarche *bottom-up* à partir de préoccupations glanées sur les territoires.

*Acidity GIS*³³. Ce modèle est orienté vers la compréhension et l'anticipation des contraintes liées au changement climatique. Ces préoccupations ne sont pas directement issues des viticulteurs qui constatent le changement climatique par intermittence lors d'épisodes climatiques inhabituels (accidents climatiques). Les techniciens des coopératives ou des organismes techniques sont, pour leur part, sensibles à ces problématiques. Ce modèle a été construit à partir de leurs différentes remarques, en essayant de convertir en avantages les contraintes imposées par la pente dans le cadre du changement climatique. Ce modèle est composé de viticulteurs et d'une coopérative. La coopérative est l'agent qui a conscience du changement climatique. Elle va essayer d'orienter la dynamique du territoire par la mise en place de paiements différenciés. Dans ce modèle, on teste donc la pertinence de l'utilisation de la coopérative comme agent agrégé des viticulteurs pour adapter le territoire au changement climatique. Nous sommes également capables de tester l'effet de différents *scenarii* de paiements différenciés et leurs effets sur la structure spatiale de la viticulture.

*CeLL*³⁴ Ce modèle émane des préoccupations des viticulteurs qui, sur nos deux territoires, doivent faire face à des problèmes de parasitisme de la vigne et se questionnent sur les processus de diffusion des maladies/parasites. Les problèmes phytosanitaires sont l'une des principales préoccupations des viticulteurs. Le choix du parasite a été guidé par trois facteurs : i) le parasite est présent dans les deux territoires d'étude

ROUVELLAC (GEOLAB) et Fabio ZOTTELE (Fondazion E.MACH).

33. Pas de sens caché ici, un modèle développé avec Cyril PIOU (CIRAD) et Hervé QUÉNOL (Laboratoire LETG-Rennes-COSTEL)

34. Pour *Confusion Landscape & Lobesia* développé avec Amelia CAFFARRA (SupAgro Montpellier).

et donc susceptible d'éveiller l'intérêt d'un grand nombre de viticulteurs, ii) le GDA du cru Banyuls et des Albères effectue depuis 1999 des comptages de vols de *Lobesia botrana* grâce à des pièges à phéromones placés sur des parcelles témoins sur le cru, iii) *L. botrana* est un insecte largement thermosensible. Or grâce aux enregistrements des capteurs TERVICLIM, nous avons accès à des données thermiques aux échelles spatiales et temporelles qui nous intéressent. Ce modèle a plusieurs intérêts : i) il doit être considéré comme *proof of concept* de l'intérêt du portage d'un modèle statistique a-spatial vers un modèle multi-agents, ii) il permet de proposer un outil pédagogique à destination des viticulteurs pour comprendre l'intérêt de la lutte intégrée iii) il permet, par des méthodes de résolution computationnelle, d'approcher des comportements individuels du papillon, lesquels sont encore obscurs et difficiles à expérimenter en laboratoire ou en plein champ.

Cette partie a été l'occasion d'expliquer la démarche de modélisation poursuivie pour répondre à la problématique et pour positionner nos modèles dans le mouvement de modélisation empirique largement influencé par les théories ancrées. Nous avons choisi une approche de modélisation basée sur une constellation de simulations en fonction des interrogations. La complexité de cette approche réside dans la difficile lisibilité de la problématique générale de notre travail.

En effet, de manière convenue, la recherche de solutions à une problématique est orientée dans une direction. En s'inscrivant dans une approche scientifique *post-normale*, les questions soulevées ne pouvaient se résumer dans un seul modèle. Aussi nous apparaît-il important ici de proposer différents outils intellectuels au lecteur pour lui permettre de se représenter les domaines de « validité » des différents modèles. Aussi, avant de plonger à proprement parler dans leur description, nous proposons, dans un souci de transparence, d'expliciter leur construction et leur positionnement vis-à-vis des courants épistémologiques de la modélisation à base d'agents, mais aussi des concepts mobilisés par les sciences de la vigne et du vin (c.f. chapitre 1).

2.3.2 Une modélisation azimutée

La flexibilité apportée par la modélisation orientée agents peut être problématique, si le modélisateur ne fait l'effort de pédagogie et de transparence de sa méthodologie. Dans notre travail, la question est centrale dans la mesure où nous avons fait le choix d'une constellation de modèles. Cette partie propose donc au lecteur de replacer les différents modèles vis-à-vis du domaine de l'ontologie terroir \leftrightarrow territoire de la figure 1.4.

Une fois le domaine ontologique de chaque modèle mieux identifié, nous inscrirons ces mêmes modèles dans un espace conceptuel proposé par BANOS et SANDERS (2013) pour pouvoir mieux identifier les différences et les points communs qui les sous-tendent.

2.3.2.1 L'ontologie pour orienter les systèmes multi-agents

Ces dernières années, l'utilisation d'un modèle d'ontologies comme précurseur de modèles à base d'agents se développe. Ainsi LIVET *et al.* (2010) proposent de les utiliser pour définir les domaines empiriques, conceptuels, ou encore le domaine du modèle ; cela dans un souci de transparence et de conformité entre les différents domaines ontologiques utilisés par la démarche empirique.

M. NEUMANN (2015) suggère l'utilisation d'ontologies pour orienter et guider dans la pratique de modélisation et lever le maximum d'ambiguïtés quant aux notions intégrées dans le modèle. Ainsi, les différents modèles que nous avons présentés précédemment (c.f. 2.3.1.3) ont été confrontés à l'ontologie liant le terroir et le territoire (c.f. fig. 1.4) proposée dans la partie 1.1.1.

Cette ontologie organise les concepts qui entrent en jeu dans l'étude des systèmes viticoles. Nous avons identifié sur celle-ci les domaines de nos modèles, ce qui met en lumière des constances difficilement identifiables de manière individuelle. Le fait d'avoir identifié et surligné sur le diagramme de l'ontologie les concepts qui sont mobilisés dans les différents modèles produits nous permet de montrer la spécificité de chacun d'eux par rapport à l'analyse d'ensemble du système.

On constate en premier lieu la nette prédominance de l'espace, et ce quelque soit la distance aux territoires. Cette « centralité » du concept tient au fait que l'espace peut être pensé comme une projection au sol des rapports sociaux concernant la chose viticole (identifiable dans les trois figures : 2.12, 2.13 et 2.14) (AURIAC 2000, p.174).

Les modèles *Dion still alive* et *VIcTOR* (c.f. fig. 2.12) recouvrent des concepts sur la partie « territoire » de l'ontologie. Dans ces deux modèles, on s'intéressera au système viticole à une petite échelle (régionale ou nationale), et plus particulièrement aux conséquences du marché sur l'organisation spatiale des territoires. Cette structuration du territoire sera la conséquence de facteurs locaux (*environmental component* telle que l'hétérogénéité de la topologie ou de l'espace) combinés avec des facteurs sociaux (*social component*) qui eux-mêmes influencent la construction territoriale (régionale ou nationale). Nos agents réflexifs sont des agents agrégés à l'échelle des villes.

Les modèles *LAME* et *CIVIsMe* se jouent à meso échelle (2 ou 3 communes) (c.f. fig. 2.13). Dans ces simulations, on explore les conséquences de l'économie sur la structuration du paysage viticole³⁵. Dans ces cas de figures, les agents sont des viticulteurs qui vont essayer d'optimiser leur parcellaire en fonction des contraintes qui pèsent sur eux. On observe donc bien le changement d'échelle sur l'ontologie du « territoire » avec l'inté-

35. Il existe de multiples définitions du mot paysage. On considérera ici le paysage tel que « l'ensemble des composantes du milieu dont on étudie l'organisation spatiale : types d'unités, dissémination de ces unités sur le territoire étudié, répartition spatiale, liens avec le voisinage, hiérarchisation entre elles » (M.-C. GIRARD et C.-M. GIRARD 2010).

Dion et Victor

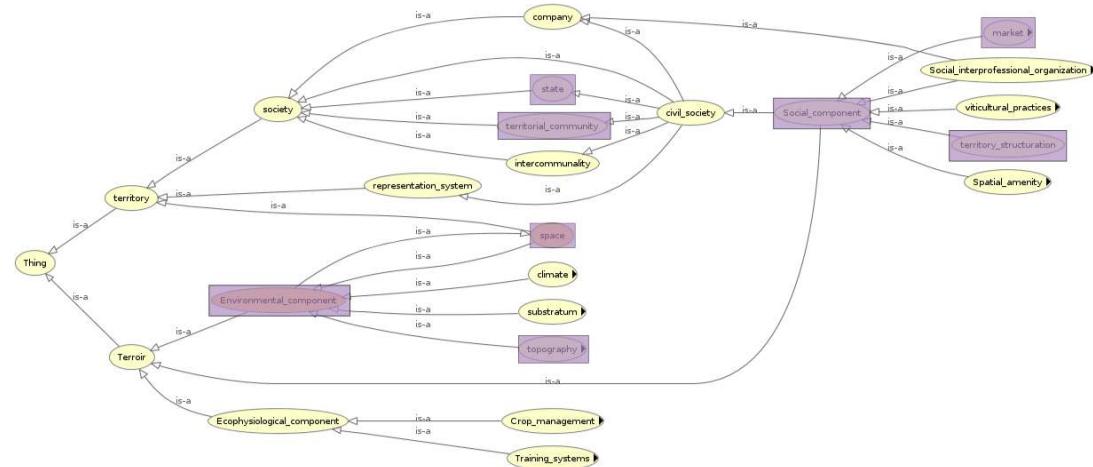


FIGURE 2.12 – Converture de l’ontologie conceptuelle par rapport aux modèles à petite échelle

gration des échelons territoriaux et communaux, mais également sur celle du « terroir » sur laquelle ces modèles vont permettre de s’intéresser aux formes des exploitations dans l’espace en tant que valeur *proxy* des aménités spatiales que cela laisse imaginer d’un point de vue paysager.

Enfin la figure 2.14 souligne les concepts mobilisés par les modèles acidityGIS et CeLL. Ces modèles sont résolus à grande échelle (infracommunale). Comme nous l’avons déjà évoqué, ils sont le fruit d’une demande mieux identifiée sur le territoire, et nous voyons qu’ils vont mobiliser plus de sous-concepts de l’ontologie « terroir » que les autres modèles. Dans acidityGIS, les agents sont les viticulteurs comme dans les deux modèles précédents, mais pour CeLL, les agents sont un parasite de la vigne (*L. botrana*). Les viticulteurs n’ont d’existence qu’à l’échelle de leurs parcelles, en décidant s’ils s’associent ou non au groupe des méthodes de lutte intégrée.

Le rapprochement des modèles avec l’ontologie terroir ⇔ territoire de la figure 1.4 met en lumière les différents domaines recouverts par nos modèles. Si certaines parties se recouvrent, d’autres sont propres à chaque groupe. Le recouvrement nous laisse voir la filiation certaine qui les unit, mais on comprend également les difficultés de les rassembler.

2.3.2.2 La grille de lecture du fer à cheval : observation holiste des modèles

Les domaines d’intérêt des différents modèles ayant été évalués dans la partie précédente, il est apparu nécessaire après la description des pratiques de modélisation (c.f. 2.1 et 2.2) de situer nos modèles dans le paysage scientifique des SMA. Il semble donc assez naturel d’essayer de positionner nos modèles avec les outils développés pour la discipline.

LAME et CiViSME

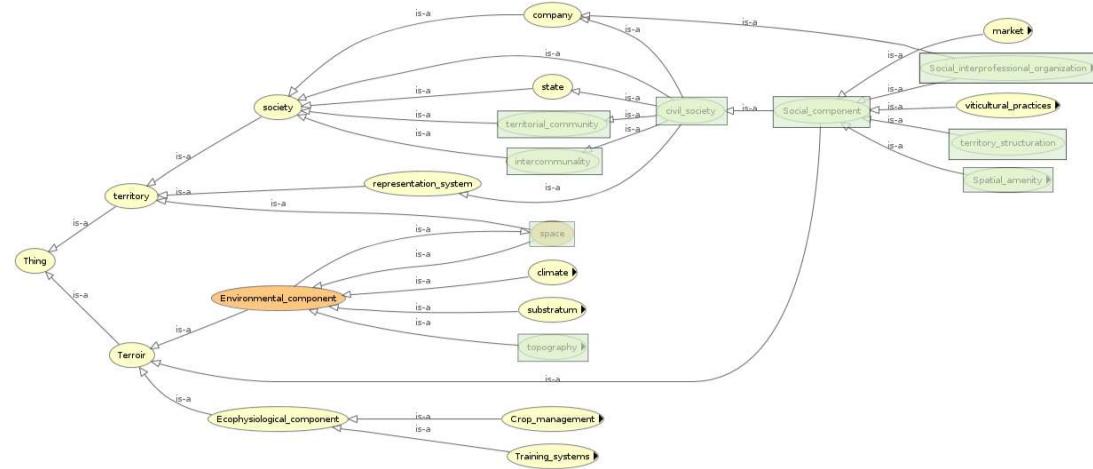


FIGURE 2.13 – Converture de l'ontologie conceptuelle par rapport aux modèles à meso échelle

AcidityGIS et CeLL

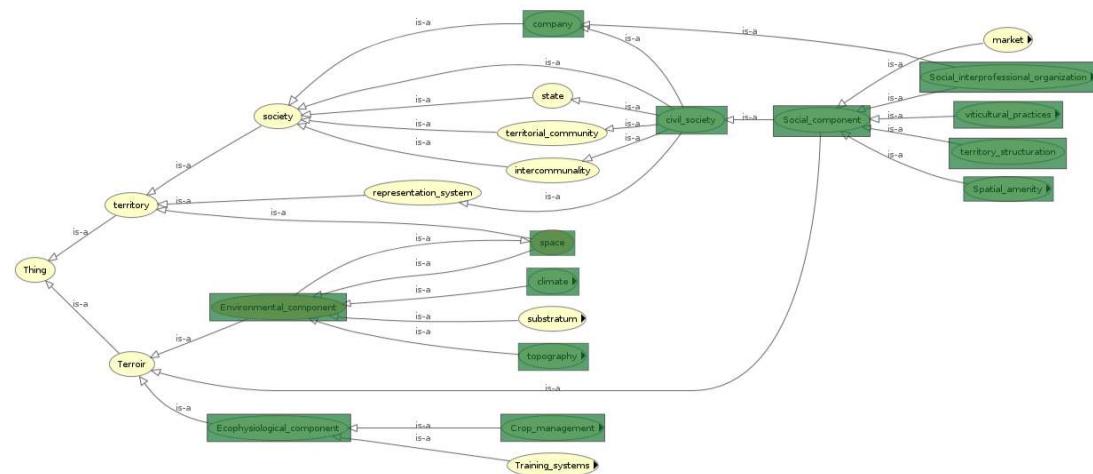


FIGURE 2.14 – Converture de l'ontologie conceptuelle par rapport aux modèles à grande échelle

BANOS (2013) et BANOS et SANDERS (2013) ont développé, ces dernières années, une grille de lecture en « fer à cheval ». Cette grille de lecture, qui poursuit les travaux de compréhension des modèles émis par BOMMEL (2009, p.229) s'inspirant des propositions de EDMONDS (2007), vise à caractériser un modèle par des graphiques en radar autour de 2 axes : simplicité – absence d'erreur et spécificité – généralité. Si ces derniers visaient à exprimer les différentes composantes intrinsèques au modèle, BANOS et SANDERS (2013) proposent d'utiliser cet espace pour comparer des approches de modélisation. La grille de lecture du « fer à cheval » prétend donc positionner des modèles vis-à-vis de leur niveau d'abstraction et de leur degré de parcimonie.

Le niveau d'abstraction est largement lié au phénomène sur lequel nous travaillons et à la question à laquelle nous tentons de répondre avec ce modèle. En guise d'exemple BANOS et SANDERS (*ibid.*, p.848) proposent de s'intéresser à la ségrégation socio spatiale de l'espace résidentiel.

« Si l'on s'intéresse à une ville donnée, la question pourra être formulée de façon différente : (1) pourquoi la répartition de la population favorisée et défavorisée dans une ville donnée s'organise-t-elle en fonction d'une opposition d'est en ouest ? (2) [...] [en s'abstrayant de la ville] pourquoi observerons nous une organisation centre périphérie dans les villes nord-américaines (3) ou encore, avec un degré d'abstraction plus poussé : pourquoi y a-t-il dans la plupart des villes une forte auto corrélation spatiale dans la répartition de la population en fonction de ses revenus ».

On comprend bien que dans le cas (1) nous serons face à un modèle assez peu stylisé, alors que cette abstraction augmentera avec les questions (2) et (3).

Le degré de parcimonie, quant à lui, concerne l'orientation des processus modélisés par rapport aux préceptes de *KISS* et *KIDS*, en se souvenant néanmoins que tout modèle ne peut être entièrement l'un ou l'autre (EDMONDS et MOSS 2005).

Nous avons appliqué cette grille de lecture (c.f. fig. 2.15) aux six modèles décrits en 2.3.1.3 et sur lesquels nous reviendrons dans les 3, 4 et 5. Elle permet au modélisateur/observateur de pouvoir positionner des modèles les uns par rapport aux autres. Il faut garder à l'esprit que l'exercice a des limites, considérant que ce positionnement n'a de sens que pour un observateur donné et ne fournit pas une information quantitative, mais procède à l'effort de transparence nécessaire pour comprendre les implications que le modélisateur a cherché à explorer au travers de ses modèles.

La première constatation est que le cadre D est vide. Les cadres A, B et C contiennent chacun deux modèles. Le **cadre A** avec les modèles *Dion still alive* et *VIcTOR*, caractérise des modèles relativement génériques qui interrogent les territoires (ici à deux échelles différentes) sur la place de l'économie et du marché dans la structuration de l'espace. Ils sont peu ancrés territorialement et procèdent d'un haut niveau d'abstraction aussi bien

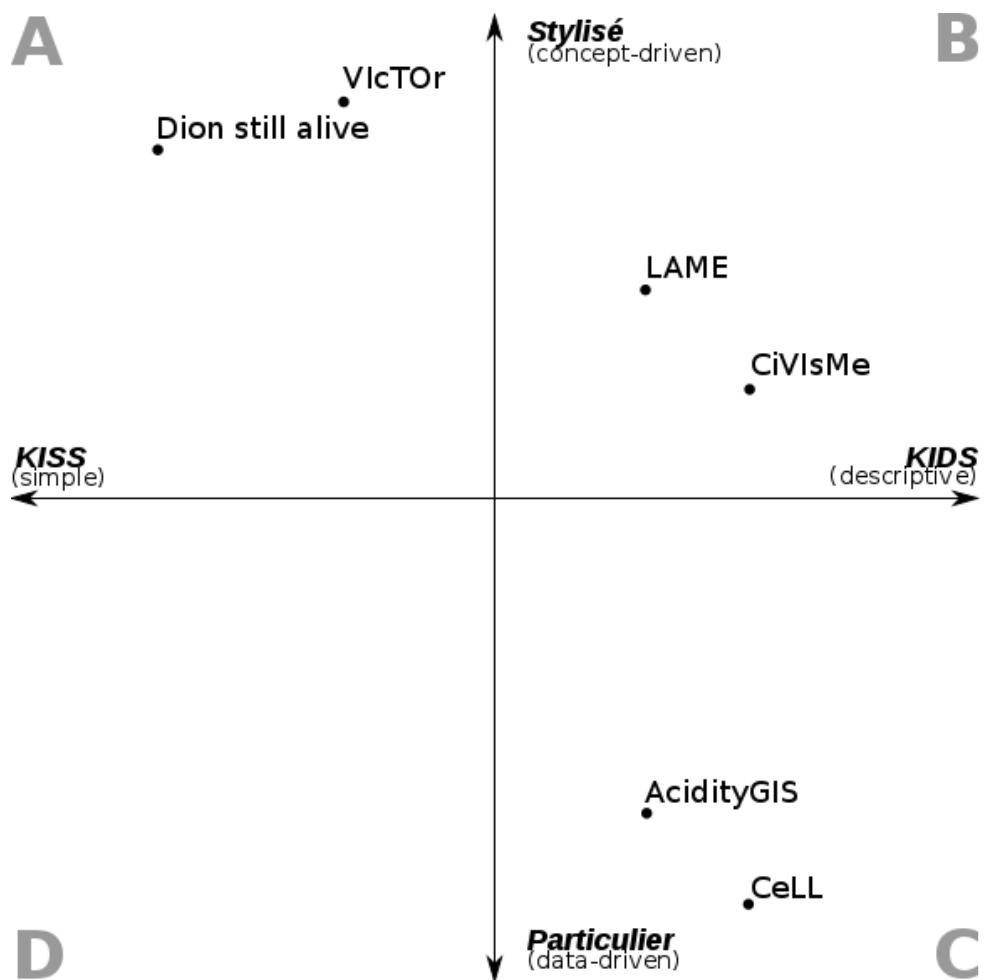


FIGURE 2.15 – Grille de lecture du « fer à cheval » (BANOS et SANDERS 2013) positionnant les différents modèles de cette thèse

territorial que du point de vue des mécanismes mobilisés. Ce type de modèle pousse donc l'observateur (i.e. le scientifique) à réfléchir sur les formes et les dynamiques spatiales transposables à un très grand nombre de vignobles.

Le **cadre B** avec les modèles LAME et CiViSME sont pour nous des modèles intermédiaires dans le mouvement du cadre A au cadre C observable sur la figure 2.15. Ils reprennent de manière plus descriptive des comportements identifiés sur le terrain ainsi que certains paramètres économiques, car ils ont été bâtis sur la base des entretiens et des observations, mais ils restent encore stylisés. En effet, nous nous sommes efforcés de les construire de manière suffisamment générique pour penser à la fois le vignoble de la côte vermeille et celui du *val di Cembra*. Si l'espace joue un rôle important, attendu que nous les avons construits de manière à polariser notre attention de manière explicite sur l'effet de la pente sur le système, ils n'ont pas besoin d'être ancrés territorialement pour apporter des informations. On ne peut donc pas encore les faire entrer dans la catégorie des modèles guidés par les données (*data-driven*).

Enfin le **cadre C** contenant les modèles AcidityGIS et CeLL regroupe des modèles largement construits sur la donnée (*data-driven*) et intégrant des processus qui essaient d'être le plus descriptif possible. Si l'exercice est très intéressant, les questionnements liés aux modèles émanant directement de questionnements des acteurs locaux, les résultats doivent être interprétés avec précaution. En effet JANSSEN (2009) met en garde sur les limites des modèles *data-driven* en revenant sur l'étude³⁶ de R. L. AXTELL *et al.* (2002) sur l'évolution des populations dans la *Long House Valley*³⁷ sur le temps long.

C'est cette dernière catégorie de modèles qui trouve l'écho le plus important chez les acteurs des territoires, car il donne l'impression aux observateurs de proposer des solutions mobilisables (voire transposables) assez rapidement dans la réalité. En tant que tels ils sont donc à notre avis les plus compliqués en termes de médiation à restituer aux acteurs. Quand BANOS (2013, p.38) propose de :

« Postuler que l'on peut étudier les sociétés à la manière d'un éthologue étudiant une fourmilière ne signifie nullement que les premières se réduisent à la seconde. Bien au contraire, les limites de l'analogie naturaliste permettent à mon sens de mieux appréhender la spécificité des phénomènes sociaux. Au-delà, une telle mise en parallèle ouvre la voie à des horizons méthodologiques renouvelés[...] »

Il nous semble particulièrement important d'insister sur les notions de méthodologies renouvelées, mais de rester critique sur les résultats des simulations.

Nous avons positionné la constellation de modèles que nous avons développée par rap-

36. Ce retour de JANSSEN (2009) sur l'étude de R. L. AXTELL *et al.* (2002) montre que si la rigueur de description et les résultats de l'article restent valides, ils sont largement liés à la calibration du modèle.

37. La *Long House Valley* est une vallée de la zone de *Black Mesa* au Nord-Est de l'Arizona.

port aux concepts propres aux disciplines travaillant sur la viti-viniculture. Cela nous a permis de mettre en lumière les domaines des différents modèles. Nous avons ensuite confronté ces mêmes modèles à la grille proposée par BANOS et SANDERS (2013), soulignant ainsi leurs prérogatives. Il nous paraît important de souligner quelques points : le premier est lié à l'approche géographique qui a guidé notre travail. Nous avons plus spécifiquement travaillé à l'évaluation des implications des composantes environnementales de notre ontologie. Cette composante du terroir permet d'établir un lien clair avec l'ontologie du territoire.

Le second est lié à la question de l'échelle de réflexion du modèle. Dans notre contexte, on pourrait presque tracer un axe supplémentaire à la figure 2.15 liant le cadre A et le C ce qui représenterait l'échelle spatiale de réflexion entre les modèles et soulignerait assez bien la plongée chronologique vers les spécificités qui s'est opérée dans ce travail (c.f. fig 2.11).

Conclusion

Ce chapitre épistémologique et méthodologique a présenté les usages faits de la modélisation de manière générale en science, son appropriation par les sciences humaines et sociales et par la géographie en particulier. Ce besoin de simplifier, formaliser et théoriser perdure quand on passe de la modélisation à la simulation en introduisant le temps pour expliciter un phénomène dynamique.

L'ancrage épistémologique dans la modélisation et la simulation nous a ensuite permis de saisir les objectifs théoriques qui ont favorisé l'émergence de la théorie des systèmes complexes. Ce nouveau champ de recherche qui, au fur et à mesure de sa structuration, s'est doté d'outils tels que les automates cellulaires et plus tard les systèmes multi-agents, a offert à la géographie des théories, des concepts et des outils nouveaux. Ce chapitre détaille également notre méthodologie et nos choix de modélisation en approchant la complexité des systèmes étudiés par une constellation de modèles plutôt que d'opter pour une approche monolithique. La structure de cette constellation a également été réfléchie. Ainsi est-elle formée de modèles tantôt *KISS*, tantôt *KIDS*; tantôt stylisés, tantôt dédiés à un cas particulier. La constellation dans sa globalité recouvre largement l'ensemble du domaine de notre ontologie, mais chacun s'attèle à en analyser une partie.

C'est pourquoi la description de la logique d'ensemble de cette constellation de modèle permet d'entrer plus sereinement, aux chapitres suivants, dans les détails d'implémentation, les résultats de simulation et les implications pour la compréhension des dynamiques réelles. Cette exploration des différents modèles se fera en suivant un mouvement allant des échelles les plus grandes aux échelles les plus petites, du chapitre 3 au chapitre 5.

Chapitre 3 :

De l'empirisme dans la modélisation à petite échelle spatiale

Introduction

« La vérité, ce n'est point ce qui se démontre, c'est ce qui simplifie. »

SAINT-EXUPÉRY (1939, p.173)

AURIAC (2000, p.13), dans son approche du vignoble-système, s'interroge sur les hypothèses génératives du vignoble. C'est en suivant la voie de l'approche systémique que nous explorerons l'agencement des principales caractéristiques de la production viticole. Cette exploration se fera au regard de la théorie des systèmes complexes et donc avec l'appareil méthodologique et les outils associés.

Si AURIAC (ibid.) suggère de positionner l'exploitation agricole en tant qu'unité de base des sous-systèmes, nous avons dans ce chapitre opté pour une approche agrégée. En effet, conformément à notre volonté de procéder à une plongée en plusieurs étapes dans les échelles spatiales comme dans la complexité des interactions entre les agents que nous modélisons, nous présenterons deux modèles dans ce chapitre. Il sont tout les deux construits à de petites échelles spatiales et sur un modèle d'agents agrégés. Autrement dit, les agents modélisés ici seront des villes ou villages et non, comme ce sera le cas après, des viticulteurs. Nous rentrerons dans les détails d'implémentation des modèles *Dion Still alive* et *VIcTOR* qui sont contenus dans le cadre A de la figure 2.15 (p. 123) car ils impliquent un niveau d'abstraction assez élevé (KISS) et des interactions largement stylisées.

Par ailleurs, ces modèles recouvrent des notions assez larges liées à un référentiel socio-économique pouvant s'inscrire dans une grande diversité d'espaces et produisant une extraordinaire hétérogénéité économique et/ou spatiale du vignoble. Les échelles agrégées, tant sur le plan spatial que sur le plan des agents, positionnent notre réflexion sur la partie territoire de l'alignement ontologique auquel nous avons procédé au chapitre 1 (c.f. fig. 1.4, p.32).

L'objectif de ce chapitre est de formaliser les contraintes qui pèsent sur le vignoble-système d'AURIAC (ibid.). En reprenant à notre compte l'approche systémique du vignoble, nous explorons différents processus actifs sur les territoires viticoles à une échelle agrégée. La première partie (part. 3.1) consiste à revisiter dans une approche systémique les hypothèses formulées par DION (1952) pour en évaluer la persistance actuelle au regard de l'évolution des représentations des origines de la qualité dans le vin.

Dans la partie suivante (c.f. 3.2), grâce au modèle VIcTOR, nous explorerons, pour une échelle spatiale plus petite, l'influence de l'hétérogénéité spatiale et son usage par les popu-

lations dans une économie ouverte. Par ailleurs, nous nous intéresserons aux implications de différents formalismes économiques et leurs effets sur la structure du paysage.

3.1 Les SMA comme passerelles entre théories anciennes et modernes : le cas de R.DION dans le modèle *Dion still alive*

— Le modèle *Dion still alive* —

Échelle spatiale : modèle pensé à petite échelle (régionale ou nationale)

Agents : sont mobilisés dans ce modèle, une grille de cellules, un réseau de villes connectées par des voies de communication, et un marché extérieur au territoire

Question(s) :

- Comment fonctionne l'ordonnancement des facteurs qui jouent sur la structuration spatiale des vignobles à l'échelle qui nous intéresse ?
- Quel formalisme peut-on envisager pour la qualité des parcelles viticoles afin de comprendre leur évolution sur le temps long ?

Dans cette section, nous revisitons la pensée de DION (1952) à la lumière de la modélisation à base d'agents. Dans cette exercice, nous voulons montrer la persistance et la pertinence de la pensée de R.DION dans l'épistémologie des sciences de la vigne et du vin (c.f. chap 1). Si dans l'article qui nous a guidé vers la formalisation à base d'agents, il n'est nullement fait écho au concept de terroir¹, son approche contient en filigrane un grand nombre de concepts qui seront mobilisés par la suite dans les études de géographie viticole instaurant le terroir comme entité spatiale fondamentale (ROUVELLAC 2013).

Introduction

La notion de qualité du vin a toujours intéressé les Hommes, mais les contours de cette notion sont de prime abord particulièrement mouvants, divisant la communauté scientifique. En effet, pour les uns, celle-ci résulte de facteurs environnementaux et, pour les autres, elle serait plutôt à chercher dans la construction sociale et hiérarchisée de la société. Depuis O. d. SERRES (1600)² à la construction lente des Appellations d'Origine Contrôlée (AOC) (de 1905 à nos jours) et jusqu'à la création de l'Institut National des

1. La première vague identifiée sur la figure 1.1, arrivera presque 10 ans plus après sa rédaction dans les Annales de géographie.

2. qui faisait remarquer « si n'êtes de lieu pour vendre votre vin, que ferez-vous d'un grand vignoble ? »

Appellations d'Origine (INAO) en 1935, le mouvement général de l'histoire n'a cessé de vouloir définir et circonscrire la notion de qualité du vin.

Les études historiques et géographiques de Roger DION, père fondateur de la géographie viticole (DION 1952 ; DION 1959), proposent un regard renouvelé sur ces réflexions cherchant à comprendre la construction spatiale et sociale de la viticulture. Que l'on se revendique ou non de son héritage, son travail a profondément transformé les conceptions des générations suivantes.

En effet, la construction de la qualité en viticulture n'échappe pas au changement de paradigme historique identifié par FOUCAULT (2008). Ainsi, passons-nous d'une approche basée sur une histoire continue dans laquelle la qualité était une lente construction humaine, à une approche basée sur une histoire discrète cherchant à expliquer l'excellence par des facteurs environnementaux (microtopologie, pédologie, climatologie, etc.). Par conséquent, l'objet de la recherche se transformait mécaniquement en un travail de définition et de délimitation des grands changements de l'histoire, plutôt que d'en comprendre les dynamiques générales. Nous avons souhaité ici mettre en perspective cette approche « catastrophique » de l'histoire (THOM 1989), et l'évolution de la notion de qualité des vins avec les travaux de R.DION qui se placent, eux, sur le temps long.

Nous avons alors réexploré la pensée de R.DION par l'intermédiaire de simulations à base d'agents avec un triple objectif :

- Quelle est la place et quels sont les contours des notions de qualité ?
- Est-ce que la notion de qualité a des implications spatiales ?
- Est-ce que la notion de qualité est protéiforme dans le temps ?

Pour cela nous avons développé avec l'aide de Marius Chevallier³ et Cyril Piou⁴, un modèle basé sur l'article de R.DION « Querelle des anciens et des modernes sur les facteurs de la qualité du vin »(DION 1952).

Le positionnement méthodologique de ce chapitre va nous permettre de rentrer dans la démarche de formalisation et de modélisation multi-agents des phénomènes viticoles sous l'angle de l'épistémologie (au sens de théorie de la connaissance) de la géographie viticole, pour nous interroger sur la notion de qualité en tant que concept intemporel.

3.1.1 Contexte de la modélisation

Dans les années 1950, au moment où R.DION écrit « Querelle des anciens et des modernes sur les facteurs de la qualité du vin »(ibid.), la géographie baigne dans un vitalisme possibiliste très largement déterministe. L'hypothèse dominante pour expliquer la qualité du vin est alors proposée par les tenants de *l'agro-terroir*, qui postulent qu'elle est

3. GEOLAB, université de Limoges.

4. Locust Ecology and Control Research Team, CIRAD - Département BIOS.

une conséquence directe des conditions abiotiques qui s'exercent localement sur la vigne. R.DION se positionne en réaction à cela en rappelant que cette hypothèse n'a pas toujours dominé car « aux yeux des hommes des XVI^e siècle et XVII^e siècle, la viticulture de qualité se distinguait tout d'abord en ceci qu'elle était onéreuse »(p. 421).« Si les fondateurs de nos vignobles avaient été aussi dociles qu'on le dit aux suggestions de la nature, ils se fussent bien gardés d'aventurer leurs plantations hors de la région méditerranéenne (...). La propagation de cette plante sous le climat de la France du Centre et du Nord-Est est une violence faite à la nature »(p. 429).

Si aujourd'hui les pratiques culturelles et culturelles sont entrées dans le cahier des charges de la constitution des AOC et dans la définition même de la notion de terroir viticole, des confrontations existent toujours autour du débat inépuisable nature / culture (SCHIRMER 2000), entre les tenants des sciences expérimentales et ceux des sciences sociales (MEYNIER 1969).

Nous avons voulu ici mettre en perspective sur le temps long les hypothèses empiriques proposées par R.DION sur la construction de la qualité du vin. Cette réflexion s'inscrit dans la proposition de BANOS, MORENO *et al.* (2011) consistant à « interpeller les géographes et les pousser à interroger de manière renouvelée ces travaux fondateurs de leur discipline. » L'objectif assumé dans ce travail est d'explorer, au moyen de simulations informatiques distribuées, les possibilités d'émergence d'organisations spatiales identifiables. Pour cela nous avons pris le parti de nous cantonner à l'article de DION 1952 qui propose que la géographie viticole s'explique largement par la géographie commerciale et en particulier par l'apparition de débouchés commerciaux qui constitue un facteur favorable à des « dépenses sans compter » (p421) et, par conséquent, à l'émergence de terroirs de qualité.

Revisiter les explications de R.DION avec les outils des sciences expérimentales, et en particulier la simulation informatique à base d'agents, nous permet de projeter ces hypothèses dans un modèle purement conceptuel pour y tester leurs "*vraisemblances de principe*" (VARENNE 2011), et ainsi s'intéresser aux "soucis des processus" (MEYNIER 1969) qui visent à expliquer le passage d'un état à un autre des mécaniques spatiales.

Le modélisateur est alors capable d'introduire petit à petit les variables qu'il souhaite étudier et ainsi isoler leur impact. La modélisation n'est pas une reproduction formalisée de la complexité du réel, mais un outil simplifié pour analyser l'impact de certains comportements et l'évolution sur la dynamique globale (COQUILLARD et HILL 1997). Elle nous permet d'explorer les comportements probables des marchés et leurs implications spatiales.

De manière subtile R.DION considère que le développement des appellations d'origine, protège autant des intérêts sociaux des catégories sociales supérieures que des caractéristiques naturelles (p. 423-425) et qu'il n'est pas possible de trancher en faveur d'une

hypothèse ou d'une autre (p. 427). Selon lui, les grandes aires de production sont des conséquences directes de la géographie commerciale, de la géographique administrative et de l'histoire, mais à l'intérieur des zones que ces facteurs contribuent à définir, le producteur n'a pas négligé « ce qui, dans la disposition naturelle des lieux, pouvait favoriser son dessein (...). Par là s'établit, mais dans le menu détail, bien plus que dans les grandes lignes, le lien de la géographie viticole à la géographique physique » (p. 428). Autrement dit, la géographie commerciale joue pour définir les grandes aires de production de qualité (les aires rattachées à un débouché de consommateurs riches) et la géographie physique intervient pour expliquer les différences de qualité à l'intérieur de ces aires.

3.1.2 Matériels et Méthodes : ODD

Pour explorer les dynamiques paysagères et la construction territoriale, nous avons développé sur Netlogo (WILENSKY 1999) un modèle multi-agents intitulé *Dion still alive*⁵ qui modélise un espace abstrait à petite échelle⁶. Nous proposons ici une description du modèle suivant le formalisme du protocole ODD (GRIMM, U. BERGER, BASTIANSEN *et al.* 2006 ; GRIMM, U. BERGER, DEANGELIS *et al.* 2010 ; RAILSBACK et GRIMM 2011) en prenant en compte l'extension de l'ODD+D (+D pour Decision making)(B. MÜLLER *et al.* 2013).

3.1.2.1 Développement du modèle

Objectifs

La qualité du vin a été, et reste un sujet très actuel dans le monde professionnel comme dans celui de la recherche⁷. Le travail de R.DION et le travail des géographes qui ont pris le relais (ROUVELLAC *et al.* 2012 ; PITTE 2010 ; SCHIRMER 2007b ; VELASCO-GRACIET et LASSERRE 2006) montrent que ces notions sont protéiformes et évoluent dans le temps et dans l'espace.

Le mouvement général dans l'évolution des sciences ne s'intéresse plus à l'étude de la continuité des phénomènes, mais plutôt aux zones de rupture (FOUCAULT 2008) : rupture technologique, rupture conceptuelle.

La force de la pensée de R.DION réside dans la mise en perspective temporelle de cette

5. En référence au modèle développé par BANOS, MORENO *et al.* (2011) et leur modèle *Christaller still alive* développé dans le cadre du réseau MAPS (Modélisation Appliquée aux Phénomènes Spatialisés)

6. On parle ici d'échelle géographique. Petite échelle pourrait être à l'échelle d'une grande région ou d'un pays.

7. Pour prouver la qualité et la quantité de productions scientifiques proposées aux deux congrès majeurs, le congrès *Terroir* et le congrès du *GiESCO*.

notion de qualité. Nous voulons montrer que ses hypothèses permettent, grâce à la simulation, de pousser plus loin les résultats attendus par l'auteur lui-même.

La notion de qualité est ici centrale. En effet, dès les premières lignes de l'article, R.DION oppose les partisans d'un agro-terroir aux partisans d'une construction plus socio-économique. Ce modèle est une implémentation sans visée prospective, et dont l'objectif est de nous aider à réfléchir (BANOS 2010) aux hypothèses de R.DION sur l'économie et les configurations spatiales qu'elles produisent.

Bien que parlant de viticulture, les viticulteurs sont ici des entités abstraites qui n'ont d'existence qu'à travers un espace de production. Cet espace de production est rattaché à des marchés locaux qui peuvent se structurer en réseau commercial répondant à une demande locale et extra-territoriale. Le territoire est donc ici un espace de production localisé, rattaché à un marché. Le modèle, et donc la capacité des agents à tirer parti de spécificité locale à surmonter ou non la compétition pour la ressource, est testé dans différentes configurations spatiales abstraites (isotropique ou anisotropique). Les dynamiques territoriales sont ici très fortement liées à la demande extra-territoriale, que les marchés locaux tentent d'assouvir. L'observateur se retrouve donc face à des dynamiques globales, qui sont fortement influencées par les dynamiques locales, et les choix que les agents doivent constamment faire pour répondre à des chocs de demande, tout en essayant de maximiser la qualité de leurs parcelles.

Entités, variables, et échelle

Les entités : En nous intéressant à l'évolution de la qualité, et en suivant les descriptions empiriques de R.DION, nous avons défini 4 classes d'entités dont on pourra retrouver l'organisation dans le diagramme UML de classes (figure 3.1). Nous avons défini 2 types d'agents :

- Les villes/villages (town sur le diagramme) qui sont décrites dans l'article p. 426 « La vigne en effet [...] tenait dans les préoccupations de nos ancêtres, une telle place que quiconque, parmi eux, avait un rang, la cultivait pour l'honneur, autant que pour le profit, en sorte que la seule présence d'un château, ou d'une bourgade rehaussée de quelques maisons opulentes, suffisait à faire paraître un vignoble – qui restait nécessairement petit quand le site était peu propre au commerce »,
- le marché extérieur (classe external_market), qui d'après DION (1952, p.418) qui cite O. DE SERRES dans son « Théâtre d'Agriculture et Mesnage des Champs » (O. d. SERRES 1600), « "La débite", c'est-à-dire la façon dont se présentent les possibilités de débit, sera "la règle de notre vignoble". Elle en déterminera l'emplacement, l'importance et le caractère ». Le marché extérieur, crée une demande sur l'un des marchés intérieurs, et c'est lui qui va ensuite centraliser et réorganiser la distribution de la demande. Il se crée donc naturellement une différenciation entre

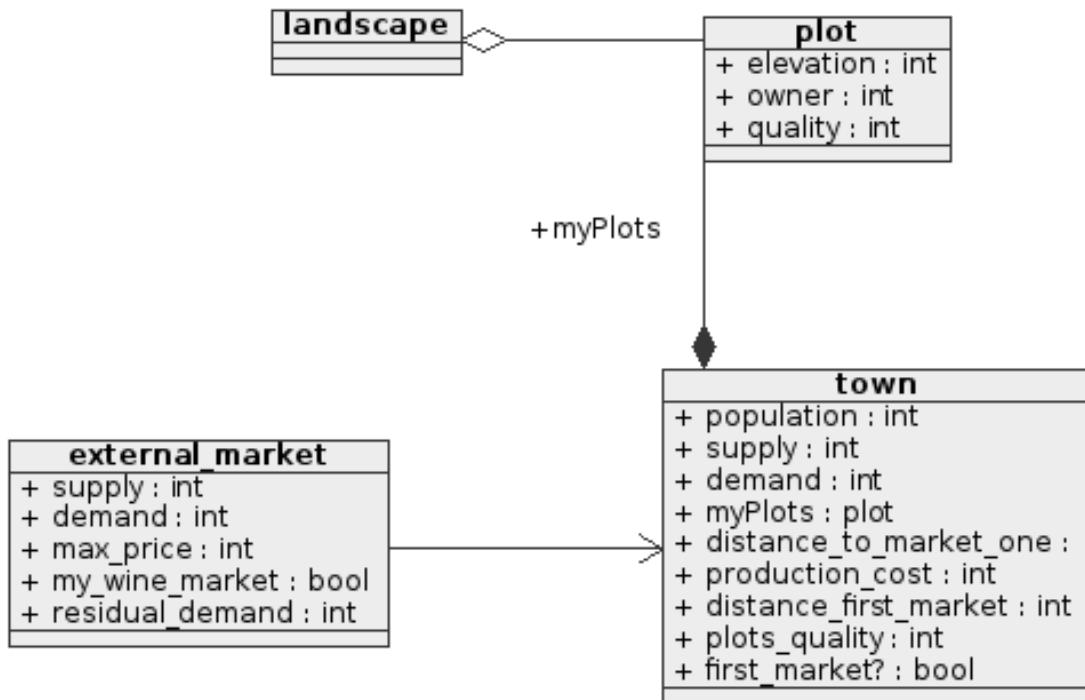


FIGURE 3.1 – Diagramme de classe du modèle

les villes, en fonction de leur degré de proximité dans le réseau, au marché extérieur.

- Les voies de communication sont des entités émergentes qui sont créées au besoin par le marché central pour relier les marchés locaux. La route est un moyen de réduire les coûts de transports locaux.

Nous avons également considéré l'environnement (classe *landscape*) sous forme de celles (classe *plot*) élémentaires (les *patches* de NetLogo), qui peuvent être cultivées (en vigne) ou non.

Les variables d'état des entités : Les villages sont caractérisés par leur propre demande en vin, et par la demande extérieure. Ils sont initialisés avec quelques parcelles de vignes (les *patches* de l'environnement NetLogo), qui leur permettent de répondre à leur demande locale/extérieure. Ils connaissent leur distance au marché primaire qui, lui, est connecté au marché extérieur et donc à la demande extra-territoriale.

Les coûts de production sont ici modélisés par la distance entre chaque parcelle et le marché auquel elle est rattachée suivant les hypothèses de THÜNEN (1966). Le marché extérieur est, par souci de simplification, unique. Il se caractérise par une offre et une demande, mais également par un consentement à payer le produit de la part du marché extérieur. Ces trois paramètres auront un impact direct sur le comportement du système. Nous pouvons ici les considérer comme les principales contraintes économiques du système. En ce qui concerne les parcelles, elles sont caractérisées par le type de culture

qu'elles portent (présence/absence de vigne), elles ont aussi des attributs de nature géomorphologique (altitude/pente). Elles possèdent une « qualité » initiale (objet central de l'article et donc de notre modèle) qui est liée aux conditions environnementales et aux facteurs humains. Nous détaillerons dans la partie 3.1.2.3 les processus et les interactions en jeu à ce niveau. Ces interactions permettent de prendre en compte l'assertion de R.DION p.428 « le fondateur du vignoble n'a eu garde de négliger ce qui dans la disposition naturelle des lieux, pouvait ça et là favoriser son dessein. »

L'échelle temporelle : Nous nous intéressons ici aux dynamiques paysagères liées à une activité économique de nature agricole basée sur le cycle végétatif d'une plante. Nous avons donc considéré que le pas de temps annuel était le plus pertinent au regard de la nature des événements que nous souhaitons étudier. Il permet d'observer les mises en culture et les abandons de zones viticoles en fonction des dynamiques économiques et des dispositions spatiales du terrain.

L'échelle spatiale : Nous situons notre modèle dans un espace abstrait de 64×64 cellules (aussi appeler *patches*, l'unité spatiale élémentaire dans Netlogo) qui pourrait s'apparenter à l'échelle d'un pays, ou d'une grande région. Comme nous avons commencé à l'évoquer, ces cellules représentent des parcelles qui sont ou non cultivées en vigne. Ainsi nous considérons les parcelles comme de petites entités spatiales "primordiales" et indivisibles, elles-mêmes constitutives, quand elles sont considérées sous leurs formes agrégées, du paysage. Dans ce modèle, nous travaillerons l'espace en trois hypothèses de configurations spatiales distinctes afin d'en identifier la responsabilité sur les lieux d'implantation du vignoble. Autrement dit, nous explorerons différentes configurations spatiales pour tester leur implications dans la variabilité du système. Les environnements simulés seront donc :

- isotrope, où toutes les parcelles ont les mêmes caractéristiques de qualité initiale, quelle que soit la direction ;
- anisotrope, qui intègre des formes orographiques, ce qui implique des qualités parcellaires non uniformément distribuées ;
- le même environnement que précédemment du point de vue des formes orographiques simulées, mais dans une orientation différente pour évaluer l'effet de la proximité de ses formes sur la structuration du territoire viticole.

Processus et Ordonnancement

Le modèle "*Dion still alive*" est construit pour explorer et réinterroger la prégnance de la géographie commerciale sur la géographie physique, mais également la notion de qualité et les effets de la micro géographie sur la structure spatiale des territoires. Le modèle est subdivisé en 7 sous-modèles qui seront détaillés dans la partie 3.1.2.3. Ces sous-modèles

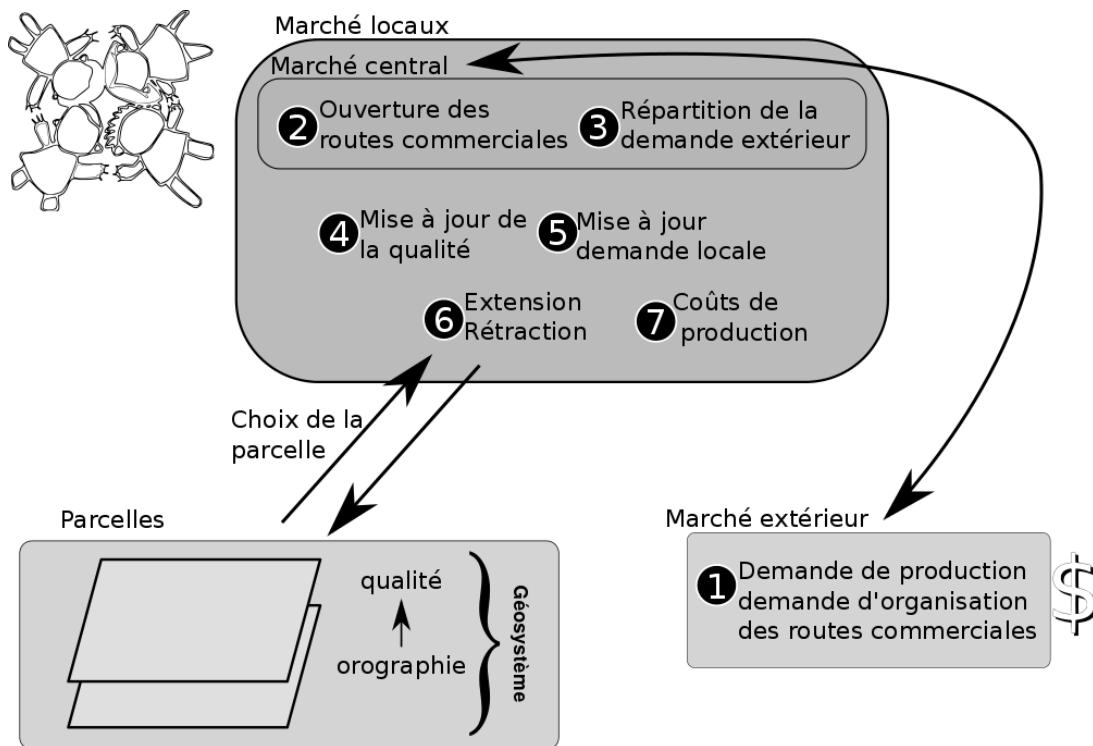


FIGURE 3.2 – Schéma de l'ordonnancement des processus en jeux lors d'une itération de la simulation

sont de deux types : ceux initiés par le marché extérieur et ceux initiés par les villes.

- Marché extérieur (identifié avec 1 sur la figure 3.2)
- Transmission de la demande extérieure et du consentement à payer au marché central (n° 1 sur la figure 3.2)
- Marché central
- Ouverture de routes commerciales en fonction de la demande (n° 2 sur la figure 3.2)
- Répartition de la demande entre les villes du réseau (n° 3 sur la figure 3.2)
- Mise à jour de la qualité des parcelles cultivées (n° 4 sur la figure 3.2)
- Dispersion de l'offre et de la demande (n° 5 sur la figure 3.2)
- Mise en culture ou abandon de parcelles (n° 6 sur la figure 3.2)
- Calcul des coûts de production (identifié avec n° 7 sur la figure 3.2)

3.1.2.2 Concepts d'élaboration

Contexte scientifique

Le postulat de l'inégalité de la qualité des vins est une hypothèse acceptée par la société civile et par la communauté scientifique comme un fait. Sa genèse est plus largement sujette à débat. Selon R.DION, l'ancienneté d'un vignoble peut expliquer que la qualité

varie considérablement bien que les caractéristiques pédoclimatiques soient identiques. « Il est toujours possible à qui peut dépenser sans compter d'apporter de substantielles améliorations à l'état naturel du terrain. Il faut que la côte de Champagne en ait reçu d'innombrables pour qu'un agronome ait pu dire des vignes de ce lieu fameux qu'elles poussent dans un sol artificiel qui a fini par acquérir, à force d'apport incessant, une constitution qui favorise à un haut degré leur prospérité. »⁸.

Cette idée d'une qualité de production liée au temps s'inscrit dans une tradition d'économie géographique autour des systèmes productifs locaux. Au-delà de l'hypothèse mise en avant par R.DION basée sur l'ancienneté de trajectoires individuelles, la diffusion des modes et pratiques des uns et des autres permet une augmentation générale de la qualité avec le temps. Lorsque la viticulture gagne du terrain, s'ensuit un phénomène de type « *district local* » : avec la « concentration d'industries spécialisées dans certaines localités »(MARSHALL *et al.* 1971, p.460), « les secrets de l'industrie cessent d'être des secrets ; ils sont pour ainsi dire dans l'air, et les enfants apprennent inconsciemment beaucoup d'entre eux »(ibid., p.465).

Ainsi, l'effet quantité se traduit par un effet qualité : avec le temps, des savoir-faire se diffusent dans le milieu. Dans la lignée de BECATTINI (1979) reprenant les travaux de Alfred Marshall, une littérature empirique et théorique importante a identifié le rôle des connaissances tacites et informelles dans la performance des entreprises d'un même secteur, concentrées sur un même territoire (AYDALOT 1984 ; COURLET et PECQUEUR 1991 ; COLLETIS et PECQUEUR 1993). Une partie de ces travaux a porté sur l'agriculture et notamment sur les AOC, montrant, qu'au-delà des spécificités topologiques des territoires, l'émergence des AOC s'explique beaucoup par la capacité des acteurs à s'organiser formellement et/ou par l'existence de relations informelles de confiance⁹ (TORRE 2000 ; TORRE 2006).

Ainsi, il est raisonnable de faire l'hypothèse que, dans le cas d'une concentration d'activités d'un même secteur tel que cela se passe dans le cas d'une spécialisation régionale, les connaissances issues de l'expérience et les relations formelles et informelles qui se développent avec le temps contribuent à une amélioration générale de la qualité. Cela repose à la fois sur l'expérience acquise sur son vignoble par un exploitant et ses successeurs, mais aussi en raison de l'expérience collective acquise sur un territoire se diffusant par le bouche-à-oreille et étant difficilement exportable sur des aires de production voisines, mais non contigües.

Si ces considérations portent sur les questions de qualité en tant que fonction temporelle, cela pose également la question des modalités que peut prendre la qualité au cours

8. Muntz, Recherche sur le vignoble de la champagne, 1893, p. 21, cité par R.DION (p. 421).

9. Il serait donc particulièrement intéressant en complément de ce travail d'explorer par le biais de l'analyse de réseaux l'importance du tissu social dans les processus de création d'AOC.

du temps. De part notre approche de modélisation, nous avons cherché à formaliser la manière dont celle-ci peut évoluer sur le temps long.

Processus de décision

Étant donné l'échelle de réflexion à laquelle se place R.DION, nous avons fait le choix de définir les villes / villages (et donc les marchés locaux) comme agents décidants. Ce sont eux qui, en fonction de l'environnement et du contexte économique dans lequel ils se trouvent, vont prendre la décision de mettre en culture, ou au contraire d'abandonner une parcelle. De manière générique, les villes sont donc structurantes pour le territoire à l'échelle locale. Dans le processus de choix des parcelles propres à la mise en culture, ces dernières vont choisir parmi celles disponibles celles qui présentent les meilleures caractéristiques locales. Ainsi « le fondateur du vignoble n'a eu garde de négliger ce qui, dans la disposition naturelle des lieux, pouvait ça et là favoriser son dessein » (DION 1952, p.428). Dans ces conditions, l'espace devient un élément très structurant tant du point de vue des distances que de l'hétérogénéité qui le compose.

À l'échelle globale, nous donnons à l'une de ces villes une qualité supplémentaire, en lui permettant de choisir la structure des voies commerciales du territoire. Cette ville est considérée comme le marché central où les denrées doivent passer pour être échangées, à l'exemple du Bordeaux ou de Porto (ENJALBERT 1953) dans le commerce des vins vers l'Angleterre.

Cette "place centrale" au sens de CHRISTALLER (1966) va, en fonction de ses propres capacités de production et des conditions du marché, choisir d'ouvrir ou de fermer l'importation de vins mis à disposition du marché extérieur. Nous reviendrons en détail sur les processus dans la partie 3.1.2.3, mais nous voulons appuyer ici le fait que les décisions prises par le marché central reposent sur une nécessité de rationalisation économique en tentant de satisfaire la demande extérieure sans dépasser la valeur du consentement à payer. La création d'un lien commercial se fait au détriment de l'agriculture locale.

Réflexe aux conditions extérieures

Dans cette modélisation, les agents sont considérés comme des entités mécaniques qui répondent à des stimulations économiques par des extensions/rétractions spatiales. Leur capacité d'action est limitée au voisinage proche des parcelles qu'ils ont déjà mises en culture.

Interactions

Les interactions entre les agents sont assumées comme étant directes du point de vue commercial. Toutefois, il s'opère également, dans certaines configurations, un ensemble d'interactions minimales indirectes dans la mesure où les agents spatialement proches

peuvent être amenés à entrer en compétition pour l'espace. Cette compétition à l'échelle individuelle a des implications à l'échelle agrégée du paysage (c.f. figure 3.1) si l'on s'intéresse à la qualité des parcelles. En effet, par le jeu des extensions/rétractions parcellaires, certaines parcelles changent « d'aire d'influence ». Autrement dit, le marché local auquel elle était rattachée a perdu ses capacités de débouché et un marché voisin lui en a gagné. Ce dernier va donc reprendre la parcelle à son compte et celle-ci restera cultivée. D'autre part, si la structure du réseau commercial est imposée entre le marché extérieur et le marché central, elle est laissée « libre » en ce qui concerne les liens secondaires sur le territoire. C'est le marché central qui va définir, selon les évolutions que va suivre le modèle, la pérennité ou non de ces liens.

Hétérogénéité

Nous avons mis en place une hétérogénéité au niveau des agents villes en distinguant la ville connectée au marché extérieur, celles qui ne sont pas connectées et celles qui le sont, mais au marché central. Le marché central effectue un certain nombre d'actions sous l'impulsion du marché extérieur, et ce, en plus des processus communs à toutes les villes. Ces tâches sont principalement liées à la gestion du réseau commercial permettant de répondre à la demande du marché extérieur.

Stochastique

Nous avons testé la stochasticité des résultats en sortie pour évaluer le nombre de réplications du modèle à effectuer (c.f. fig. 3.3). Pour cela nous avons effectué 10 000 réplications d'un même jeu de paramètres et effectué un tirage aléatoire des échantillons pour en constituer 10 groupes. On observe la variabilité des résultats sur 10, 20 30, 40 etc., échantillons tirés aléatoirement sans remise. On observe que pour 10 réplications la stochasticité des échantillons risque de fausser les résultats (c.f. fig. 3.3(a)), mais elle tend à s'effacer avec 20 et 30 réplications (c.f. fig. 3.3(c)).

Observations

Nous avons testé la sensibilité aux conditions initiales du modèle grâce au cluster de calcul de l'Université de Limoges. Le modèle a été intégré à OpenMole (REUILLON, LE-CLAIRES *et al.* 2013), qui est un *workflow* permettant de tirer partie des environnements de calcul distribués.

Les paramètres que nous avons fait varier sont :

- le type d'évolution que va suivre la qualité à l'intérieur du modèle : fonction logistique contre fonction linéaire ;
- le type d'environnement : un espace isotopique et deux espaces anisotropiques ;
- la demande extérieure de 6000 à 8000 par pas de 1000 ;

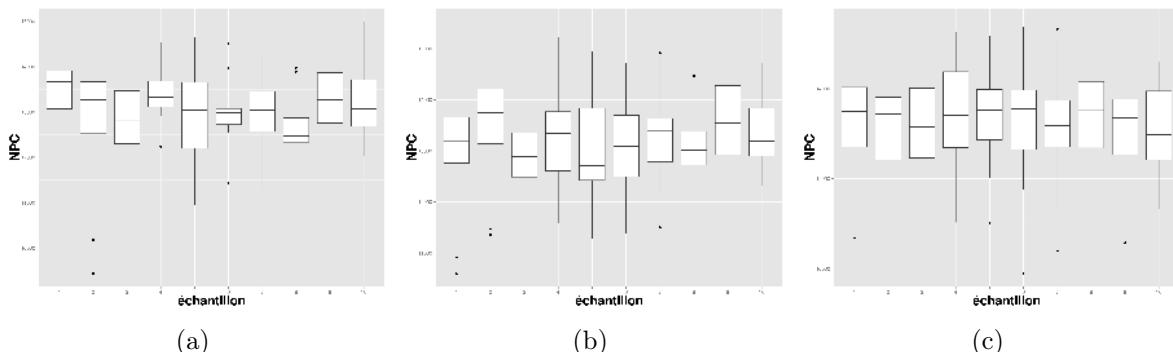


FIGURE 3.3 – Evaluation des la stochasticité des résultats du modèle en fonction du nombre de réplications effectuées. En (a) avec 10 réplications, (b) avec 20 réplications, (c) avec 30 réplications

- le consentement à payer des acheteurs extérieurs variant de 60 à 80 avec un pas de 10 ;
 - le coefficient r d'évolution de la qualité (c.f équations 3.1 et 3.2 part. 3.1.2.3). Ce coefficient n'a d'influence que dans le cas de la fonction logistique (c.f. équation 3.2).

Chaque paramétrisation a été répétée 30 fois pour s'assurer de la stabilité des résultats au travers des simulations (ce qui produit plus de 60 000 simulations). Nous récupérons les résultats issus de la dernière itération du modèle. Ces résultats sont ensuite traités avec R (TEAM 2014).

En sortie nous récupérons :

- L'indice de Gini¹⁰ calculé sur les différents marchés modélisés et qui permet de savoir comment sont réparties les parcelles entre les eux ;
 - L'indice de Gini calculé sur la qualité. Ici nous nous intéressons à l'équitable répartition de ce caractère entre les cellules de la grille ;
 - Le nombre de parcelles cultivées en vigne dans le système ;
 - Le nombre moyen de patches à travers le réseau ;
 - La qualité moyenne des parcelles viticoles ;
 - La qualité moyenne en montagne pour les parcelles cultivées ;
 - La qualité moyenne pour les parcelles cultivées en vigne dans la plaine ;
 - Les coûts de production du réseau économique ;
 - La proportion de patches en montagne utilisée pour la viticulture ;
 - La proportion de patches en plaine utilisée pour la viticulture.

10. L'indice de Gini donne une mesure de l'équitable répartition d'une valeur entre des individus statistiques.

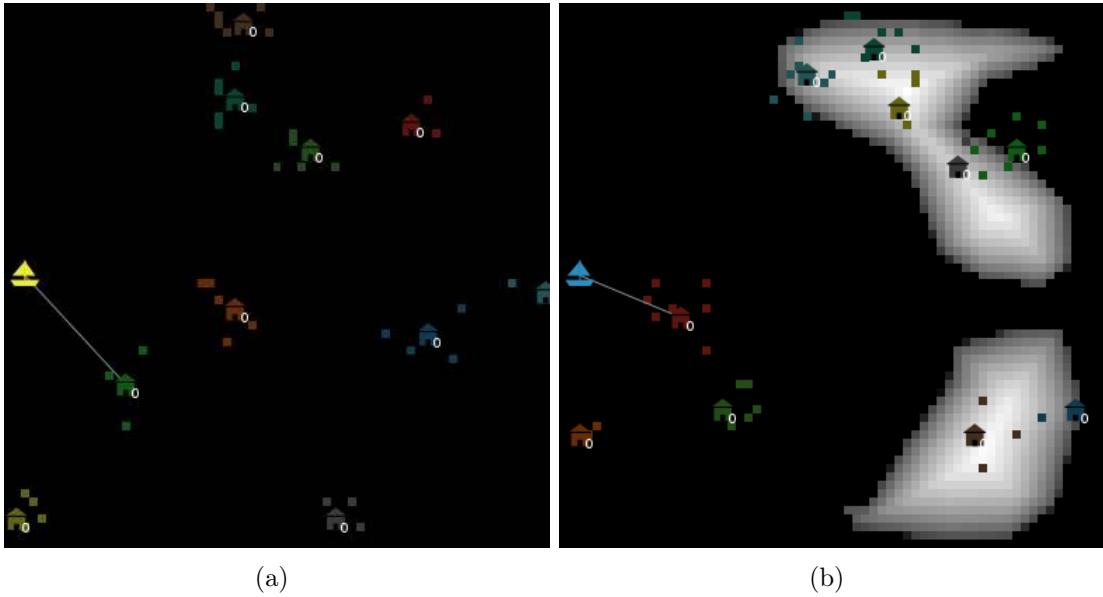


FIGURE 3.4 – Initialisation de l'espace de simulation dans deux différentes configurations. En (a) un monde de plaine (isotrope) et en (b) un piémont (anisotrope).

3.1.2.3 Détails

Initialisation

Au moment de l'initialisation, est défini le monde dans lequel les agents vont se développer. On testera des configurations pour un monde de plaine (isotrope c.f. fig. 3.4(a)) et pour un monde en piémont (anisotrope c.f. fig. 3.4(b)). Cette différence entre la plaine et les piémonts est liée à la qualité qu'on introduit (ou non) à l'initialisation. Dans le monde de plaine, la qualité est strictement la même dans toutes les directions, tandis que pour le monde de piémont, les collines commencent avec une qualité supérieure qui varie en fonction de la pente (DION 1952, p.428).

Les villes/villages sont créés et répartis de manière aléatoire sur la carte. Chaque ville est créée avec un nombre de parcelles initiales identiques. Leur répartition spatiale se fait de manière aléatoire dans un périmètre fixé a priori, et sans chevauchement des parcelles déjà attribuées à un autre agent.

On crée ensuite le marché extérieur. Celui-là est initialisé avec des coordonnées fixes. Il est demandé ensuite à ce dernier de se connecter commercialement (sous forme d'un lien) à une ville, qui sera donc la porte des flux économiques.

Si le nombre de villes/villages est fixé par l'utilisateur, il n'y aura, dans ces simulations, qu'un seul marché central.

Variables de forçage

Il n'y a pas d'entrée externe au système une fois que les simulations sont lancées.

Sous-modèles

LES SOUS-MODELES À L'ÉCHELLE DU MARCHÉ EXTÉRIEUR :

Organisation des voies commerciales par le marché central sur le territoire en fonction de la demande du marché extérieur : À chaque itération le marché central va calculer la capacité de production de son réseau. Cette capacité de production est la somme du nombre de parcelles de chaque ville multipliée par sept pour atteindre les proportions de vin dont fait référence le père Séchard de Balzac (*ibid.*, p.423) quand il parle des vins de qualité. Cette capacité de production permet de savoir si le système se retrouve en surproduction par rapport à la demande extérieure.

Si c'est le cas, le marché central va alors fermer l'une des voies économiques (c.f. fig. 3.5) qui le relie à l'arrière du territoire. Cette rupture d'accord commercial se fait avec la ville la plus éloignée pour réduire les coûts d'acheminement (la fermeture de la voie commerciale est visible dans les environnements 3.5(c) et 3.5(d)). Si le système ne se trouve pas en situation de surproduction, et que les coûts de production sont inférieurs au consentement à payer par le marché extérieur, alors une connexion va être mise en place entre le marché central et le marché le plus proche de lui qui n'est pas encore connecté.

Le choix de l'ouverture ou fermeture des voies économiques basé sur la distance, repose sur le principe du rasoir d'Ockham¹¹.

Le marché central répartit la demande extérieure sur le territoire en fonction des voies commerciales ouvertes : Cette procédure fait suite à la répartition des voies commerciales, et elle permet de redistribuer la demande du marché extérieur équitablement entre les différents marchés connectés.

LES SOUS-MODELES À L'ÉCHELLE DES VILLES :

Mise à jour de la qualité des parcelles cultivées : C'est dans ce sous-modèle que se situe l'hypothèse majeure que soutient R.DION dans cet article. C'est-à-dire que la qualité est liée principalement à la capacité de « débit » des produits viticoles. Or, au moment de formaliser le comportement de la qualité dans le temps, nous sommes confrontés à deux possibilités :

- considérer la qualité comme une fonction linéaire et infinie dans le temps, ce qui paraît difficilement acceptable ;
- considérer que la qualité suivrait plutôt une fonction logistique dans le temps.

Dans tous les cas nous considérons, et c'est un postulat de DION (*ibid.*, p.241), que la qualité est une fonction temporelle. Nous prenons le parti de tester deux hypothèses de

11. qui énoncera « *Entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem* », ce qui se traduit littéralement par : "Les entités ne doivent pas être multipliées par delà ce qui est nécessaire"

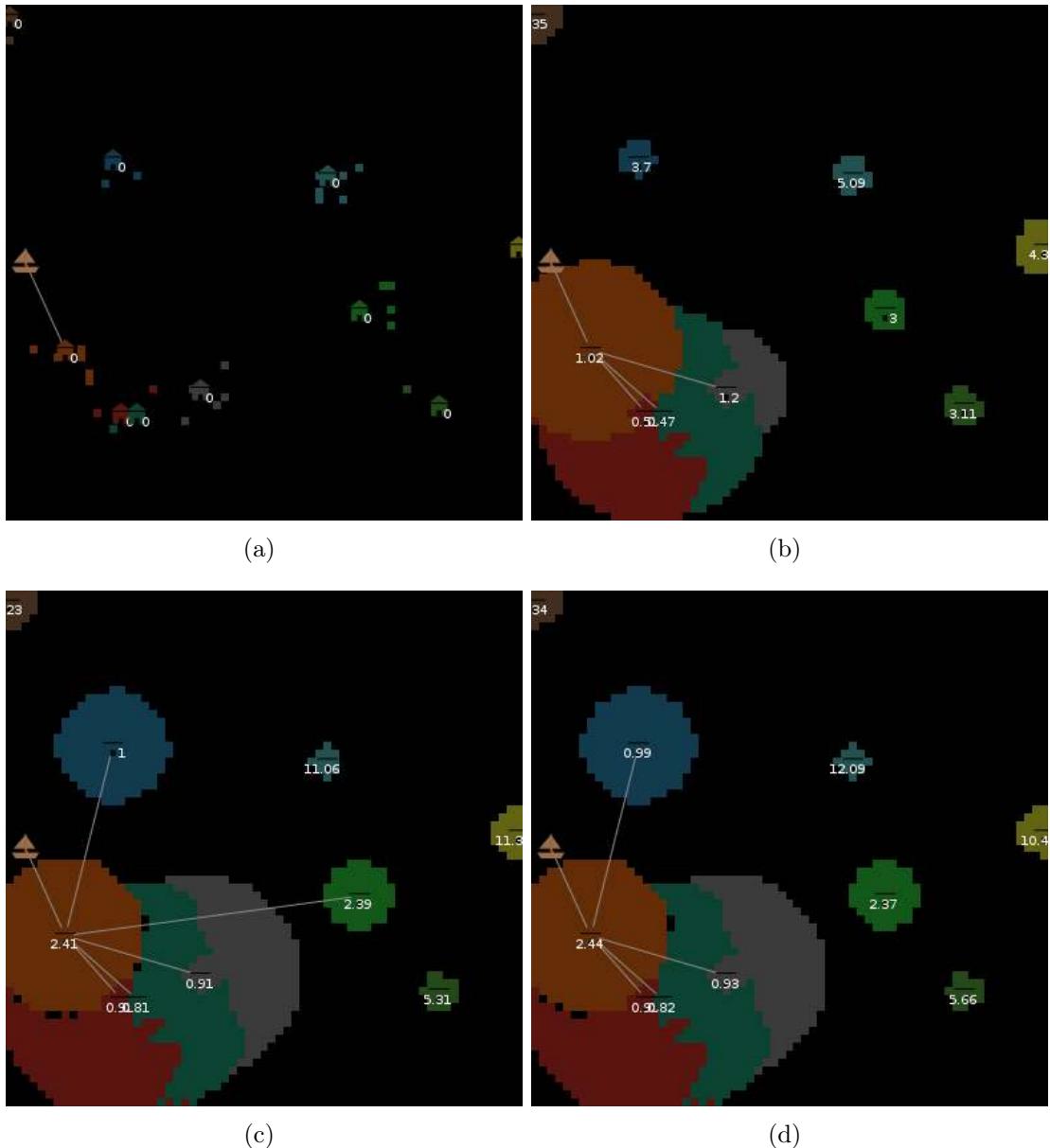


FIGURE 3.5 – Évolution des voies commerciales dans les modèles *Dion still alive* au cours du temps et pour une simulation. L'espace simulé est considéré à $t = 0$ (a), puis $t = 243$ (b) et enfin $t = 314$ (c) et $t = 315$ (d) pour un monde isotrope.

formulation dans ce sous-modèle. Ainsi nous explorerons l'évolution du modèle quand celui-ci est régi par une évolution de la qualité basée sur une fonction linéaire :

$$Q_{t+1} = Q_t + r \times Q_t \quad (3.1)$$

De même, nous étudierons le comportement du modèle quand la qualité est basée sur une fonction logistique (de Verhulst), dans laquelle la qualité atteint une limite finie.

$$Q_{t+1} = 100 \times \left(\frac{1}{1 + e^{-r \times Q_t}} \right) \quad (3.2)$$

où :

- Q_t et Q_{t+1} sont respectivement la qualité à l'instant $t + 1$ (c'est-à-dire à l'itération suivante) et la qualité à l'instant t .
- r est le coefficient de l'évolution de la qualité.

La figure 3.6 présente les dynamiques suivies par la qualité en fonction du coefficient r qui lui est appliqué. On peut noter que, dans le cadre de la fonction logistique, le coefficient a pour effet de durcir la pente de la courbe, ce qui permet aux parcelles d'atteindre plus rapidement un optimum de qualité tandis que, dans le cas d'une évolution linéaire, la pente de la droite n'est pas bouleversée par le coefficient r . Celle-ci tendant toujours vers une limite infinie.

Dispersion de l'offre et de la demande : Ce sous-modèle s'occupe de répondre à la demande par la production disponible, en orientant cette dernière vers le marché central.

Mise en culture, ou abandon de parcelles : Ce sous-modèle est inféodé à deux paramètres : la demande qui est attribuée au marché local, et le consentement à payer de la part du marché extérieur.

Si la demande est supérieure à l'offre et le consentement à payer du marché extérieur supérieur aux coûts de production, alors le marché local peut étendre son territoire viticole et planter de la vigne sur de nouvelles parcelles (processus qu'on observe sur la figure 3.5). Dans ce cas, il va chercher les parcelles libres dans un rayon de 2 parcelles à partir de celles qu'il cultive déjà. Ce marché choisira alors parmi les parcelles sélectionnées, 5 fois de suite, une parcelle avec la qualité maximum, et la plus proche de lui.

Si la demande vient à être inférieure à l'offre, ou que le consentement à payer est inférieur aux coûts de production, le marché local se retrouve dans une situation de rétractation

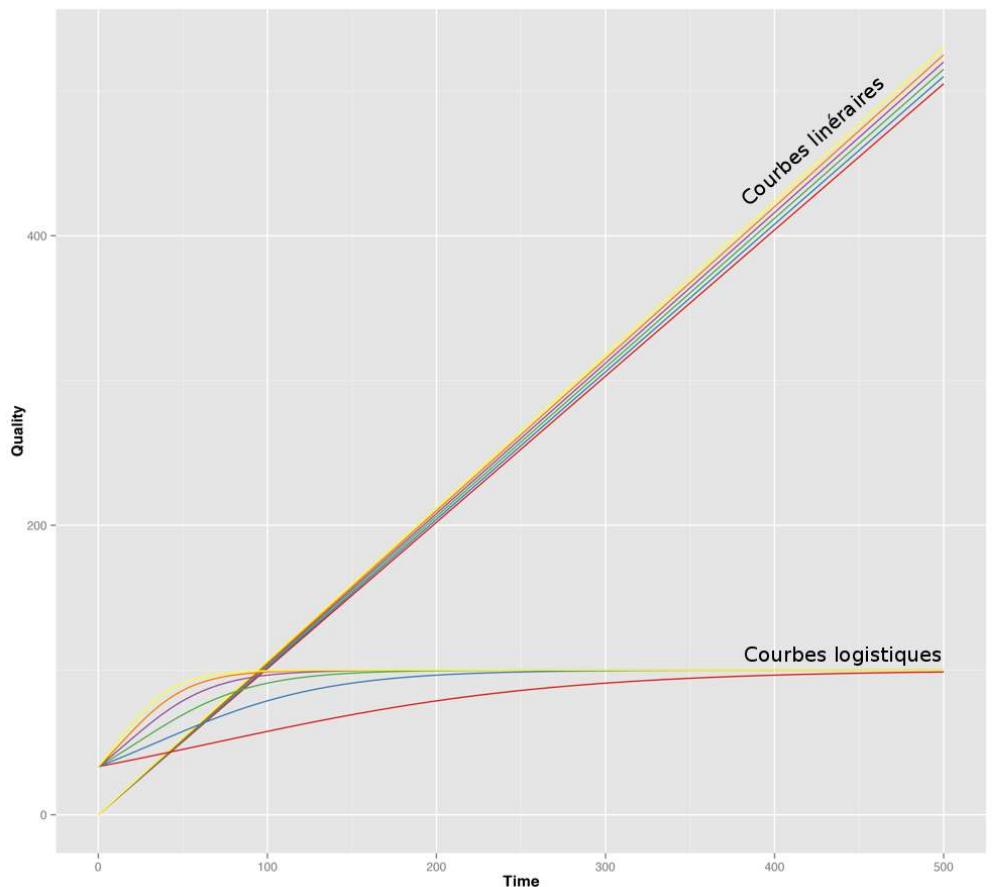


FIGURE 3.6 – Fonction d'évolution de la qualité au cours du temps en fonction de r et du type de transformation mathématique appliquée (logistique VS linéaire)

économique, il va donc chercher à abandonner des parcelles, de préférence la parcelle la plus éloignée (THÜNEN 1966).

Calcul des coûts de production : Les coûts de production sont calculés en fonction de la distance au marché local. Pour cela chaque marché va faire la somme des distances à ses parcelles. Ces coûts de production sont ensuite divisés par 200¹².

Si le système est dans une configuration de réseau, on va ajouter aux coûts de production des marchés locaux, le prix d'acheminement jusqu'au marché central.

3.1.3 Résultats

3.1.3.1 L'influence sur le territoire des variables issues des marchés extérieurs

Nous voulons évaluer les conséquences des variables extra-territoriales sur le comportement du système viticole. Nous nous plaçons dans un monde isotrope, Nous nous intéressons donc à l'évolution du nombre de parcelles viticoles dans le système, au regard de plusieurs paramètres : la demande extérieure, le consentement à payer, et les types de fonctions régissant la qualité. La figure 3.7 nous permet de comparer l'influence de ces différents paramètres.

Sur le graphique de gauche, on constate que la demande extérieure croissante entraîne une réponse du territoire en vue de satisfaire cette demande. Le nombre de parcelles cultivées en vigne est donc largement influencé par cette première variable. Le graphique central de la figure 3.7 met en regard le nombre de parcelles viticoles et le consentement à payer. On y observe une légère diminution des surfaces viticoles, surtout quand le consentement à payer est plus élevé. Mais la dispersion des résultats (très grande variance) ne rend pas cette observation pertinente, et on pourra également considérer une certaine stabilité dans les résultats.

Enfin, on peut noter, sur le graphique de droite, la faible influence du type d'évolution que va suivre la qualité sur le nombre final de parcelles. Tout au plus constate-t-on une augmentation de la variance dans le groupe de simulation avec une évolution linéaire de la qualité.

12. Ce chiffre arbitraire a été choisie lors de l'étalonnage pour produire un comportement médian. Il est lié à l'ordre des valeurs que prend le consentement à payer. Nous sommes dans un modèle *KISS* et stylisé (cadre A du graphe 2.15), ce sont donc les ordres de grandeur et les tendances qui sont importants.

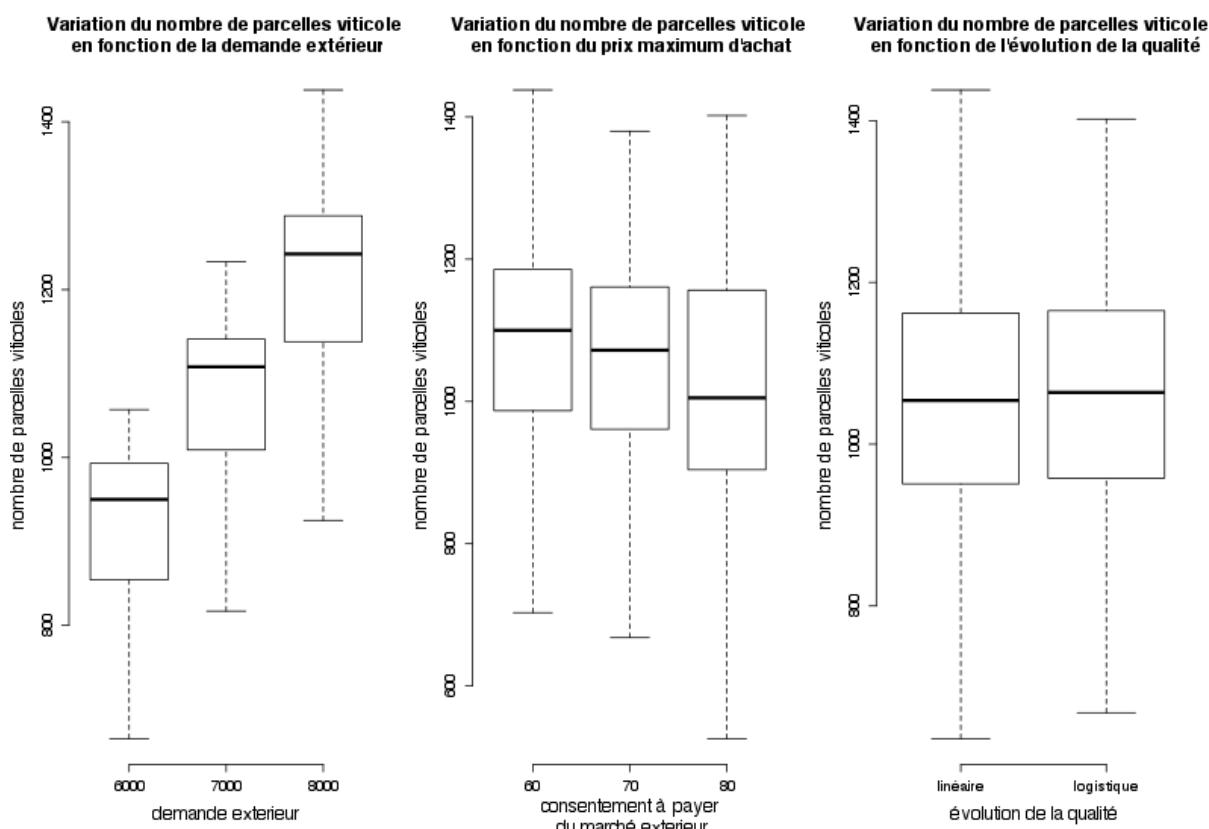


FIGURE 3.7 – Évolution de l'importance de la demande extérieure, du consentement à payer et du comportement de la qualité sur le nombre de parcelles viticoles après 500 itérations

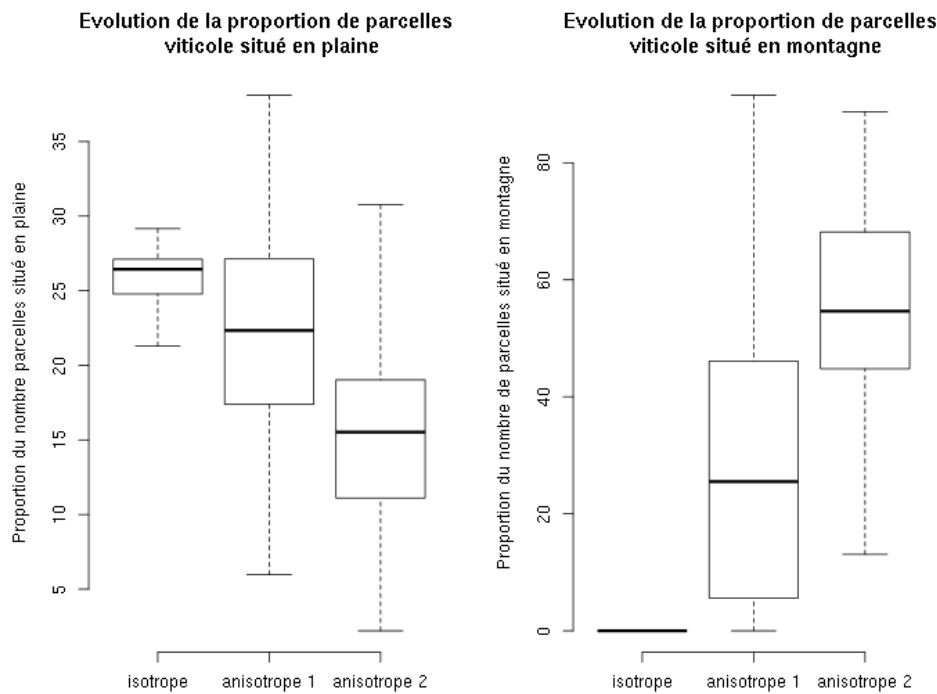


FIGURE 3.8 – Importance de l'environnement dans la structuration spatiale du territoire viticole après 500 itérations

3.1.3.2 L'influence de l'espace et la place de la montagne dans la structuration du vignoble de qualité

La figure 3.8 met en lumière la proportion de parcelles viticoles, alternativement en plaine (graphique de gauche) et en montagne (graphique de droite), par rapport aux parcelles de la catégorie.

Il faut noter que les grandeurs sont calculées pour chaque catégorie de parcelles. Dans le monde isotropique, la proportion de parcelles viticoles est calculée sur la surface totale de l'environnement simulé, tandis que dans les deux autres mondes, les surfaces viticoles de chaque catégorie sont calculées sur les surfaces totales de chaque type de parcelle. Dans ces conditions, il n'est pas étonnant que la variation intergroupe entre le monde isotrope et les mondes anisotropes soit si faible.

De manière générale, on observe que les surfaces viticoles prennent très rapidement pied dans la montagne à partir du moment où celle-ci entre dans la simulation. Cette proportion de viticulture occupant des parcelles de montagne augmente encore lorsque l'on initialise l'environnement avec des zones orographiques proches du marché extérieur (monde anisotrope n°2).

Dans la figure 3.9, nous nous intéressons à l'évolution de la qualité au regard des diffé-

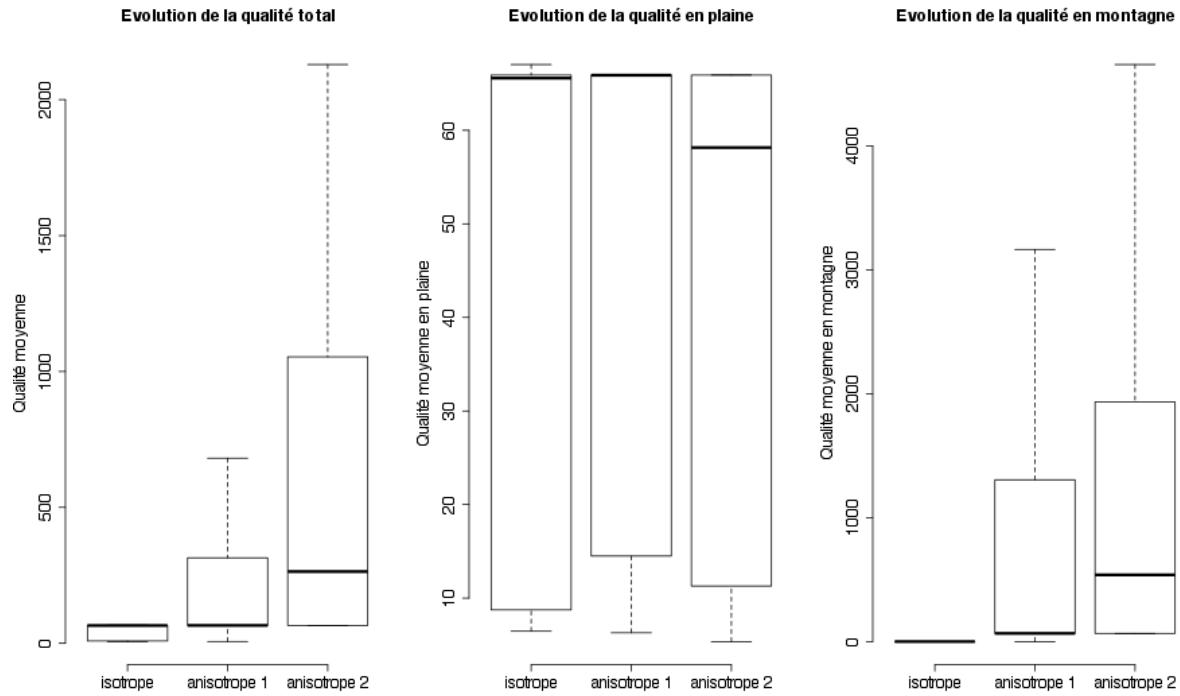


FIGURE 3.9 – Évolution de la qualité des parcelles viticoles en fonction de l'environnement après 500 itérations

rents mondes. Sur chaque graphique nous retrouvons en abscisse la configuration spatiale, et en ordonnée tour à tour la qualité moyenne totale, la qualité moyenne en montagne et la qualité moyenne en plaine. Dans la mesure où le marché extérieur est invariablement initialisé à la même place (c.f. figure 3.2), la configuration spatiale et plus particulièrement la place de l'orographie joue un rôle important.

On constate sur le graphique de gauche de la figure 3.9 que si les simulations sont initialisées avec les zones de montagnes proches du marché principal (monde anisotrope n°2), et donc proches des potentiels débouchés, la qualité est très largement supérieure aux deux autres simulations. On retrouve exactement ces mêmes tendances dans le graphique de droite. Celui du centre, qui nous permet de visualiser le comportement de la qualité moyenne en plaine, laisse paraître de très petites différences entre la moyenne des valeurs de qualité dans une configuration isotrope et anisotrope, ce qui est lié là encore à la distance/proximité des montagnes dans la simulation.

3.1.3.3 Entre évolution logistique et linéaire de la qualité

Si R.DION s'est énormément intéressé à la notion de qualité dans son article, nous avons cherché à en formaliser les contours pour prendre conscience de ce que sa représentation implique socialement et spatialement. Dans ce modèle, deux constructions évolutives de

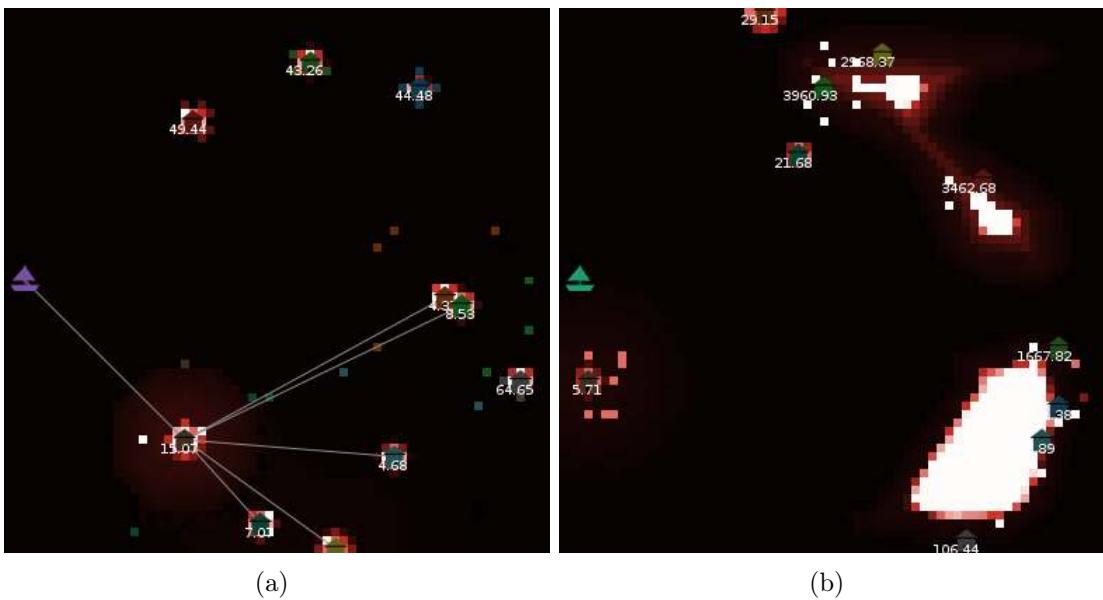


FIGURE 3.10 – L'évolution de la qualité dans les espaces simulés : dans une configuration isotrope (a), puis anisotrope (b). On observe un gradient de qualité (du rouge sombre pour les basses qualités au blanc pour les hautes qualités), et nous distinguons à l'intérieur des zones identifiées comme qualitatives, des petites zones encore plus qualitatives que leurs voisines.

la qualité sont confrontées i) une conception linéaire et ii) une conception logistique de l'évolution de la qualité. La figure 3.11 représente les valeurs que prend la qualité moyenne (à l'échelle du système) quand nous fixons l'environnement (anisotrope n°1), la demande, et les variables liées au marché extérieur.

On constate qu'en condition linéaire, la qualité peut prendre des valeurs bien plus élevées que lorsque le système est confronté à une qualité logistique (ce que laissait largement présager la figure 3.6).

Mais la différence qu'indique ce changement de paradigme se joue davantage d'un point de vue spatial et micro géographique. En effet, la confrontation des deux types de constructions spatiales explicités sur la figure 3.12 met en évidence un mécanisme proche de théories issues de la biologie évolutive, en particulier de l'hypothèse de la « reine rouge » (VAN VALEN 1977). Cette hypothèse consiste à définir l'évolution comme un phénomène nécessairement permanent pour rester compétitif dans les mécanismes de coévolution. Dans cette filiation et en s'appuyant par exemple sur les grands vignobles français comme celui du Bordelais, on comprend la nécessité d'invoquer une évolution de la qualité linéaire plutôt que logistique pour expliquer leur permanence dans le temps au sein d'une même appellation, de zone hyperqualitative au sein des zones déjà connues et reconnu comme qualitative (c.f. fig. 3.10). La qualité serait alors une fonction émergente du temps.

La notion d'émergence est l'une des notions les plus importantes issues des théories de

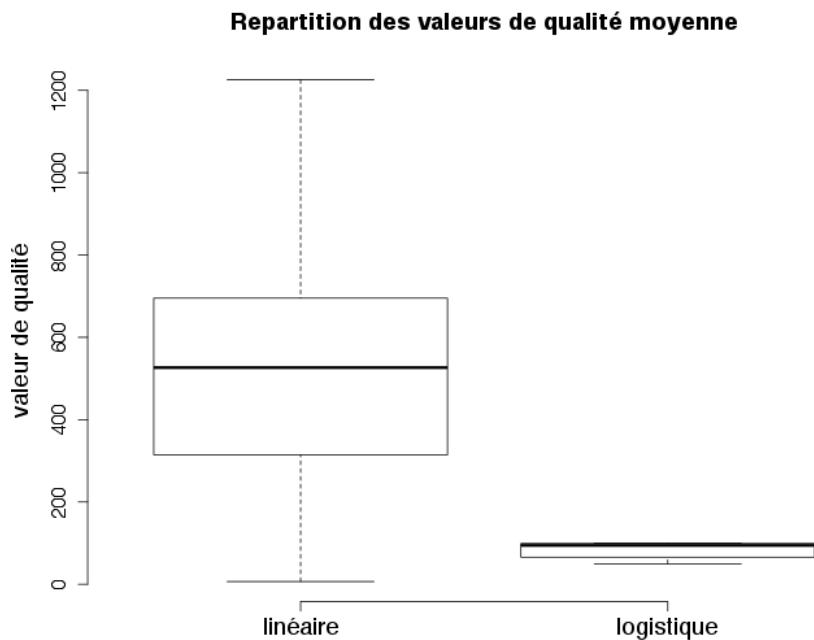


FIGURE 3.11 – Répartition des valeurs de qualité en fonction du type de comportement mathématique (linéaire ou logistique)

la complexité, sur lesquelles s'appuient largement les travaux recourant à la simulation. L'émergence se produit quand des interactions à un certain niveau d'organisation produisent des effets différents quand on les observe à des niveaux différents (N. GILBERT et TROITZSCH 2005). Autrement dit, un phénomène est dit émergent quand son observation n'est pas déductible du comportement individuel des agents qui entrent en jeu dans sa composition.

En condition d'évolution linéaire de la qualité (vignette (a) et (b)), on remarque de grands sauts qualitatifs symbolisés par les cellules blanches situées dans des zones de plus basse qualité. Cette structuration spatiale ne se retrouve pas dans les simulations en condition d'évolution logistique de la qualité (fig. 3.12 vignette (c) et (d)).

3.1.4 Discussion

Les premiers résultats présentés figure 3.7 permettent d'identifier une très nette variance inter-groupe sur le nombre de parcelles viticoles, liée aux transformations du marché extérieur, tandis que des modifications du consentement à payer ou du type d'évolution que peut suivre la qualité ne produisent pas de phénomènes aussi remarquables sur les surfaces cultivées. On retrouve donc ici les considérations introductives de R.DION qui s'appuyant sur O. DE SERRE considère la prépondérance du facteur économique lié au

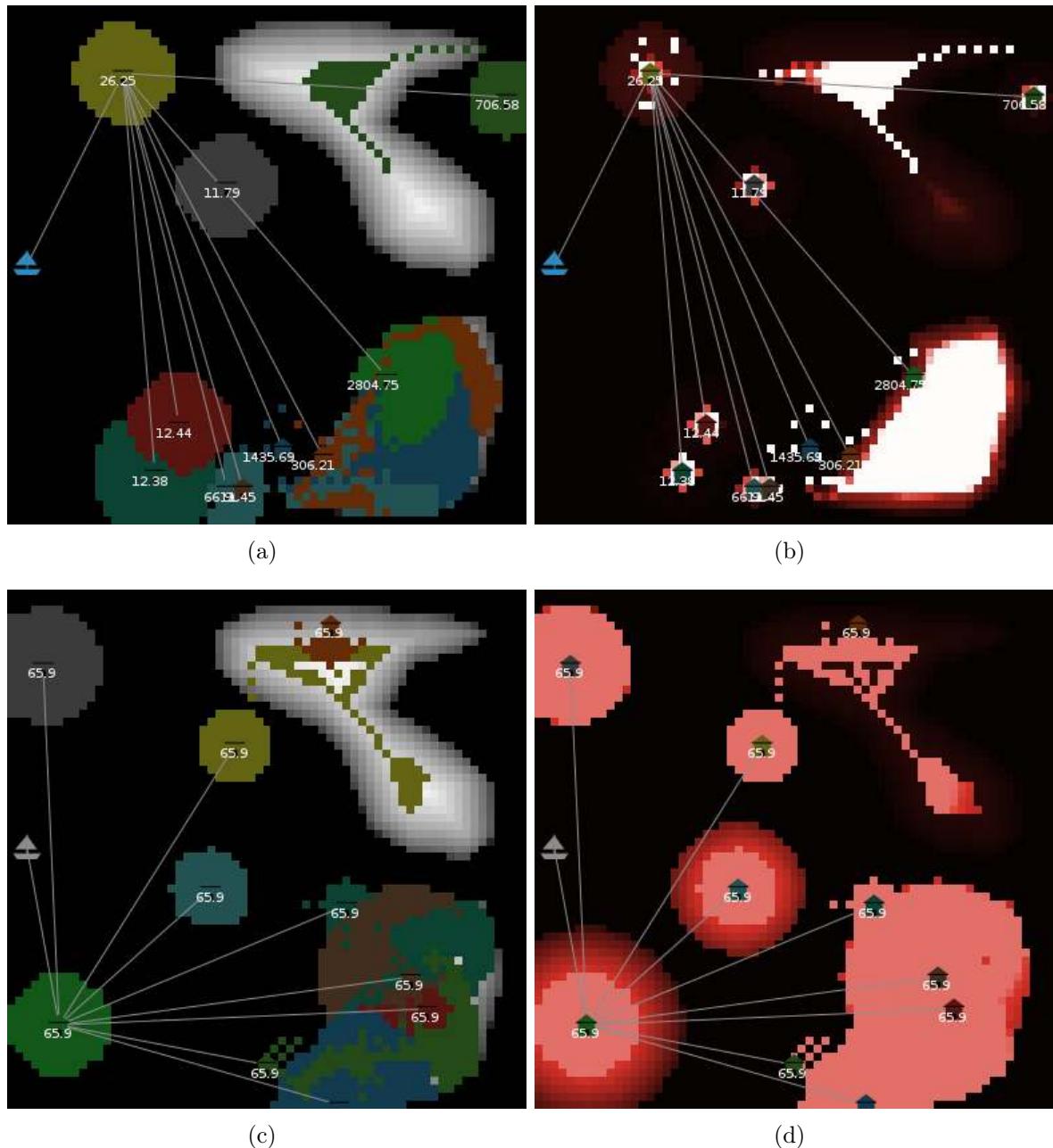


FIGURE 3.12 – Structuration spatiale du territoire viticole et de la qualité sous-jacente des parcelles. Les deux images supérieures mettent en scène une qualité linéaire. L'image (a) représente l'emprise viticole au bout de 500 itérations, tandis que l'image (b) représente la structuration de la qualité au même instant. De la même manière, les images (c) et (d) représentent une configuration dans un modèle logistique.

marché sur les autres facteurs entrant en jeux dans les logiques d'extension du vignoble. Dynamiques familiaires s'il en est à proximité des zones portuaires ou lors de l'ouverture du réseau ferré (MOLLEVI BORTOLO 2012). On pourra citer comme exemple les retombées sur tout l'arrière-pays aquitain de la demande en vin faite à Bordeaux sous l'impulsion des Anglais.

En considérant l'espace (fig. 3.8 et 3.9), nous questionnons les implications des dissimilarités locales des variables environnementales sur l'organisation du monde. La recherche de qualité est un comportement implémenté au niveau des agents. Ils sont donc tous confrontés à des prises de décisions au moment de la mise en culture d'une nouvelle parcelle. On constate donc sans surprise que les configurations spatiales dans lesquelles de l'hétérogénéité est intégrée conduisent les agents à utiliser ces variations (fig. 3.8).

Cela implique une nette augmentation des valeurs de la qualité sur les parcelles (fig. 3.9). Les agents effectuant leur choix en fonction de la qualité et de la distance (c.f. part. sous-modèles), la proximité de la montagne (boxplot de droite fig. 3.8) confère aux résultats des simulations effectuées dans ces conditions une net avantage en terme de qualité qui est visible sur les graphes de la figure 3.9. Si le contexte économique des agents est important, ceux-ci profitent évidemment des spécificités locales pour prospérer.

L'idée selon laquelle, la qualité, serait fonction du temps, s'inscrit dans une tradition d'économie géographique autour des systèmes productifs locaux. Cette émergence d'un phénomène de type « district local » met en évidence un mécanisme intéressant : l'effet quantité se traduit par un effet qualité. Avec le temps, des savoir-faire se diffusent dans le milieu (BECATTINI 1979). Les travaux sur le sujet portant notamment sur les AOC, mettent en évidence l'importance du contexte sociale dans la construction de l'image de la qualité liée à un espace (TORRE 2000 ; TORRE 2006 ; HINNEWINKEL 2007).

Ainsi il est raisonnable de faire l'hypothèse que, dans le cas d'une concentration d'acteurs d'un même secteur telle que ce à quoi aboutit le modèle, ces connaissances issues de l'expérience ainsi que ces relations formelles et informelles se développent avec le temps et contribuent à une amélioration générale de la qualité construite et perçue par les consommateurs. La question du type de relation qu'entretiennent les valeurs de la qualité à travers le temps n'en est pas pour autant définie. La différence significative qui existe entre l'évolution des valeurs de qualité (fig. 3.11) suivant les types de relation que nous avons envisagés nous permet de confronter deux conceptions. La fonction logistique envisage la qualité comme une ressource qui peut atteindre une valeur finie, tandis que la fonction linéaire, elle, la considère comme évolutive dans le temps. S'opposent alors deux conceptions sur le temps long de la notion de qualité : l'une est évolutionniste et l'autre déterministe.

Si l'on considère l'effet spatial de ces deux conceptions (fig. 3.12) on constate que les formes produites de la qualité sont radicalement différentes. La confrontation des deux

types de formes produites nous permet de distinguer la forme conceptuelle telle qu'elle est construite par les sociétés. En effet, les vignettes (a) et (b) de la figure 3.12 qui proposent une évolution de la qualité de type linéaire permettent de retrouver des zones hyper-qualitatives. En comparant cette situation aux vignettes (c) et (d), on constate bien la différence des formes spatiales de qualité. Dans cette seconde série, les zones blanches (fig. 3.12(b)) ont disparu, gommées par la limite supérieure de qualité. Cette dernière tendra à s'uniformiser dans le temps.

On peut noter enfin, sur les vignettes (a) et (b) de la figure 3.12, un phénomène d'émergence déjà observé par R.DION avec la mise en place d'un second zonage issu de l'entretien historique accentué sur ces parcelles. Les parcelles les plus vieilles acquièrent une avance qualitative (plus claire) par rapport à celles qui s'ouvrent plus tardivement. L'apparition de ces zones est ici un phénomène émergent (N. GILBERT et TROITZSCH 2005 ; N. GILBERT 1995a) à l'échelle du paysage : le positionnement spatial de ces parcelles, très bien identifié d'un point de vue qualitatif, n'est pas déductible des caractéristiques initiales de la parcelle. Tandis que le développement des aires de production s'explique par l'ouverture initiale d'une voie commerciale et que les différences de qualité entre aires de production peuvent découler de la localisation des coteaux, la grande qualité des vins des parcelles identifiées dans la figure 3.12 dépend quand à elle assez peu des caractéristiques initiales de celles-ci.

A chaque itération, une parcelle peut être maintenue en culture ou abandonnée pour des raisons liées à sa proximité au négociant voire même par hasard (lorsqu'elle est en concurrence avec une autre parcelle de qualité et de distance égales). Mais une fois que l'ancienneté lui permet d'acquérir une qualité supérieure, elle est moins souvent abandonnée, de sorte que sa qualité augmente plus régulièrement. Ce second zonage doit être comparé à l'identification des crus dans le Bordelais ou des clos en Bourgogne. Ces zones sont identifiées comme très qualitatives par rapport à leur entourage : parcelles historiquement cultivées et ayant profité de générations de cultivateurs attentionnés.

En interprétant la construction spatiale de ces zones hyper-qualitatives comme un phénomène émergent, nous poursuivons l'affinement, initié plus haut, de la hiérarchisation et de l'ordonnancement des processus géographiques (processus physiques *versus* processus commerciaux). La géographie commerciale pour ce qui en est des productions territorialisées (GUMUCHIAN et PECQUEUR 2007) n'a pas seulement un impact macro, mais également un impact micro, quoique secondaire par rapport à la géographie physique : si une parcelle est maintenue durablement en culture en raison de sa proximité (faibles coûts de transport) et de sa qualité progressive liée à l'ancienneté, elle peut acquérir une qualité supérieure quelles que soient les conditions pédoclimatiques initiales. Enfin au-delà de leurs trajectoires individuelles, on peut imaginer que ces parcelles ont une fonction méso-économique stimulant la vente des parcelles voisines par effet de proxi-

mité, et ainsi à l'échelle des marchés locaux reconstituer la hiérarchie dans les appellations.

Conclusion

La simulation réalisée permet de donner du crédit au réordonnancement qu'effectue *R.Dion* en replaçant à leur échelle l'importance des phénomènes en jeu dans la construction de la qualité du vin. Si le rôle du sol et du climat ne sont pas remis en cause localement, l'importance de la géographie commerciale a une très grande implication à l'échelle régionale (PITTE 2010). Cette modélisation permet de comprendre la cohabitation spatiale de vins de diverses qualités. Le processus de mise en place des appellations d'origine contrôlées a été une mesure de ségrégation spatiale, distinguant des vignobles de qualité vis-à-vis de leurs voisins, à une période de surproduction qui rendait la différenciation qualitative nécessaire.

La conception de la viticulture de qualité attribuée aux modernes, mettant l'accent sur la combinaison du cépage, du sol et du climat, n'est pas ici à mettre de côté. Comme dans l'article original, elle doit en effet co-exister à l'échelle locale avec l'approche attribuée aux Anciens mettant l'accent sur les voies commerciales dans les variables agissant sur la qualité à une échelle plus large. Notre approche de modélisation retrouve ce résultat où la géographie commerciale joue sur la géographie du vin à l'échelle macro des principales aires de production, tandis que la géographie physique joue sur la géographie du vin à l'échelle micro des différences de qualité dans une même aire de production. Elle encourage donc à garder à l'esprit toute l'actualité de la pensée de *R.Dion* dans la construction historique de la qualité des vins.

Par ailleurs, l'approche de modélisation et de simulation que nous avons entreprise offre la possibilité de pousser plus loin les questionnements et les hypothèses avancées par DION (1952). En effet, s'il opposait les vins bourgeois aux vins paysans DION n'avaient pas été confrontés aux questionnements sur les types de formalismes que pouvait prendre la qualité. Nos résultats, s'ils ne permettent pas de trancher la question du type de formalisme le plus à même de représenter la qualité sur le temps long, nous permettent néanmoins de rejeter l'hypothèse d'une qualité bornée (guidé par une fonction logistique). Autrement dit, on considérera l'évolution de la qualité comme le résultat d'une longue construction dans la lignée de l'histoire continue de FOUCAULT (2008).

La justification de la qualité des vins *a posteriori*, grâce aux terroirs (c.f. chap. 1) est sans doute une construction intellectuelle partiellement fausse. Elle revient à mettre en place un processus d'auto-justification / auto-validation (WATZLAWICK 1984, p.58). Il faut donc garder à l'esprit que ce quasi-déterminisme de la définition des zones de production de vin de qualité est bien en partie une construction sociale. Dire qu'une

région a toujours produit des vins de qualité grâce à un contexte pédo climatique particulièrement propice, revient à tracer une cible une fois que l'archer a tiré sa flèche. Et à DION (1952, p.431) de nous mettre en garde : « Le spectacle de la création d'un vignoble de qualité en terrain neuf est devenu chez nous, depuis longtemps déjà, chose si rare, que nos contemporains ne se représentent plus ce qu'il faut de labeur et d'ingéniosité, en pareille entreprise, pour contraindre la nature à donner ce que jamais, d'elle-même, elle n'eût offert à l'homme ».

Notre modèle permet donc, grâce au travail de formalisation de la pensée de R. DION, de comprendre l'ordonnancement de principaux des facteurs jouant sur la qualité des vins en essayant de réconcilier la vision des « anciens » et des « modernes ». Les résultats présentés ici mobilisent des interactions locales à petite échelle et montrent que les zones de pentes, plus qualitatives pour la vigne, sont préférées si tant est qu'elles soient accessibles aux agents.

Il ouvre également des voies de réflexions quant à notre conception de l'évolution de la qualité sur le temps long. Si R.DION ne fait aucune mention au terme de terroir en tant que facteur déterminant de la pensée qualitative et des mesures de discrimination spatiale qui en découlent, c'est probablement qu'il n'a pas eux besoin de recourir à une échelle spatiale aussi petite pour comprendre les dynamiques viticoles à l'échelle de la France. Il n'en demeure pas moins que sa pensée a largement structuré la géographie viticole actuelle.

Mais elle fait aussi émerger d'autres questions, sur le plan spatial mais aussi sur le plan d'un formalisme économique. En effet est-ce que l'hétérogénéité spatiale est plus facilement prise en compte à une échelle plus petite ? Est-ce que localement les agents villes/villages peuvent entrer en compétition pour la ressource espace ? Est-ce que le type de formalisme économique qui s'applique sur les productions joue un rôle sur les structures spatiales de production ? Ce sont à ces questions que nous allons tenter de répondre maintenant.

3.2 Le modèle VIcTOr : Paysage computationnel, viticulture virtuelle. Histoire d'émergence spatiale.

Le modèle *VIcTOr*

Échelle spatiale : modèle pensé à mezo échelle (quelques communes)

Agents : sont mobilisés dans ce modèle, une grille de cellules, un réseau de villes / villages, et un marché extérieur au territoire

Question(s) :

- Quelle est l'importance de l'hétérogénéité spatiale et comment les agents arrivent à s'en servir ou la surmonter ?
- Quelle influence peut avoir la compétition entre deux type de production sur la structuration de l'espace ?
- Quelle est la place du marché économique dans la structuration du territoire agricole/vitivinicole et comment affecte-t-il la compétition entre les cultures ?

Nous avons montré dans la partie précédente (c.f. 3.1) toute l'actualité de la pensée de R.DION dans la compréhension des dynamiques spatiales, mais aussi les retombées qu'elle implique sur la conception que nous avons du concept de qualité viticole à grande échelle. Le modèle que nous explorons ici hérite donc des conceptions issues du modèle précédent, on accepte donc ici l'importance du marché comme facteur structurant des territoires à grande échelle. On essayera ici d'interroger l'espace à une échelle plus restreinte en convoquant des structures sociales décrites de manière plus descriptives. Ce travail nous fera prendre en compte un nombre plus important de concepts sur l'ontologie terroir - territoire formalisés dans le chapitre 1 (c.f. fig. 1.4). L'objectif est de souligner la pertinence de l'alignement de notre ontologie, mais aussi d'explorer une palette plus large de facteurs susceptibles d'influencer les dynamiques locales sans pour autant revisiter l'intégralité des mécanismes déjà validés.

Introduction

Les paysages viticoles sont hautement emblématiques de la capacité d'adaptation des sociétés qui les ont construits. Ils sont le reflet pluriel de leur appropriation de l'espace et du temps. À ce titre, ils accèdent à de très hauts niveaux de reconnaissance patrimoniale (aujourd'hui 10 paysages de vignoble sont inscrits au patrimoine mondial de l'UNESCO). Les productions viticoles font l'objet d'une grande fascination et polarisent beaucoup d'attention. D'une part l'attention des consommateurs, car la mise en concurrence sur le marché des producteurs et des régions viticoles tend à favoriser l'usage de leviers marketing pour encourager la consommation d'un produit plutôt qu'un autre, mettant ainsi

en compétition les producteurs, mais aussi les régions. D'autre part, du point de vue des institutions qui sont appelées à protéger ou conserver des paysages et des filières pour maintenir une activité économique sur leurs territoires. Enfin, du point de vue de la recherche où, selon les disciplines, le milieu scientifique va se focaliser sur une partie des innombrables questionnements que soulèvent les systèmes viticoles.

De quelque manière que ce soit, ces interrogations impliquent toujours l'espace et les territoires. Cet espace, qui pour R. BRUNET est « fait de l'ensemble des populations, de leurs œuvres, de leurs relations localisées » (BERQUE 2005 ; BRUNET et DOLLFUS 1990), peut être étudié sous l'angle du *terroir* quand on s'intéresse aux questions viticoles. Le terroir, pour les géographes français, est « avant tout une portion de territoire, un taxon, homogène à tous les points de vue, naturels et socio-économiques » (ROUVELLAC 2005). On retrouve dans cette définition des notions développées par C. BERTRAND et G. BERTRAND (2002) s'intéressant au lien entre géosystème¹³, territoire¹⁴ et paysage¹⁵.

Nous considérerons le paysage comme la structure de la couverture du sol que nous percevons par l'intermédiaire de la simulation. Ce paysage ne doit pas être considéré comme une composante du terroir, mais comme une résultante, car il est l'émergence issue de l'agrégation des interactions sociales et environnementale projeter au sol (AURIAC 2000 ; E. DELAY 2013) et qui forme le territoire. Il est ici le point d'entrée dans la compréhension des mécanismes en jeu dans le système.

L'objet de notre réflexion est d'explorer sur le temps long les conséquences pour le territoire du basculement d'une viticulture de subsistance à une viticulture d'exportation au moyen de simulations informatiques distribuées¹⁶. Pour cela, nous allons soumettre un territoire virtuel à différentes contraintes en vue d'identifier les forces évolutives qui ont des effets sur le maintien, l'extension ou la disparition des formes spatiales que peut prendre la viticulture, quand celle-ci est en concurrence directe avec un autre type d'agriculture.

En travaillant sur un monde virtuel, nous proposons de nous abstraire des spécificités spatiales et des problématiques liées aux particularismes locaux, tout en conservant la notion importante d'espace. En opérant par simplification, et dans une démarche tant constructiviste (ANDERSON *et al.* 1999 ; BOMMEL 2009) que structuraliste (THOM 1989), notre objectif est de petit à petit déterminer et comprendre (THOM 2009) les variables qui

13. Le géosystème que l'on peut identifier sur la figure 3.14 est en prise directe avec les concepts des sciences naturelles. Il recouvre la notion de "landuse" anglo-saxonne, et prend en compte les masses, les volumes, les fonctionnements bio-physicso-chimiques. Il introduit la dimension géographique dans les études environnementales (G. BERTRAND et C. BERTRAND 1995).

14. Le territoire est à prendre ici comme interface entre le géosystème et les activités sociaux-économiques situées. C'est le lieu où se déroulent les actions et la vie des sociétés humaines (GENTELLE 1995).

15. Le paysage est une notion qui permet d'accéder aux questions de représentations des objets localisés. Nous nous intéresserons ici plus particulièrement au paysage comme résultat de formes perçues (BERQUE 1995).

16. au sens d'intelligence artificielle distribuée (FERBER 1995, p.1).

entrent en considération dans la structuration, l’agencement et l’émergence de structures à l’échelle des paysages virtuels que nous simulons. Par la mobilisation de ces concepts nous voulons utiliser le paysage, en temps qu’espace perçu, comme indicateur de territorialisation ou reterritorialisation du terroir.

Ce travail a pris la forme d’une co-construction de modélisation entre Samuel Leturcq (LAT¹⁷), Xavier Rodier (LAT) et moi même. Il a été l’occasion de confronter les différentes réalités qui sous-tendent les territoires viticoles dans des contextes de recherche différents et à des échelles de temps très contrastées. Ce travail est la première étape dans un processus de réflexion plus large sur la viticulture et la construction de la qualité. Par ailleurs il a servi de « validation de principe¹⁸ » au projet VITITERROIR¹⁹.

3.2.1 Contexte de la modélisation

L’implication de l’espace en interaction avec la société dans le contexte d’une production viticole s’inscrit dans une représentation partagée dans les différentes disciplines qui s’intéressent à la vigne et au vin. Elle considère la vigne comme une culture peuplante (HANNIN, BRUGIÈRE *et al.* 2010). En ce qu’elle nécessite une main d’œuvre abondante pour certaine tâches, ce qui la rend difficilement délocalisable et ce d’autant plus qu’elle bénéficie de reconnaissance de qualité territorialisé (AOC, IGP, DOC, etc.).

Pourtant la viticulture a évolué sur le temps long : colonisant certaines terres quand les conditions économiques lui étaient favorables ou les délaissant en temps de crise²⁰. En s’inspirant des travaux de DION (1952), nous avons pu montrer que le contexte économique et commercial jouait un rôle dans l’émergence de vignoble et dans la structuration sociale de la qualité (E. DELAY, CHEVALLIER *et al.* 2014 ; E. DELAY et CHEVALLIER 2015).

Mais d’après AURIAC (2000, p.9) dans une approche systémique du vignoble « le problème le plus délicat pourrait provenir de l’interférence de plusieurs sous-systèmes collatéraux intégrant le même espace selon plusieurs types de cultures ou de spéculations agricoles ». C’est à ce questionnement que nous nous sommes intéressés en considérant le vignoble-système et en le confrontant à une agriculture vivrière de type céréalière. Ces deux systèmes, guidés par les communautés villageoises, entrent en compétition spatiale et économique en fonction des conditions micros et macros du système.

17. Laboratoire Archéologie et Territoires de l’UMR CITERES à Tours.

18. *Proof of concept* pour les anglais.

19. Le projet VITITERROIR a pour ambition de poser les bases d’une analyse dynamique des vignobles en région Centre dans le temps long. Il a débuté en 2014, piloté par S. LETURCQ et A. LAMMOGLIA, et propose une approche pluridisciplinaire à laquelle GEOLAB est partie prenante.

20. Ces expansions et contractions du vignoble ont donné lieu à la définition par KUHNHOLTZ-LORDAT (1960) des noyaux d’élite qui s’expriment comme un amenuisement centrifuge de la qualité.

3.2.2 Matériels et Méthodes : ODD

Pour explorer les dynamiques paysagères et la construction territoriale, nous avons développé sur NetLogo (WILENSKY 1999) un modèle multi-agents intitulé VICTOR (VIculture Consommation TOuRaine) qui modélise un espace abstrait à l'échelle communale. Il est construit dans une démarche constructiviste. Nous proposons ici une description du modèle suivant le formalisme du protocole ODD (GRIMM, U. BERGER, BASTIANSEN *et al.* 2006 ; GRIMM, U. BERGER, DEANGELIS *et al.* 2010 ; RAILSBACK et GRIMM 2011).

3.2.2.1 Développement du modèle

objectifs

L'objectif du modèle VICTORv2.0.X est d'explorer les dynamiques paysagères liées à la compétition entre la viticulture et une autre forme d'agriculture.

En postulant après HINNEWINKEL (2004) que le terroir viticole de qualité est constitué d'un triptyque "rente – organisation – terroir", nous proposons d'envisager différents paramètres (sociaux, économiques ou spatiaux) qui influencent la stabilité du territoire et donc la potentielle émergence de "production de qualité"²¹. Dans ce travail, la notion de qualité ne sera pas véritablement abordée (la qualité étant une notion complexe nécessitant une analyse de l'évolution culturelle, ce qui nous éloignerait de notre propos), mais elle reste sous-jacente dans le discours, comme une représentation sur laquelle nous extrapolerons dans la partie Discussion.

Nous voulons ainsi isoler des trajectoires territoriales et paysagères pour entrevoir certaines facettes de la construction du terroir et des comportements génériques qui les engendrent.

Entités, variables, et échelle

Les entités : En nous intéressant aux dynamiques spatiales sur le temps long, nous avons construit le modèle autour d'agents habités (villages, hameaux), appelés "localités". Les communautés villageoises sont donc considérées dans leur ensemble. C'est la localité qui va opérer les choix individuels. Cette simplification nous permet de faciliter les interactions d'un point de vue simulatoire, tout en conservant un réalisme spatial.

Nous avons défini une hiérarchie initiale entre les localités. Nous opérons donc une différenciation entre le village principal et les hameaux, lesquels sont considérés comme une entité satellite. C'est la population initiale définie lors de l'initialisation qui distingue ces deux types d'entités. Chaque agent va donc être constitué d'habitants qui cultivent la terre. Les orientations de culture sont prises par l'agent chaque année, ce qui conduit à des

21. En considérant grâce aux résultats du modèle *Dion still alive* que la qualité est une fonction du temps.

restructurations du paysage agraire en fonction des opportunités du marché, mais aussi des contraintes environnementales et spatiales. Les localités ont les mêmes comportements, elles tentent d'optimiser les cultures de leurs aires d'influence en fonction de la demande locale et des prix du marché global. Les variations tireront leurs origines de l'hétérogénéité entre les agents et des opportunités qu'ils auront saisies.

Les variables d'état des entités : Les villages et les hameaux (c.f. fig. 3.13) sont décrits par leurs identifiants uniques, leurs populations, le nombre d'actifs, la demande locale en céréales et en vin, la quantité de céréales et de vin importée, le nombre de parcelles de chaque culture cultivée pour l'exportation et le capital. Ils ont également connaissance des parcelles qui dépendent d'eux.

Les parcelles, quant à elles, sont définies par leur rendement, leur altitude, leur sol, leur propriétaire et leur type de culture. Le monde simulé est donc constitué d'une hétérogénéité spatiale (c.f. fig. 3.14) composée de zones de pente (l'orographie sur la figure 3.13) et de zones pauvres (d'un point de vue agronomique, les « mauvaises terres » sur la figure 3.13).

L'échelle temporelle : Puisque nous nous intéressons aux dynamiques paysagères liées à une activité économique de nature agricole basée sur le cycle végétatif d'une plante, nous avons donc opté pour un pas de temps annuel. Il permet d'observer les mises en culture et les abandons de zones agricoles. De cette manière, nous pouvons synthétiser les itinéraires de culture de l'année sous forme de bénéfices/déficits pour les agents.

L'échelle spatiale : Nous nous situons pour ce travail dans un espace abstrait constitué d'une grille de 70 x 70 patches (unité spatiale de NetLogo), présentée en figure 3.13. De manière conceptuelle, ces patches représenteront des parcelles qui seront utilisées pour produire les ressources dont les localités ont besoin. Ainsi, nous considérons les "parcelles" comme des entités spatiales "primordiales" et indivisibles, elles-mêmes constitutives d'unités paysagères lorsque l'on opère un changement d'échelle.

Pour travailler dans un espace cohérent à l'échelle communale, un patch de l'espace simulé équivaut à 1 hectare, ce qui veut dire que l'espace représente 50km².

Processus et Ordonnancement

Le modèle VICTOR est construit pour mettre en évidence les structurations spatiales et les dynamiques paysagères issues des interactions et des compétitions en action sur un territoire. C'est un modèle parcimonieux, dans lequel nous avons opté pour une approche KISS²² mettant en évidence les interactions et les compétitions spatiales en place sur un

22. *Keep It Simply and Stupid* c.f. R. M. AXELROD (1997)

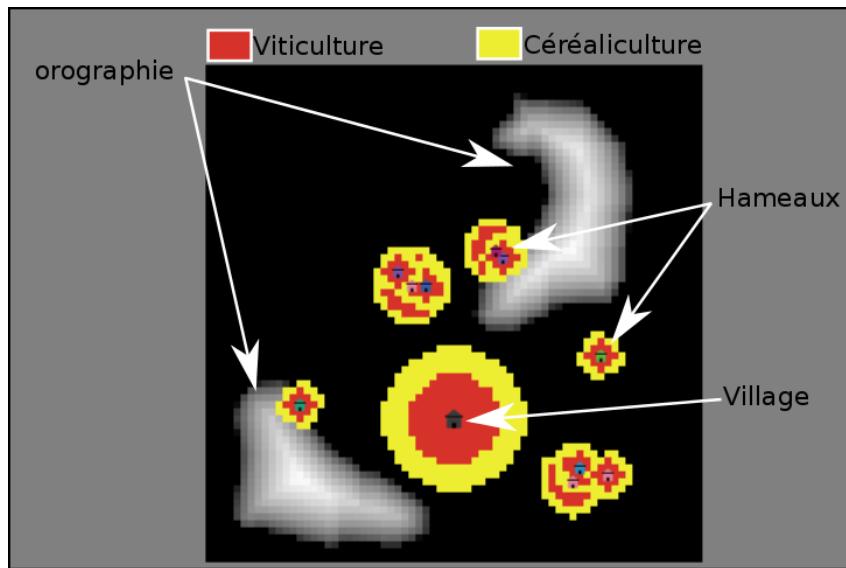


FIGURE 3.13 – Configuration de l'espace de simulation, pour une simulation donnée.

territoire. Le modèle est divisé en quatre sous-modèles que nous détaillerons plus longuement dans la partie 3.2.2.3.

Le modèle est divisé en 4 sous-modèles (numérotés dans la figure 3.14) que nous détaillerons plus longuement dans la partie 3.2.2.3. Ceux-ci s'enchaînent de la manière suivante :

- sous-modèles d'extension/rétracuation des parcelles pour chaque localité (n° 1 sur la figure 3.14) ;
- sous-modèle de mise à jour du capital des villages et hameaux (n° 2) ;
- sous-modèle d'évolution de la population des villages et hameaux (n° 3) ;
- sous-modèle de mise à jour du prix d'achat et de vente des productions de manière généralisée à tout le système(n° 4) ;
- sous-modèle de mise à jour de l'historique des parcelles (n° 5).

3.2.2.2 Concepts d'élaboration

Contexte scientifique

Nous avons vu avec le modèle *Dion still alive* (c.f. 3.1, p. 130) comment pouvait être envisagé l'ordonnancement des processus qui entrent en jeu dans la définition de la qualité du vin. Avec le changement d'échelle que nous effectuons ici, nous voulons explorer les conditions qui permettent à un territoire de conserver de la viticulture sur le temps long. Ce monde est construit du point de vue de la culture des céréales, considérée à la fois comme : une culture de subsistance (dont les populations locales ont besoin pour vivre)²³, mais également comme un produit d'échange dans une économie connectée.

23. On notera dans la France entière des tentatives « législatives » visant à essayer de maintenir la

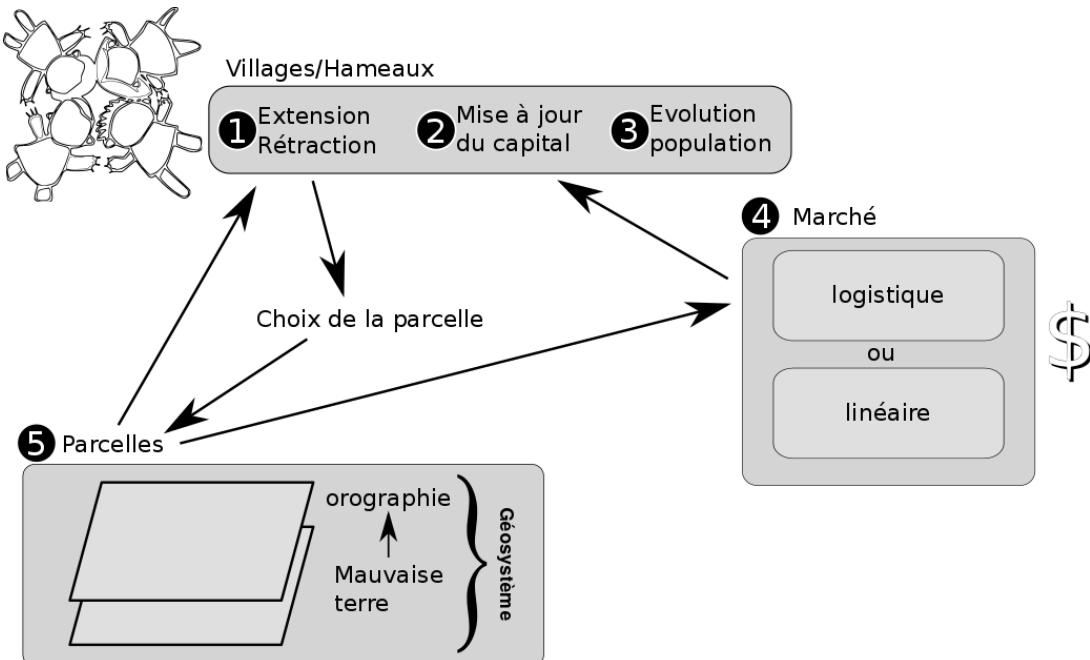


FIGURE 3.14 – Schéma de l'ordonnancement des processus en jeu lors d'une itération de la simulation

Aussi intégrerons-nous ici, selon les simulations, deux types de variables spatiales (implémentées à l'échelle de la parcelle) qui permettront aux agents localités de calculer un indice de rendement : les montagnes (sous forme d'un gradient) et la mauvaise terre (présence/absence). Ces deux valeurs seront utilisées par ces derniers dans leur recherche de nouvelles parcelles. La combinaison de ces valeurs permet d'identifier des agro terroirs (terroirs physiques) relativement simples (HINNEWINKEL et VELASCO-GRACIET 2007).

Nous nous attachons ici à l'exploration d'un monde virtuel répondant à la complexification des hypothèses proposées par von Thünen (MOINDROT 1995 ; THÜNEN 1966) :

- l'inégale fertilité du sol dans le monde virtuel a une influence sur la structuration et les stratégies d'implantation des différentes cultures ;
- la multiplicité des marchés urbains : chaque village est à la fois producteur et consommateur. Il suscite donc, autour de lui, une imbrication d'aires de culture influencées par la qualité des sols, la présence de ses voisins et les chocs de demandes de la part des consommateurs locaux ou étrangers (s'il existe une demande extérieure) ;
- la tension de *l'infief/outfield* : les villages (nos agents) sont tentés d'abandonner en premier lieu des parcelles les plus éloignées du centre.

viticulture hors des zones de production de céréales (MAILLARD 1992 ; MESSIEZ 2002), et cela contre les lois économiques.

Processus de décisions

Les villages sont capables de réorienter leur politique agricole pour essayer d'éviter une situation difficile (banqueroute) en cas de dévaluation d'une culture. La main d'œuvre inoccupée est envoyée sur de nouvelles parcelles. Certaines parcelles de culture moins avantageuses peuvent être abandonnées au profit de la plus bénéfique sur le moment(c.f. partie sous modèles)

Réflexe aux conditions extérieures

Un certain nombre de paramètres vont influencer la mise en culture par les agents. En effet ceux-ci devront répondre aux besoins de leur population tout en essayant de maximiser leurs revenus sur les marchés. En cas d'indisponibilité des terres²⁴ à répondre à une demande extérieure plus valorisante ou mieux valorisée, les parcelles peuvent subir une réaffectation de leur production, ce qui aura bien sûr des conséquences sur la structure des paysages.

En cas de manque de main-d'œuvre, les parcelles les plus éloignées sont abandonnées en premier. Suivant leur configuration spatiale et celle de leur environnement, les localités ne vont pas aborder les variations de rémunération des cultures avec la même facilité. Vont donc émerger des zones de stabilité et des zones de transition amenées à changer plus souvent de couvert végétal au gré des fluctuations du marché. Inversement, en cas de changement de la demande (maintien d'un prix plus élevé pour l'une des cultures pendant plusieurs itérations), certaines zones sont plus résistantes au changement et vont conserver de la vigne ou des céréales plus longtemps.

Interaction

Les agents villages et hameaux interagissent avec la grille des parcelles, ce qui limite le type d'interaction qu'ils mobilisent entre eux à des relations de compétition pour l'espace.

Hétérogénéité

Nous avons introduit de l'hétérogénéité entre les agents villages et hameaux au niveau de leur positionnement spatial à l'initialisation du modèle, mais aussi au niveau de la population initiale qu'ils abritent. L'espace est également hétérogène. Les *patches* peuvent être initialisés avec un sol agronomiquement pauvre ou être situés dans une zone de pente.

Stochastique

Nous avons dû tester la stochasticité du modèle et déterminer le nombre de simulations dont nous avons besoin pour stabiliser suffisamment nos résultats. Il s'agit ici de faire un compromis entre un grand nombre de réplications de chaque paramétrage et le temps de

24. Par exemple à cause d'une saturation de l'espace, ou d'une trop grande distance au centre bourg.

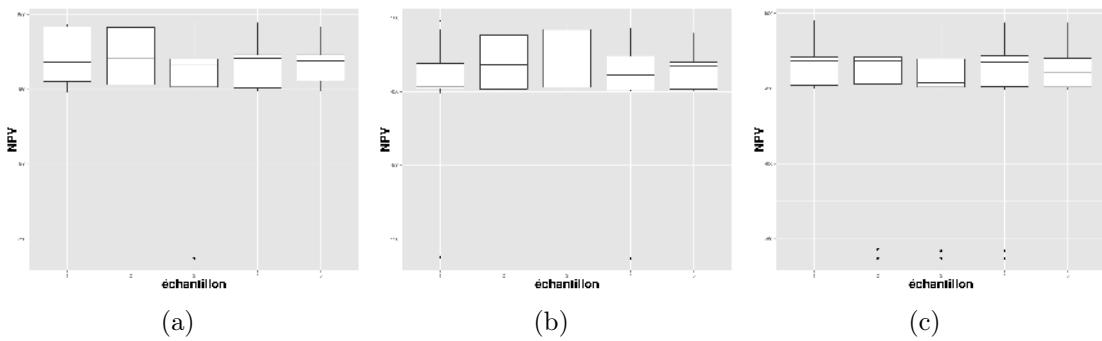


FIGURE 3.15 – Tirage aléatoire de 10 (a), 20 (b) et 30 (c) simulations par groupe, réparties en 5 groupes (NPV : Nombre de Parcelles Viticoles).

calculs que nécessite une simulation. Pour cela, nous avons effectué 3000 simulations d'un même jeu de paramétrage. Par une procédure de tirage aléatoire des résultats de simulations, nous avons constitué cinq groupes de différentes tailles : respectivement 10 (fig. 3.15(a)), 20 (fig. 3.15(b)) et 30 simulations (fig. 3.15(c)). On observe, sur la figure 3.15(c), une stabilisation de la variance intergroupe pour des populations de 30 simulations. Nous utiliserons donc ce nombre de réplications pour l'analyse des résultats.

Observations

Tout en s'adaptant à son environnement, chaque village va essayer de maximiser ses rentes en tenant compte de son environnement social et spatial. Nous allons nous intéresser à différentes valeurs de sortie : le nombre de parcelles de chaque culture, le nombre de villages au cours du temps, la localisation des parcelles en fonction de leur position sur un type de sol approprié. Pour cette dernière sortie, les parcelles de céréales sont installées sur des terres plus riches que les parcelles en vigne. On comparera donc la richesse de la terre avec les besoins de la plante. Nous reviendrons sur le mécanisme de choix dans la partie sur les sous-modèles.

Nous avons effectué plusieurs analyses de sensibilité sur notre système pour explorer les comportements liés à :

- l'effet de l'isotropie et anisotropie, et de la position initiale dans l'espace ;
- l'effet du nombre d'agents villages/hameaux sur le comportement du système ;
- l'effet d'une macroéconomie basée sur une fonction linéaire et logistique.

Chaque paramétrisation a été testée 30 fois sur 300 itérations. En sortie de modèle, nous nous sommes intéressés à la surface en céréales et en vigne, à l'utilisation du sol en fonction de la culture et au nombre de villages qui perdurent dans le temps. L'ensemble des données issues des 510 simulations (c.f. tab. 3.1) a été traité avec le logiciel R (TEAM 2014). Les résultats présentés ici sont les moyennes des 30 simulations de chaque paramétrage. Nous observons :

Paramètres	Valeurs	nombre de simulations
Type d'espaces	iso - anisotrope	60
Nombre de hameaux	0 à 10 par 2	150
Évolution logistique	-0.005 à 0 par 0.001	150
Évolution périodique	0 à 10 par 2	150
Total		510

Tableau 3.1 – Les différents plans d’expériences effectuées avec VIcTOR

- l’évolution du nombre de localités ;
- le nombre de parcelles viticoles et céréalières ;
- le pourcentage de parcelles viticoles et céréalières implantées sur des parcelles appropriées à cette culture ;
- le pourcentage d’espace disponible pour la vigne ou les céréales dans les zones adaptées.

Ces différentes variables sont explorées au regard des différents paramètres d’entrée de la modélisation.

3.2.2.3 Détails

Initialisation

Le monde est initialisé avec un nombre de villages / hameaux variant de 1 à 11. L’une de ces localités joue le rôle de village central ; c’est-à-dire qu’elle est initialisée avec une population de 400 personnes tandis que les hameaux le sont avec 40 personnes. Les hameaux sont distribués aléatoirement, à une distance comprise entre 18 et 25 parcelles du village central. Le village central est initialisé au même endroit, quels que soient les scenarii. Chaque village (village central et hameaux) se voit doter d’un nombre suffisant de parcelles pour répondre à la demande locale en vin et céréales. La répartition de ces parcelles se fait de manière concentrique et emboîtée pour répondre au présupposé de la théorie de Von Thünen von Thünen (THÜNEN 1966).

Variables de forçage

Il n’y a pas d’entrée externe au système une fois les simulations lancées.

Sous-modèles

EXTENSION/RÉTRACTION DES PARCELLES :

L’extension et la rétractation des cultures répondent à un enchaînement de mécanismes de décision de la part de l’agent localité. La première s’appuie sur une double condition : si le capital de l’agent dépasse 10000 et si le dixième de son capital lui permet de couvrir ses

frais de subsistance, alors il peut mettre en place une rente commerciale (HINNEWINKEL 2004). Si ces conditions ne sont pas remplies, il va consommer sa propre production (autoconsommation) . Ces deux processus prennent la forme de deux sous-modèles :

L'autoconsommation : Chaque localité compte la main-d'œuvre qui n'est pas déjà assignée à une culture. Dans le cas où la main-d'œuvre est disponible et que la demande locale en céréales n'est pas assouvie, le village va utiliser la moitié de la main-d'œuvre pour cultiver des céréales. S'il reste encore de la main-d'œuvre après cette opération, elle sera envoyée sur des parcelles de vigne en suivant le même procédé. Au contraire, quand le nombre de personnes vacantes est égal à zéro, il s'opère alors une démobilisation de $\frac{1}{3}$ de la main-d'œuvre précédemment attribuée à la culture de la vigne pour la destiner à la culture de céréales. Ainsi, faisons-nous diminuer les surfaces viticoles, toutefois les parcelles céréalier pourront être replantées en vigne lors d'une prochaine itération si les besoins locaux ou le marché sont favorables. De cette manière, nous voulons entraîner un retard dans le changement de vocation agricole des parcelles et introduire une certaine résilience du système.

Le commerce : Une fois entré dans le processus commercial, si le prix d'achat/vente du vin est plus élevé que celui du blé et dans la mesure où la main-d'œuvre disponible est supérieure à 2, l'agent va mettre en culture autant de parcelles que peut cultiver la moitié de sa main-d'œuvre disponible. Au contraire dans le cas où le prix d'achat/vente des céréales est supérieur au prix du vin, et que le capital est inférieur à l'équivalent parcelles pour nourrir la population locale, on réattribue $\frac{1}{3}$ des surfaces céréalier supplémentaires à la culture de la vigne. Lorsque le capital couvre les besoins d'approvisionnement à l'extérieur, on abandonne 10% des parcelles de subsistance dont la production sera achetée à l'extérieur. Par ailleurs, dans le cas où le prix du blé est supérieur ou égal au prix du vin et si la main-d'œuvre disponible est supérieure à 2, alors on utilisera $\frac{1}{2}$ de cette main-d'œuvre pour cultiver des céréales. Sinon avec un capital inférieur au prix de l'importation de blé pour la subsistance, on abandonnera des parcelles de céréales destinées à l'exportation pour les réorienter vers la viticulture. Avec un capital supérieur au besoin de l'agent pour maintenir sa population, ce dernier va pouvoir abandonner 10% des parcelles de vigne pour y planter des céréales.

Sont également compris dans ce sous-modèle, les sous-modèles de choix/abandon d'une nouvelle parcelle de vin et de céréales. Lors de l'extension du territoire, on sélectionne les parcelles dans un rayon de 3 parcelles de celles déjà cultivées en vigne et l'on regarde si elles sont inoccupées ou cultivées en céréales par l'agent lui-même. Puis, on recherche celle dont l'indice de rendement est le plus proche de 60 (valeur de rendement arbitrairement établie en fonction des valeurs de l'environnement). Cette parcelle est alors ajoutée à

la collection de parcelles de l'agent. Si elle faisait partie de la collection de parcelles en céréales, elle en est alors extraite. Concernant l'extension des parcelles de céréales, nous avons introduit une condition par rapport au mécanisme d'extension viticole afin d'alléger le temps de calcul.

En effet, dans le cas de parcelles non encore occupées, on sélectionne celles se situant dans un rayon de 2 parcelles céréalier, puis celles dont l'indice de rendement est le plus proche de 95. S'il n'y a pas de parcelles disponibles dans un rayon de 2, l'agent localité en sélectionne une inoccupée dont le rendement est le plus proche de 95. Cette sélection s'effectue de manière aléatoire et à l'échelle du monde virtuel. Cette parcelle intègre alors la collection des parcelles céréalier de la localité.

Le mécanisme de rétraction est quasiment similaire pour les céréales et la vigne. Dans le premier cas, on abandonne la parcelle qui est la plus éloignée et dont l'indice de rendement est le plus bas. Dans le second cas, on abandonne celle qui est la plus éloignée, mais avec l'indice de rendement le plus haut. Ainsi privilégiera-t-on les terres riches (indice de rendement élevé) pour y planter du blé, et les terres pauvres pour y planter de la vigne, sans pour autant se limiter à ces conditions.

MISE À JOUR DU CAPITAL DU VILLAGE :

La mise à jour du capital de chaque agent est la somme des exportations en céréales et/ou en vin, et la soustraction des importations nécessaires pour la population locale en céréales ou en vin. Les prix d'achat et de vente d'une denrée sont les mêmes pendant chaque itération, mais variables entre les itérations. Leur variation va dépendre du sous-modèle de mise à jour des prix d'achat et de vente des productions (que nous développerons après). Les prix sont calculés en fin de procédure pour l'itération suivante.

ÉVOLUTION DE LA POPULATION

La population de chaque village s'accroît et décroît en suivant la fonction logistique définie par l'équation 3.3, dans laquelle la valeur à un instant t dépend de l'état précédent. Si la demande locale est inférieure à la somme de la production de l'agent et de ses importations ($dl < prod + imp$), la population augmente. En revanche, si la demande locale ne peut pas être assouvie et que le capital n'est pas suffisant pour importer la nourriture manquante ($dl > prod + imp$) alors a devient négatif.

$$n_{t+1} = \begin{cases} n_t + a \times n_t \times \frac{1-n_t}{n_{max}} & \text{si } dl < prod + imp \\ n_t - a \times n_t \times \frac{1-n_t}{n_{max}} & \text{si } dl > prod + imp \end{cases} \quad (3.3)$$

où :

-
- n_{t+1} est la population à $t + 1$;
 - n_t est la taille de la population à l'instant t ;
 - n_{max} est la taille maximum de la population. Dans notre cas, nous avons choisi 1 000 ;
 - a est le coefficient logistique de la courbe.

MISE À JOUR DU PRIX D'ACHAT ET DE VENTE DES PRODUCTIONS :

Nous avons travaillé sur 2 types de comportements macroéconomiques en vue d'en explorer les conséquences sur chacun des mondes virtuels. Comme nous l'avons déjà évoqué, le prix d'achat et de vente est le même pour chacune des denrées produites.

Le modèle logistique :

Il établit un lien direct entre le prix de vente du produit et le nombre de parcelles qui a été mis en production à un instant t , comme représenté sur la figure 3.2.2.3. La fonction calculant le prix de vente au prochain tour compare le nombre actuel de parcelles avec le nombre de parcelles au tour précédent. L'équation permettant de calculer l'évolution du prix à chaque itération est la suivante :

$$p_{t+1} = \begin{cases} p_t + \sum_{i=0}^n -b \times p_{ti} \times \frac{1-p_{ti}}{p_{max}} & \text{si } n < 0 \\ p_t + \sum_{i=0}^n +b \times p_{ti} \times \frac{1-p_{ti}}{p_{max}} & \text{si } n > 0 \end{cases} \quad (3.4)$$

où :

- n est le nombre de parcelles gagné ou perdu pour une production ;
- p_{t+1} est le prix de la production à l'instant $t + 1$;
- p_t est le prix de la production à l'instant t ;
- p_{max} est le prix maximum. Dans notre cas, nous avons choisi 100 ;
- et b est le coefficient logistique de la courbe.

Si le nombre de parcelles à l'instant t est supérieur à celui à l'instant $t-1$, alors le coefficient b est négatif et le prix va donc diminuer. Si par contre le nombre de parcelles à l'instant t est inférieur à $t-1$, le coefficient b va alors être positif, le prix va augmenter, créant un choc de demande par le prix sur les autres marchés.

Le modèle linéaire :

Il propose aux agents un prix qui varie de manière inversement proportionnelle à la production du territoire. Nous l'avons implémenté de la manière en utilisant l'équation 3.5

$$p_t = \frac{pr_{max} - pr_t \times 100}{pr_{max}} \quad (3.5)$$

où :

- p_t est le prix de la production à un instant t ;

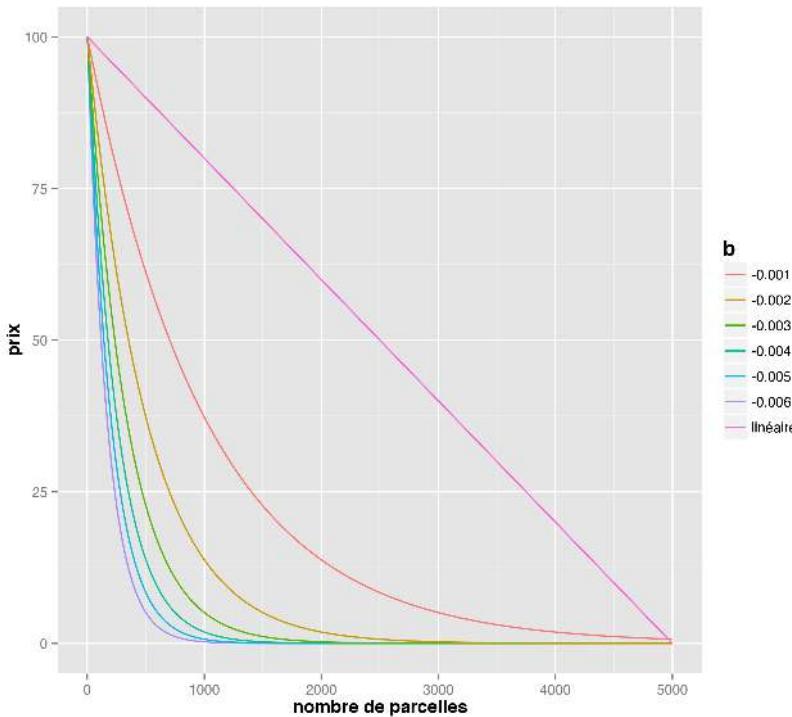


FIGURE 3.16 – Les dynamiques économiques implémentées dans le modèle VIcTOr. Sur le graphe, les 6 premières courbes ont une dynamique logistique. Le prix payé pour la production viticole ou pour la production céréalicole est lié à la production dans le modèle (c.f. équ 3.4). Pour la dernière courbe légendée « linéaire, » le prix payé pour chaque production est linéaire (c.f. équ 3.5)

- pr_t la production à un instant t ;
- pr_{max} la production maximum (le nombre d'unités spatiales total).

3.2.3 Résultats

3.2.3.1 Exploration de l'hétérogénéité spatiale

Nous avons exploré le comportement du modèle dans un monde isotrope, et dans quatre configurations spatiales différentes d'un même monde anisotrope avec une situation commerciale linéaire (c.f. part 3.2.2.3 et équ. 3.5). Sur la figure 3.17, nous observons qu'en se plaçant dans une configuration avec 11 agents "localités" à l'initialisation, le comportement général du système est relativement similaire et suit le même motif : les villages se maintiennent jusqu'à 100 itérations, puis s'ensuit une décroissance exponentielle en 150 ans, pour finalement se stabiliser entre 4.5 et 5.5 localités encore présentes après 250 itérations.

Considérant ensuite les mêmes conditions, mais cette fois en s'intéressant à la couverture du sol, la figure 3.18 apporte d'autres informations. En effet, si le comportement est rela-

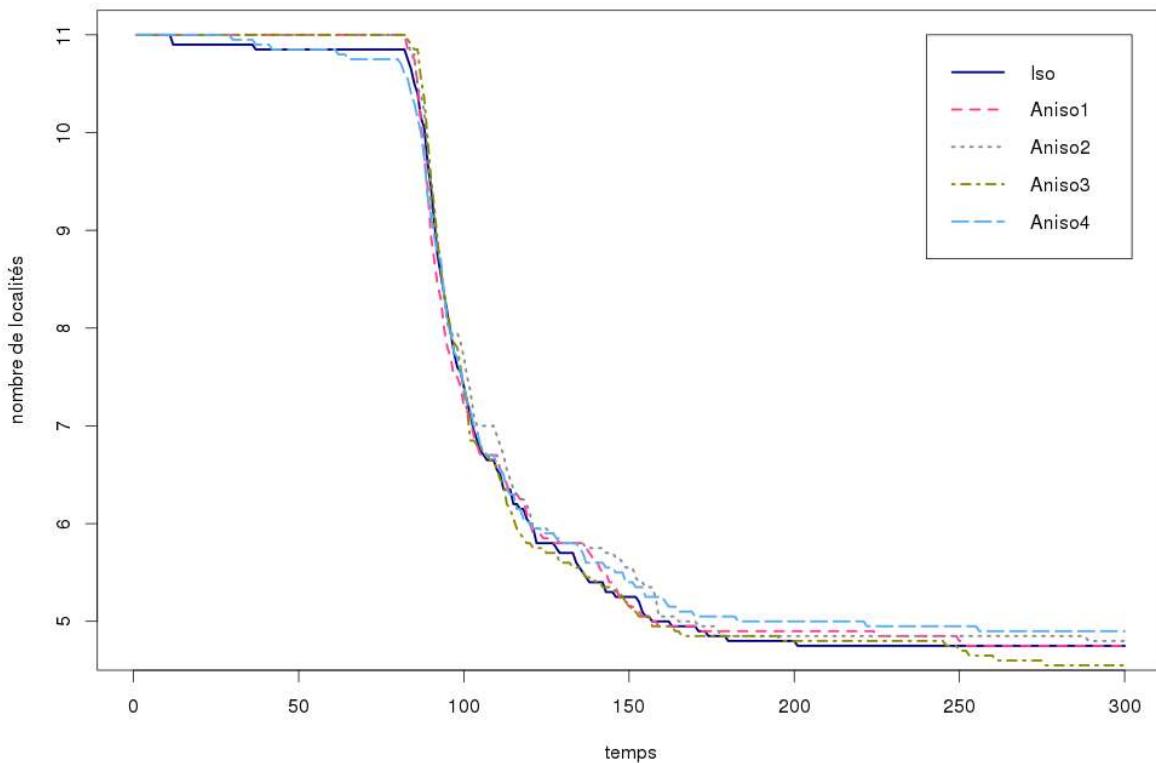


FIGURE 3.17 – Exploration de l'effet de la configuration spatiale initiale sur la conservation du nombre de villages

tivement semblable quand on s'intéresse au développement du couvert viticole (graphique "a") avec, pour le mode isotropique, un nombre de parcelles viticoles proche de la moyenne au bout de 300 itérations, il diffère en ce qui concerne le nombre de parcelles cultivées en céréales (graphique "b"). Après 150 itérations, on remarque effectivement une nette démarcation du nombre de parcelles dans les simulations réalisées sur l'espace isotropique.

3.2.3.2 Exploration de la variation du nombre d'agents

Nous nous intéressons ensuite aux effets de la variation du nombre d'agents villages / hameaux. On stabilise donc les autres paramètres : comportement macroéconomique linéaire et structuration spatiale anisotropique. Sur la courbe 11 (pointillés violets) de la figure 3.19, on retrouve le motif déjà observé dans la figure 3.17. On est également capable d'observer le même motif pour des situations de simulation comprenant de 6 à 11 localités. Ces 6 situations de simulation aboutissent toutes à une disparition relativement brusque d'une partie des agents "localités", avec une stabilisation à 5. Le motif représenté

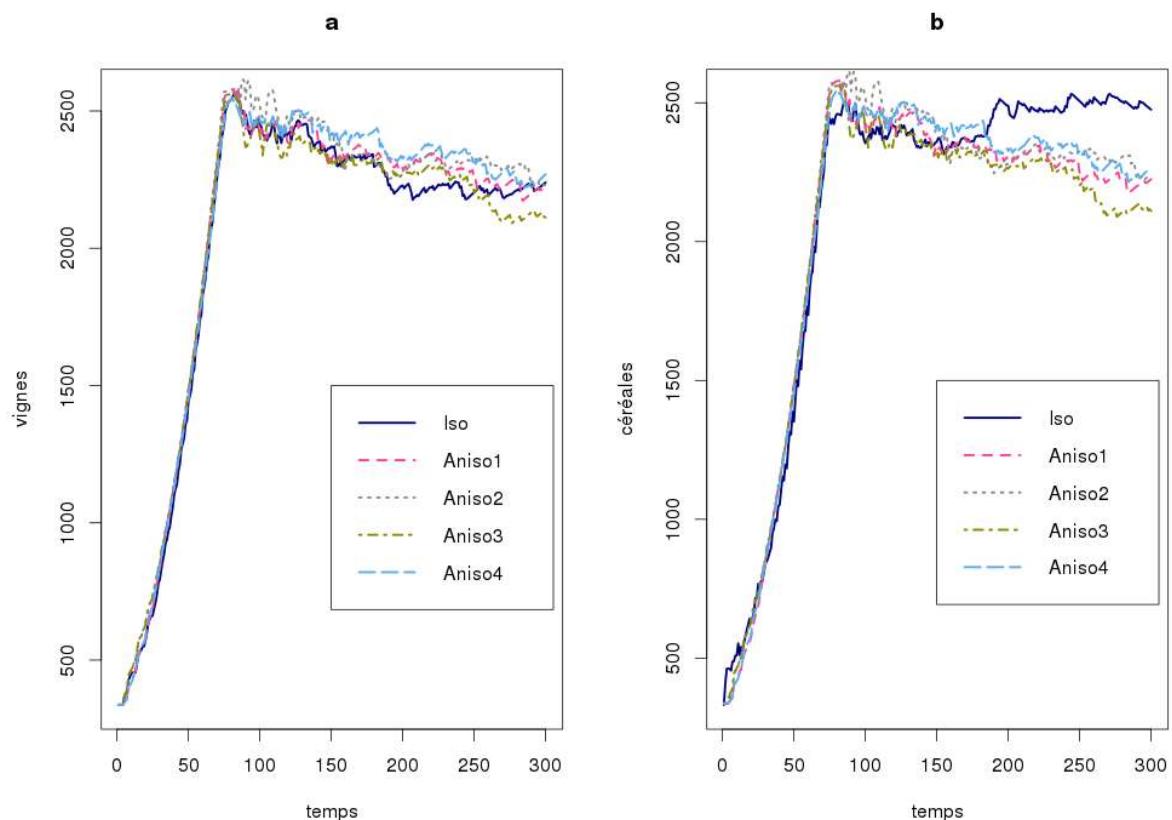


FIGURE 3.18 – Exploration de l'effet de la configuration spatiale initiale sur les surfaces cultivées. En "a", on observe les surfaces viticoles, et en "b" les surfaces en céréales

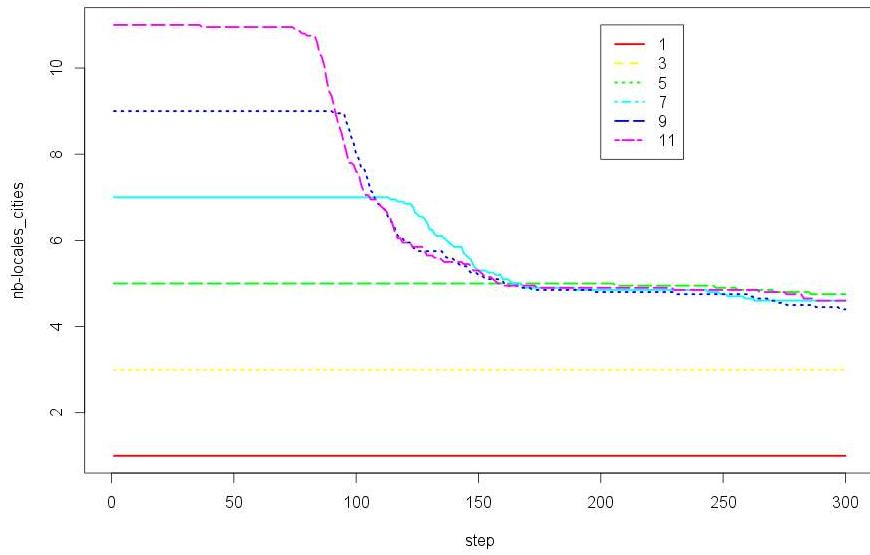


FIGURE 3.19 – Exploration du comportement des localités et de leur réorganisation en fonction de la saturation de l'espace.

est très proche de celui que nous avons déjà remarqué sur la figure 3.17, quand le monde est initialisé avec 5 à 11 agents "village". Le modèle converge vers une sorte d'équilibre dynamique.

Considérons maintenant plus spécifiquement la figure 3.20 qui représente l'utilisation de l'espace en fonction des prédispositions que l'on peut observer localement (évoquées en 3.2.2.2), on constate toujours cette différence de comportement du système initialisé avec trois et cinq agents « localités ». Dans le premier cas, et pour tous les paramétrages inférieurs, l'espace nécessaire à la viticulture n'est jamais saturé (pointillés jaunes de la figure 3.20). De plus, nous ne constatons pas de baisse aussi marquée dans les cas suivants, ce qui nous informe d'une occupation rationnelle de l'espace. La vigne est installée sur des terres plus pauvres, lesquelles sont en nombre suffisant pour, malgré tout, répondre au comportement du marché linéaire.

Pour les paramétrisations initialisées de 5 à 11 agents "localités", l'espace de "b" est très vite saturé. Il n'y a donc plus d'espace disponible sur les terres pauvres pour implanter de la vigne. Commence alors une compétition spatiale entre ces deux cultures. La compétition pour les terres les plus riches engendre la décroissance des surfaces plantées observable sur les courbes pleines (courbes "a").

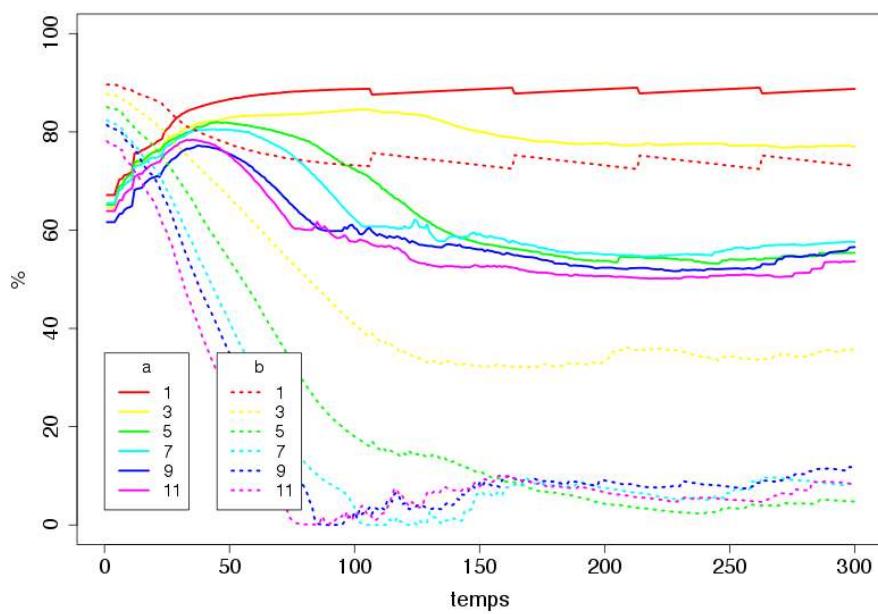


FIGURE 3.20 – Exploration de l'utilisation de l'espace pour la culture de la vigne, en fonction du nombre d'agents "localités" initialisé dans un système économique linéaire. Les courbes pleines (notées "a") reprennent le pourcentage de parcelles viticoles implantées sur des terres mieux disposées à produire de la vigne. Les courbes en pointillé (notées "b") représentent la proportion d'espace disponible sur ces terres.

3.2.3.3 Exploration de l'influence des marchés

Les figures 3.17, 3.18, 3.19 et 3.20 ont été réalisées avec un paramétrage macroéconomique linéaire (c.f.sous modèles) permettant de ne pas soumettre le système à une contrainte rendant l'interprétation trop complexe. Toutefois, nous l'avons également soumis à un autre type de variations macro-économiques (décrisées également dans les sous-modèles) qui confrontent le modèle à un environnement où intervient un marché guidé par une fonction logistique (c.f equ 3.4). C'est l'influence de ce dernier que nous allons explorer ici, en le comparant au comportement du même système face au marché linéaire.

En rapprochant les figures 3.18 et 3.22 (pour un monde initialisé avec 11 agents), on constate que les comportements sont assez différents du marché linéaire. Le maximum de parcelles cultivées atteint en vigne (graphique "a", fig. 3.22) et en céréales (graphique "b", fig. 3.22), sous conditions de marché logistique, est majoritairement plus élevé qu'en marché linéaire (figure 3.17), même si on constate une décroissance plus forte dans la suite de simulation. Le modèle logistique est moins propice à une stabilité des productions à leur maximum. En effet, pour les parcelles viticoles, une fois ce maximum atteint, une décroissance apparaît plus ou moins rapidement selon l'intensité du coefficient b utilisé. Ce qui conduit le système vers un nombre de parcelles viticoles généralement inférieur à celui en situation de marché linéaire. Mais paradoxalement, plus ce coefficient b est faible (tend vers -1) plus le système viticole à tendance à se rapprocher de la stabilité du marché linéaire, mais dans des valeurs supérieures.

Pour les céréales, on peut constater que, pour des valeurs de b comprises entre -0.001 et -0.003 (donc dans le cas d'un système relativement résilient), les surfaces ont tendance à diminuer tandis que, pour des valeurs de -0.004 et -0.005, la propension à se maintenir est plutôt meilleure. Grâce à la figure 3.21 nous pouvons identifier trois phases d'utilisation du sol par la vigne. La première, en début de simulation, durant laquelle les agents colonisent les terres à proximité. Leur préférence va aux parcelles les plus adaptées à la vigne, ce qui se traduit par une croissance des courbes pleines. Puis, dans un second temps, nous entrons dans une phase de disparition de certains agents n'ayant pas réussi à s'adapter à la concurrence ; les courbes pleines sont alors décroissantes. Le ratio, parcelles viticoles implantées sur des terres viticoles et parcelles viticoles implantées sur des terres plus propices aux céréales est donc déséquilibré. On constate une libération des terres adaptées à la viticulture (courbe en pointillé). Cela se traduit sur le paysage global par le maintien ou la survie de la viticulture face à la céréale, mais cela se fait au détriment des zones adaptées. On est alors dans un système où, localement, les céréales et la viticulture entrent beaucoup plus en compétition pour l'espace que dans une situation régie par un marché linéaire (c.f. figure 3.20).

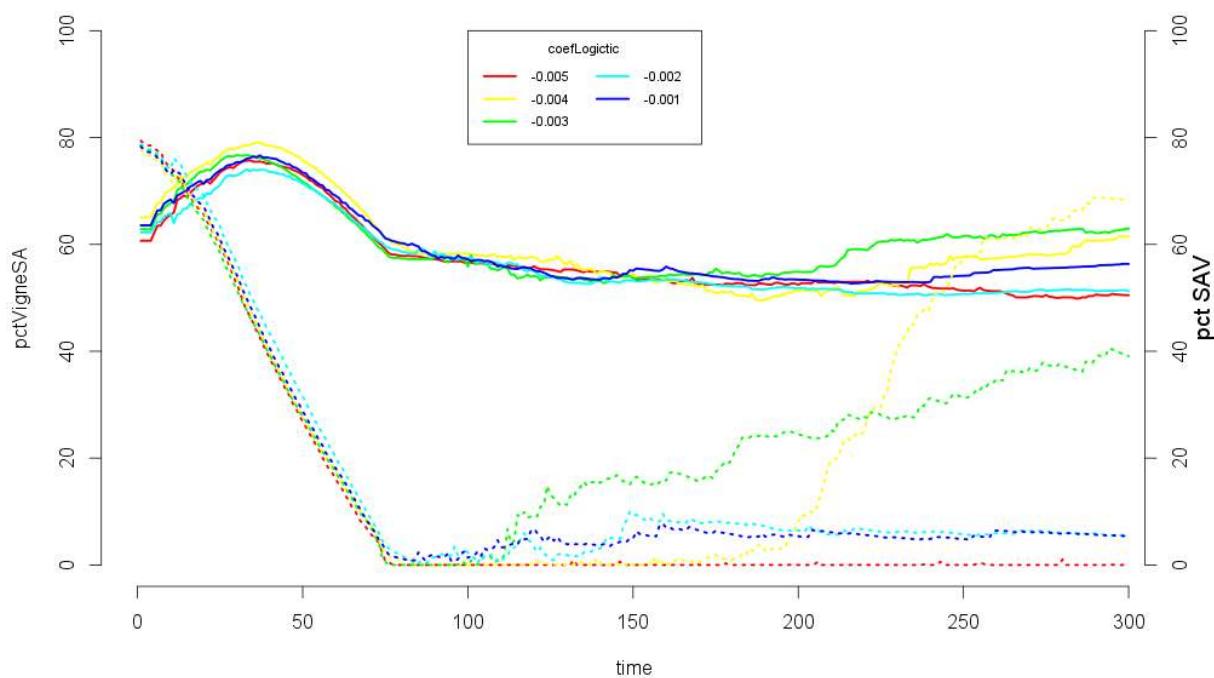


FIGURE 3.21 – Exploration de l'utilisation du sol pour la viticulture en fonction du type de marché logistique. Les courbes pleines permettent d'évaluer la proportion implantée de parcelles viticoles sur des terres adaptées par rapport au nombre total de parcelles viticoles. Les courbes en pointillés nous donnent la proportion utilisée des terres adaptées à la viticulture.

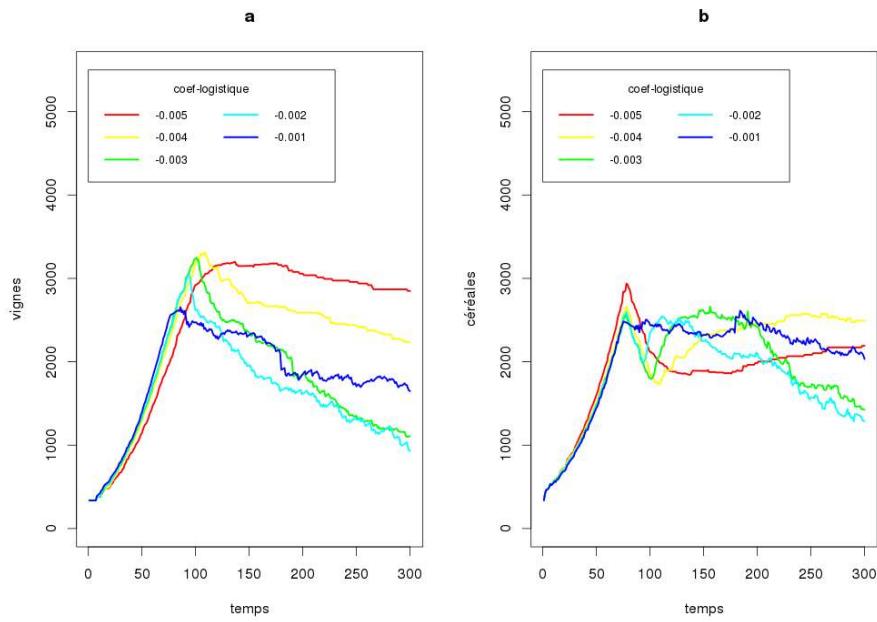


FIGURE 3.22 – Exploration de la sensibilité à différentes variations d'un marché logistique. Le graphique "a" représente le nombre de parcelles viticoles, et le graphique "b" représente le nombre de parcelles en céréales par rapport au temps, dans les deux cas, en fonction du coefficient b de la fonction logistique

3.2.4 Discussion

3.2.4.1 Isotropie, anisotropie, espace de compétition ?

L'analyse des résultats de la simulation montre la faible influence de l'espace sur le maintien ou non des villages (c.f. figure 3.17). Toutefois, ce qui est vrai au niveau de l'organisation des agents « localités », ne l'est pas au niveau des parcelles. Le modèle permet de mettre en évidence un phénomène déjà relevé par DION (1952) concernant l'implication locale de l'agro-terroir et son rôle dans la structuration spatiale des formes paysagères.

En effet, la figure 3.18 montre qu'un monde anisotrope défavorise la culture de céréales. Cette dernière étant considérée comme plus sensible aux conditions d'implantation. Une réduction de son aire d'implantation induit inévitablement une diminution de sa surface cultivée. Ce n'est pas vrai pour la vigne, capable de se développer à la fois sur des sols pauvres et sur des sols riches, ce qui forcera parfois les pouvoirs publics à prendre des mesures coercitives envers la viticulture (MAILLARD 1992 ; MESSIEZ 2002).

On présuppose alors une possible compétition entre les localités pour une ressource qui est ici l'espace²⁵. Cette hypothèse est confirmée par la figure 3.19 qui nous permet d'évaluer

25. Une compétition exacerbée par l'hétérogénéité spatiale.

empiriquement les besoins spatiaux des localités. Nous sommes alors en mesure de dire que la compétition a lieu de manière très agressive au fur et à mesure que la population des villages et leur besoin grandissent. Notre espace d'analyse est capable d'abriter cinq agents sans leur faire subir une concurrence destructrice. Cette compétition entre localités peut s'observer quand les parcelles viticoles implantées sur des terres adaptées diminuent (fig. 3.20).

Ainsi, en considérant le même instant (autour de 100 itérations), près de 20% des parcelles viticoles des paramétrisations à plus de cinq agents ne sont pas situées sur des terrains adaptés. Au même moment, le nombre de villages a déjà commencé à diminuer dans les simulations denses (plus de sept agents sur la figure 5). Une fois que certaines localités ont disparu, les zones viticoles vont persister sur les espaces précédemment investis, même si ces derniers sont moins adaptés à cette culture. Les formes ainsi créées sont donc le résultat d'une compétition initiale pour l'espace.

Si l'on tente une comparaison avec des pratiques historiques, on peut citer l'utilisation des zones dites "de palu" dont le sol gras et frais a été utilisé pour planter de nouvelles parcelles viticoles dans le Bordelais au moment de l'augmentation de la demande en vin (DION 1952 ; ENJALBERT 1953), et dont HINNEWINKEL (2011, p.3) on retrouve la trace au moment des tractations avec le négoce puisque « les vins de palu y sont en bonne place, avec le prix plancher le plus élevé ».

Le monde virtuel que nous avons créé génère donc un comportement émergent. Les agents²⁶ vont préférer planter des vignobles dans certaines zones moins propices à la vigne, ou des céréales sur des parcelles moins adaptées, en fonction des caractéristiques des parcelles disponibles lors du processus de choix.

Si la discrétisation initiale imposée au territoire permet d'orienter la production, elle ne la constraint pas. Quand la rente attribuée à la vigne devient avantageuse ou que la place vient à manquer dans les terres adaptées, alors sa culture peut gagner de l'espace sur les terres céréalières. On retrouve donc ici la théorie de J.C HINNEWINKEL (2004) sur la composition tripartite pour la construction du terroir dans laquelle la construction sociale peut se faire *a posteriori* de la qualité de terroir.

3.2.4.2 Dynamique macro-économique et conséquences spatiales

La proximité de motifs²⁷, que l'on peut observer entre les figures 3.20 et 3.22, présente un mécanisme d'autorégulation dans le premier cas, alors qu'il est imposé par le marché dans le second cas. Ils représentent respectivement les parts de virtualisation et d'inhibition qu'on peut retrouver dans les systèmes complexes (MORIN 2013).

Quand le marché est une fonction linéaire, nous sommes dans une situation d'inhibition

26. Eux-mêmes répondant aux marchés et aux besoins de leur population.

27. Évoquée dans la partie sur l'influence des marchés (3.2.3.3).

de la production par le système lui-même, chaque nouvelle parcelle faisant diminuer le prix de vente de la production globale. Dans ce cas-là, l'ajustement est fait au niveau de chaque agent en considération de son volume de parcelles. Les phases d'équilibre dynamique se succèdent donc avec une relative continuité.

C'est, par exemple, ce qui se passe en figure 3.20 dans le cas des courbes violettes (pour onze agents « localités »). Les agents prennent beaucoup plus en compte les variations locales des conditions agricoles, car ils ne doivent faire face qu'à de micro-variations économiques. L'espace le mieux adapté à la viticulture est presque entièrement dédié à cette culture, et on assiste à une co-construction des espaces agricoles ainsi qu'à un zonage "naturel". Cela sous-entend que, localement, quand les agents ont une vision à long terme (même relative) de l'évolution des cours de leur production, ils sont en mesure d'optimiser le territoire et donc de tirer parti des variations locales.

Dans cette situation, les agents sont « solidaires » : une augmentation de la production des uns impacte à long terme sur les revenus tant individuels que collectifs. Ce type de contrainte peut être en partie représentatif d'une région où les propriétaires réussissent à s'organiser pour empêcher l'extension d'une viticulture populaire (MAILLARD 1992), comme cela a pu se produire dans la région de Bordeaux (ENJALBERT 1953).

Dans le second cas, illustré par la figure 3.21, nous plaçons le système dans une situation de virtualisation. Les prix sont alors ajustés depuis l'extérieur, une fois par itération (c.f. partie : Processus et ordonnancement). Les évolutions des prix sont partiellement découplées de la réalité du territoire. On ne tient compte que de la valeur positive ou négative du bilan de colonisation de l'itération, le comportement logistique fait le reste ; la courbe d'ajustement des prix va suivre là encore un comportement logistique (qui s'amplifie par la fréquence de l'événement).

Dans ce cas-là, les localités cherchent à optimiser leurs revenus. Or, si l'un d'eux prend l'avantage à une itération en mettant en culture une grande superficie (grâce à de la main-d'œuvre disponible, par exemple), ces parcelles vont beaucoup rapporter à cette itération, mais le prix va chuter lors de la suivante. Nous sommes dans une situation où le marché crée des opportunités à court terme, ce qui va donc encourager les dynamiques individuelles et imposer aux agents une compétition immédiate.

Ce type de configuration est visible sur la figure 3.23. En effet, dans un contexte de marché guidé par une fonction linéaire (fig 3.23(a), (b) et (c)), les surfaces viticoles sont un peu moins étendues, mais elles sont largement disposées sur les zones qui leur sont propices (c.f. (a) et (b) vis-à-vis de la fig. 3.13). Dans les conditions où le territoire est guidé par une équation logistique (c.f. 3.23(d), (e) et (f)), on constate que la viticulture occupe une place un peu plus importante dans le cas (a). Une seconde auréole apparaît de manière plus marquée dans le cas de (e) que dans celui de (b). En ce qui concerne les deux dernières visualisations, il apparaît que pour un environnement guidé par une

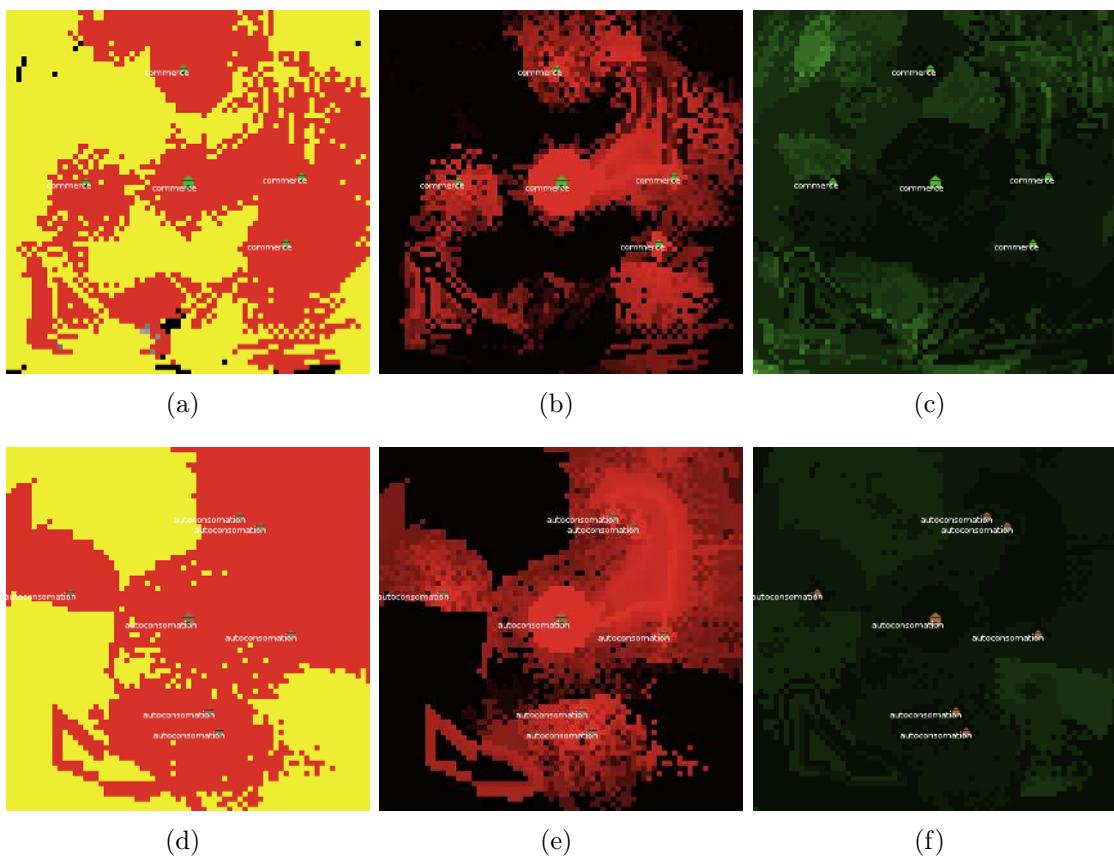


FIGURE 3.23 – Deux types de configuration spatiale du territoire après 300 itérations. Sur la ligne du haut, le modèle était soumis à un marché guidé par une fonction affine. On retrouve en (a) le partage de l'espace entre vigne et céréales, en (b) l'histoire de la culture de la vigne (nombre d'itérations où la vigne s'est maintenue sur la parcelle) et en (c) le nombre de fois où le couvert végétal a varié sur la parcelle. Sur la ligne du bas, le modèle est guidé par un marché logistique. Comme précédemment on retrouve en (d) le partage de l'espace entre vigne et céréales, en (b) l'histoire de la culture de la vigne (nombre d'itérations où la vigne s'est maintenue sur la parcelle) et en (f) le nombre de fois où le couvert végétal a varié sur la parcelle.

fonction linéaire (c), les zones qui ont le moins changé de couvert (et donc conservé de la vigne le plus longtemps), les espaces soient plus étendus que dans une configuration logistique (c.f. 3.23(f)), ce qui apporte une information supplémentaire. Le marché guidé par une fonction linaire aurait tendance à maintenir des noyaux d'élites²⁸ plus importants que dans le cas d'un marché guidé par une fonction logistique.

Là encore on peut imaginer un parallèle historique avec la situation de la Touraine au XVIII^e siècle. En effet, les exportations par la Loire sont taxées en direction de Nantes (MAILLARD 1992). Le vin est une marchandise pondéreuse, donc coûteuse à faire voyager. Des exportations en petite quantité, mais de bonne qualité, produites par des portions de

28. Le concept de noyaux d'élites a été défini par KUHNHOLTZ-LORDAT (1960). Il le définit comme un système d'extension spatiale centrifuge, dans lequel plus on s'éloigne du centre et plus la qualité diminue.

territoire²⁹, font monter les prix du vin, mais le contrôle « extérieur » sur le prix exercé par la taxe pourrait avoir ce type de résultat sur les surfaces produites.

Grâce à ces simulations, on peut dire que les territoires viticoles aujourd’hui reconnus ont sûrement eu besoin, dans les premiers temps, d’un environnement économique suffisamment stable pour garantir des débouchés, tout en profitant localement de « ce qui, dans la disposition naturelle des lieux, pouvait favoriser son [en parlant de viticulteurs] dessein (. . .). Par là s’établit, mais dans le menu détail, bien plus que dans les grandes lignes, le lien de la géographie viticole à la géographique physique » (DION 1952, p.428) .

La fonction logistique représente plus un modèle spéculatif dans lequel les prix sont fixés par des variables qui échappent, au moins partiellement, au territoire et aux agents (vins d’opportunité). Si la baisse des prix est liée à l’extension entre deux itérations, on découvre, sur la figure 3.22, qu’une forte réactivité du prix (b de -0.003 ou -0.004) génère une réappropriation de l’espace par les localités qui ont réussi à se maintenir. Ces émergences sont le résultat d’un darwinisme économique et spatial couplé à une forte réactivité du système économique en jeu, qui a tendance à recréer une stabilité précaire. Les zones les plus adaptées pour la viticulture ne sont alors plus occupées de manière aussi optimale par la vigne, bien que celle-ci reste une composante du paysage.

Ce modèle nous permet d’explorer ainsi les implications spatiales des hypothèses avancées par HINNEWINKEL (2010, p.10) : « La position commerciale acquise ne durera que par la mise en place d’une efficace protection de la rente territoriale sur un espace délimité. La durabilité de cette rente est alors essentiellement liée à la société qui la porte ». Cette protection, qui fait tellement défaut dans la situation où le marché est guidé par une équation logistique et qui finalement est peu nécessaire aux situations soumises au marché linéaire, nous permet de dresser les grandes lignes par « plausibilité de principe » (VARENNE 2011) du défaut de protection et d’auto-organisation dont ont besoin les sociétés pour faire face à toutes les circonstances.

Conclusion

Ce premier travail nous permet de présenter la posture scientifique qui conduit à explorer les comportements du monde réel à partir de modélisations. La modélisation et les systèmes multi-agents sont alors utilisés comme « une béquille pour l’esprit humain » (BANOS 2010). Ils aident à se projeter et à comprendre des situations complexes.

Nous avons pu explorer certaines hypothèses nécessaires à la compréhension des comportements génériques de la structuration des paysages viticoles. En particulier, nous montrons que l’espace à moins d’influence sur le maintien des sociétés villageoises que sur l’implantation des cultures (c.f part. 3.2.4.1 Isotropie, anisotropie, espace de compé-

29. Comme Vouvray et Joué (MAILLARD 1998) en Touraine.

tition). Nos explorations des comportements du paysage, pour en déduire la nature de la contrainte économique, nous ont permis d'esquisser quelques pistes quant aux forces agissant sur les paysages agricoles.

- Nous pouvons d'ores et déjà avancer que les contraintes mises en évidence avec le modèle *Dion still alive* (part 3.1) n'ont pas disparu. Le marché reste très structurant, mais l'hétérogénéité (les agro-terroirs) est utilisée par les agents ;
- La nouveauté réside ici à considérer les formes économiques qui entrent en jeu sur le territoire comme des contraintes spatialement structurantes.

Ainsi, si certaines formes ou certains processus jouant sur la structuration paysagère nous semblent plus clairs - par exemple, la détermination de la contrainte liée à l'hétérogénéité spatiale sur les cultures - une grande part d'ombre persiste sur les structures plus fines qui peuvent se mettre en place sur les composantes de la notion de terroir. Ces résultats ouvrent, des questionnements dans plusieurs directions :

- Impliquant exactement le même modèle, mais en questionnant d'autres composantes. En s'inspirant des travaux de R. DION nous pourrions nous interroger sur les possibilités de cohabitation de deux types de viticulture³⁰ : une viticulture paysanne et une viticulture bourgeoise. On pourrait également imaginer explorer les effets d'une viticulture de consommation locale contre une viticulture d'exportation³¹ ; et ainsi poursuivre cette tentative de définition du concept de terroir au sens topologique ;
- Impliquant un changement de résolution dans l'organisation sociale. Le passage à une unité individuelle à l'échelle des agriculteurs pourrait être un enrichissement du système qui permettrait de descendre à un niveau d'interactions intra-communautaires (à l'intérieur de la localité). On pourrait alors vérifier la robustesse des territoires viticoles et plus particulièrement les comportements spatiaux liés au triptyque « *rente - organisation - terroir* » (HINNEWINKEL 2004). Ce changement d'échelle de réflexion en remplaçant l'agent localité par les Hommes, afin d'explorer plus finement les processus à mobiliser dès lors que l'hypothèse de l'individualisme méthodologique est introduite (BOUDON 2004). Dans ces conditions, les paysages viticoles pourraient être considérés comme des émergences de second ordre (N. GILBERT 1995a).

A ce moment-là de la réflexion, nous avons fait le choix d'orienter nos travaux vers les seconds questionnements. En effet, bien que très intéressants, les questionnements autour

30. Mis en avant dans la lecture des travaux de DION (1952) avec une grille de lecture marxisante, opposant la viticulture paysanne et la viticulture bourgeoise dans leurs objectifs de qualité.

31. Dans un rapport de *Morgan Stanley analysts*, KIERATH et WANG (2013) avancent que la marché mondial du vin risque de se contracter à cause d'une pénurie de production. Les auteurs s'appuient, entre autres, sur le fait que la demande mondiale de vin a dépassé l'offre. Cette caractéristique est accentuée par le fait que 2012 aura été l'année où la production est tombée le plus bas depuis les 40 dernières années.

des formes de cohabitation des différents types de viticulture nous auraient éloignés de l’ancrage territorial. Ces deux premiers modèles nous permettent de situer la viticulture et des comportements spatiaux du vignoble à des niveaux agrégés, mais les questionnements apportés par nos territoires d’étude nécessitaient de déplacer nos interrogations vers un niveau social plus fin. Ainsi les chapitres 4 et 5 nous permettront des résolutions d’interactions plus fines.

Conclusion du chapitre

Nous avons dans ce chapitre exposé les détails et les résultats des modèles *Dion still alive* et *VIcTOr* pour explorer quelles sont les « forces » durables à l’origine de l’hétérogénéité des formes sociales et spatiales du vignoble de fortes pentes, et de ce qui le différencie de la plaine.

Avec le modèle *Dion still alive*, nous montrons que le marché et la structuration des voies commerciales jouent un rôle dans la construction sociale de la qualité. Avec l’approche de modélisation, nous allons d’ailleurs plus loin que les hypothèses avancées par DION (1952) en essayant de formaliser le type de comportement qui pourrait décrire le plus justement l’évolution sociale de la qualité.

Avec le modèle *VIcTOr*, nous nous rapprochons de l’échelle de réflexion identifiée dans l’approche systémique d’AURIAC (2000) en observant l’évolution d’un territoire sur lequel les communautés villageoises sont soumises à une double concurrence : concurrence spatiale et concurrence économique dans lesquelles celles-ci sont tributaire d’évolutions qui leur échappent au moins partiellement. Dans ce cas-là, l’évolution des prix de vente des productions influence le territoire, mais les agents, localement, bénéficient toujours d’une certaine latitude.

Si nous rejoignions l’hypothèse d’AURIAC (*ibid.*, p.45), qui considère que les formes capitalistes ne doivent pas être considérées « ni comme seules ni comme primordiales » dans la structuration hétérogène du vignoble, les résultats de ces modèles montrent bien qu’elles y jouent, malgré tout, un rôle plus important que celui que lui attribues aujourd’hui la littérature.

L’agrégation spatiale et sociale qui sous-tend ce chapitre participe à virtualiser une partie du système. À l’évidence, l’introduction d’une diversité d’acteurs couplée à la diversité de conditions locales conduira le système à produire de l’hétérogénéité. C’est à cette hétérogénéité que nous nous intéressons dans les chapitres suivants dans le but d’isoler des *patterns* de développement identiques de la viticulture de montagne et de fortes pentes et ce malgré cette hétérogénéité apparente.

Chapitre 4 :

**La montagne et les fortes pentes : entre
contraintes et « faire valoir » viticole ?**

Introduction du chapitre

« La logique ? Qu'elle se débrouille pour rendre compte de la vie. »

SAINT-EXUPÉRY (1939, p.159)

Ce chapitre occupe une place centrale dans notre compréhension de l'objet de recherche que constitue la viticulture de montagne. En effet, dans le chapitre précédent (chap 3), nous avons abordé le questionnement à une échelle relativement grande et en manipulant des objets agrégés nous autorisant l'usage de formalismes peu descriptifs de la réalité des territoires.

Dans le chapitre qui va nous occuper maintenant, nous entrons dans une démarche plus descriptive des processus en interaction. Ceci est rendu possible par le changement d'échelle que nous opérons en choisissant à partir de maintenant de formaliser les interactions "agent" au niveau des individus (viticulteurs) en les traitant tour à tour en tant qu'agent uniforme dans le modèle LAME et hétérogène dans le modèle CiVIIsMe. Nous approchons donc de manière informatique, par le biais de systèmes multi-agents, la réalité du vignoble-système telle qu'elle est formalisée par AURIAC (2000). Ce dernier considérant l'hypothèse d'atomicité¹ souvent invoquée par les économistes comme une contrainte virtuelle masquant les réalités territoriales. Nous considérerons que le grand nombre d'agents et *a fortiori* d'agents hétérogènes est un facteur permettant aux géographes d'accéder à une hétérogénéité spatiale des territoires.

Ainsi, avec le modèle LAME, nous commencerons à considérer le système sous l'angle de l'individualisme méthodologique en introduisant une multitude d'agents dans la simulation. Nous observerons de la sorte, comment les conditions locales auxquelles ceux-ci doivent faire face influencent le comportement du couvert viticole. Dans le modèle CiVIIsMe, ces agents devenus hétérogènes introduisent encore une étape dans la construction de l'hétérogénéité spatiale.

Nous explorerons donc dans la première partie de ce chapitre le modèle LAME et ses résultats. L'objectif de celui-ci est, en conservant des conditions de modélisation assez stylisées, d'explorer les types de formalisme qui prévalent dans les stratégies d'acquisition foncière en territoire de pente. Nous pourrons alors discriminer les types de variables issues de la micro orographie qui influencent le choix des parcelles par les viticulteurs. Les résultats de ce travail nous permettent également d'explorer une certaine construction

1. L'atomicité est l'hypothèse de modélisation qui assume un nombre si grand d'agent (économique) qu'une décision individuelle n'implique pas de variation globale du système.

sociale du vignoble mettant en avant le fait que les zones de montagne sont propices à la coexistence de deux types de populations viticoles discriminées par les revenus.

Dans la seconde partie du chapitre, nous introduirons un autre agent : la coopérative. Ce nouvel agent, considéré comme une entité propre mais dont l'existence est le résultat de l'agrégation des agents viticulteurs, nous permettra d'explorer les mécanismes se mettant en marche quand la profession se structure (effet des stratégies individuelles VS stratégie collective). Cela donnera l'occasion d'une comparaison par le filtre du modèle (BOMMEL 2009) entre le contexte coopératif de Banyuls et celui du *val di Cembra*.

4.1 Le modèle LAME : la montagne, un espace de ségrégation, un espace de valorisation

— Le modèle *LAME* —

Échelle spatiale : modèle pensé à l'échelle de la commune

Agents : sont mobilisés dans ce modèle, une grille de cellules, un village, une population de viticulteurs

Question(s) :

- Comment la pente et/ou la distance entrent en considération dans la structuration sociale et spatiale des territoires viticoles de montagne ?
- L'échelle de modélisation individuelle sur les territoires de pente contribue-t-elle à virtualiser des variables importantes à un niveau d'abstraction plus élevé ?

Les territoires de fortes pentes sont le théâtre d'un grand nombre de transactions foncières. Nous avons cherché dans cette section à évaluer l'impact et le poids des différentes variables issues de l'orographie, qui peuvent peser sur le choix individuel des viticulteurs et avoir des répercussions sur la structure du couvert viticole de nos territoires. Nous évaluons également les effets de l'introduction d'une hétérogénéité spatiale et d'un grand nombre d'agents sur les résultats, ce qui nous conduira à réfléchir sur les possibles virtualisations de variables (MORIN 2013) qui se mettent en place dans des approches de modélisation à des niveaux d'abstraction plus élevés. Cela nous conduira enfin à aborder, dans les résultats, les contraintes qui participent à l'émergence de deux types de populations viticoles sur ces territoires.

Introduction

Dans le contexte de globalisation des échanges, les matières premières agricoles n'échappent plus aux règles des marchés, ce qui pousse les agriculteurs et donc les viticulteurs à rechercher sans cesse la réduction des coûts de production. Mais qu'en est-il du déterminisme géographique à une échelle fine ? Comment se développe la viticulture dans des espaces où la composante orographique impose des contraintes très fortes aux agriculteurs et joue un rôle important dans la structuration des paysages de ces zones ?

Il est facile d'influer sur les coûts de production en réduisant le temps de travail (par la mécanisation, ou l'utilisation de produits phytosanitaires à large spectre). Mais lorsque la mécanisation est impossible, les coûts de production bondissent créant de fait une ségrégation spatiale entre une viticulture de plaine capable de s'industrialiser et une zone de « montagne » ou de « pentes » incapable de suivre cette voie.

Par ailleurs, HINNEWINKEL (2003) propose que le salut de ces zones en conditions structurales difficiles se situe dans une mise en exergue d'une viticulture de terroir (au travers d'AOC), en précisant que le terroir doit être considéré à la fois en tant qu'agro-terroir, mais également et « *surtout [comme] une viticulture parfaitement intégrée dans un projet de développement local* ».

Si pour cet auteur la garantie de la survie de ces vignobles passe par la labérisation (l'AOC devenant facteur de maintien de cette viticulture), il nous apparaît que d'autres mécanismes sont nécessaires pour produire les configurations observées. Nous avons voulu considérer ici les effets de la pente et de l'accessibilité sur la structuration du vignoble, pour comprendre quels comportements socio-économiques et spatiaux peuvent émerger et tenter de fixer l'ordonnancement des facteurs qui entrent en jeu dans les interactions viticulteur ↔ espace.

Il s'agira ici d'explorer, au moyen d'un modèle informatique à base d'agents, les dynamiques territoriales de territoires viticoles de fortes pentes pour tenter d'apporter un éclairage sur la dialectique qu'entretiennent les pentes avec la viticulture (et *a fortiori* les viticulteurs) et la valorisation des produits viticoles. Pour cela nous avons développé le modèle LAME (Landscape & Mountain Economics)².

2. La base de ce modèle a été développée durant MISS-ABMS 2012 à Montpellier, en collaboration avec J. BOURGOIN (CIRAD, UMR TETIS). Ce modèle a donné lieu à une communication au IV^e congrès du CERVIM (E. DELAY, BOURGOIN *et al.* 2012). Nous en présentons ici une version augmentée et validée par des données de terrain.

4.1.1 Quelles sont les sources des dynamiques des surfaces viticoles ?

Pour remplir leurs missions, les Organismes de Défense et de Gestion³ (ODG) disposent de données spatialisées sur les surfaces plantées en vigne de chaque appellations dont ils ont la charge. Or, l'unité spatiale de référence de ces données étant la parcelle cadastrale, il arrive très régulièrement que ces dernières subissent une ou plusieurs subdivisions, et soient exploitées par plusieurs viticulteurs. Nous sommes donc face à un objet dont la forme spatiale n'est pas toujours représentative de la réalité agricole (BERQUE 1999). Grâce à des inventaires diachroniques du parcellaire viticole pour les années 2011 et 2013 issus de l'ODG de la Côte Vermeille, nous sommes capable d'identifier les dynamiques foncières sur les AOC. Nous avons choisi de nous intéresser aux changements dans la répartition du parcellaire indépendamment des formes spatiales. Ainsi il faudra garder à l'esprit que les représentations cartographiques de ces espaces souffrent d'imprécisions alors même que la donnée qui leur est liée est très précise.

Nous avons donc cherché à exposer les contraintes qui influencent les dynamiques foncières et, par là même, paysagères, en définissant des *patterns*⁴. Notre ambition est de les formaliser pour reproduire leurs effets dans une modélisation. Cette démarche de formalisation inductive⁵ et itérative pour la modélisation nécessite de nous interroger de manière appliquée et abstraite sur la chaîne de contraintes qui pèse sur les agents (les viticulteurs) et le système (le territoire).

4.1.1.1 Où est la viticulture ?

Sur les AOC du Cru Banyuls tout comme dans le contexte du *val di Cembra*, les possibilités offertes par la mécanisation sont rapidement limitées. De manière empirique, on constate que la viticulture a eu tendance à s'installer sur les versants (fig. 4.1 et 4.2), abandonnant les zones plus plates à l'urbanisation (dans le cas de Banyuls) ou à des cultures plus exigeantes (pour la vallée de l'Adige (Trentino-Italie)). Ces observations sont corroborées par une série d'analyses statistiques et spatiales⁶.

Le résultat de l'analyse de la variance inter-groupes (ANOVA) (tab. 4.1) indique qu'une relation semble exister entre la pente des parcelles cadastrales et l'occupation

3. Depuis 2009, les ODG ont pour mission de préserver et mettre en valeur les terroirs, les traditions locales, les savoir-faire, les produits des territoires dont ils sont issus.

4. Que l'on peut traduire en français par le mot motif. Il est ici employé pour désigner des phénomènes identifiables et dont le motif permet de les caractériser.

5. D'après BERTHELOT (2012, p.132), « La démarche inductive consiste à traduire des observations du monde réel en faits stylisés susceptibles de rendre compte des comportements observés. »

6. Toutes ces analyses ont été réalisées avec le logiciel R (TEAM 2014), à l'aide des packages rgdal (BIVAND *et al.* 2013) pour le traitement des données spatiales, et ggplot2 (WICKHAM 2009) pour les sorties graphiques.



FIGURE 4.1 – Photos des vignobles de Banyuls-sur-Mer (Pyrénées-Orientales, France) fig. (a), et Cembra (Trentino, Italie) fig. (b)

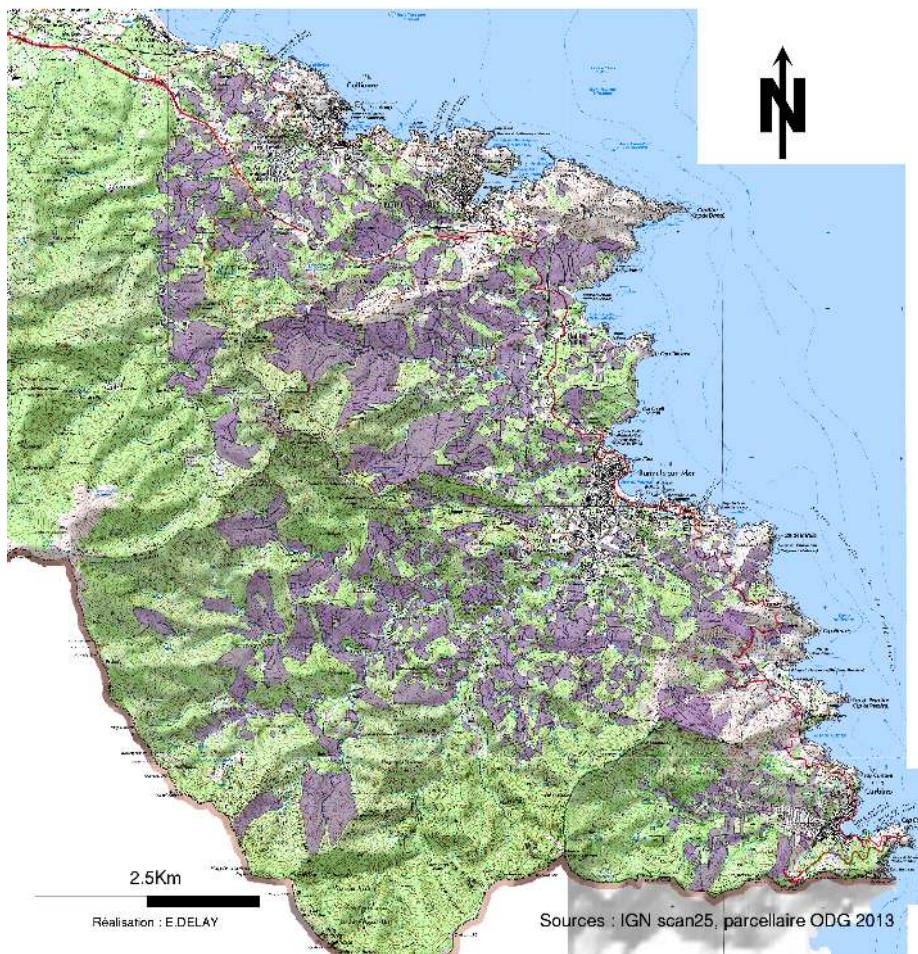


FIGURE 4.2 – Localisation des parcelles viticoles (en violet) sur l'AOC cru Banyuls (2013)

	Somme des carrés	dl	Somme moy des carrés	F	p
Intergroupe	22.0	1	21.97	127.95	p<0.001
Résidus	3623.8	21107	0.1717		
Total	3654	210108			

Tableau 4.1 – Analyse de variance (ANOVA) sur la relation entre les parcelles viticoles et la pente moyenne de celles-ci (c.f. fig. 4.3)

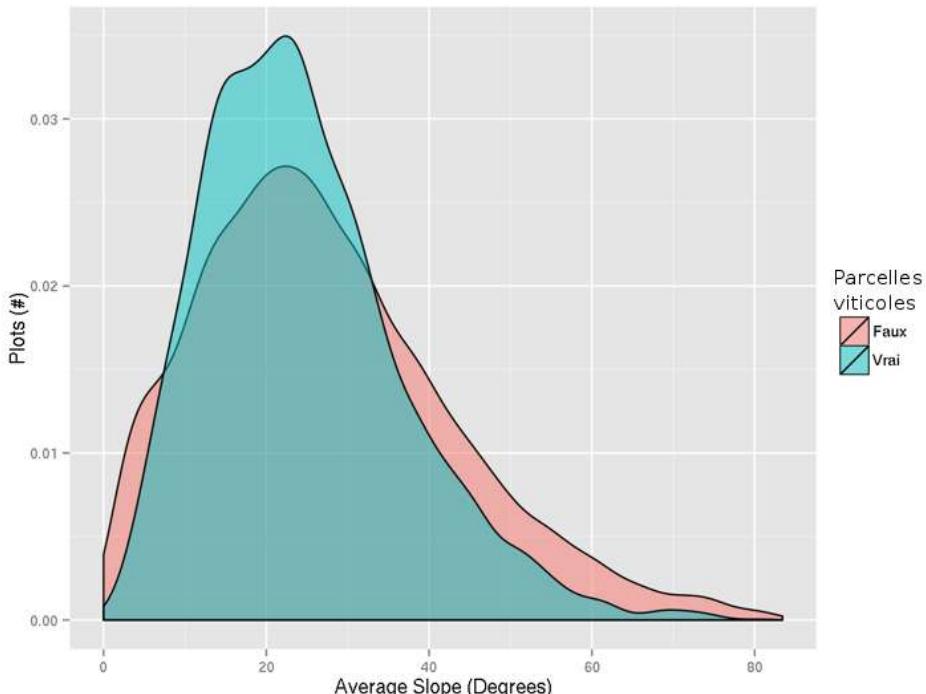


FIGURE 4.3 – Estimation par noyau de la pente des populations de parcelles viticoles et non viticoles

du sol par la vigne. Si l'on s'intéresse aux profils des courbes de densité de la pente des parcelles selon leur occupation du sol (fig. 4.3), on constate que le profil est largement différent. Les parcelles viticoles sont sur-représentées dans des valeurs de pente centrées sur 20 degrés tandis que les valeurs extrêmes (proches de 0 ou au-delà de 60 degrés) sont assez peu présentes.

Les sources du dynamisme foncier en milieu agricole peuvent être de plusieurs types, mais dans le contexte de compréhension des mécanismes socio-économiques et de leur implication spatiale qui nous intéresse ici, nous nous sommes focalisés sur deux types de dispositifs :

1. Le premier consiste à observer, identifier les mécanismes qui sont sources d'extension/rétraction des surfaces agricoles et viticoles, et donc directement des formes

	Somme des carrés	dl	Somme moy des carrés	F	p
Intergroupe	1573	1	1572.96	10.591	p<0.01
Résidus	676966	4558	148.5		
Total	678539	4559			

Tableau 4.2 – Analyse de variance (ANOVA) sur la relation entre les parcelles échangées et parcelles conservées vis-à-vis de leurs valeurs de pentes moyennes (c.f. fig. 4.4(a))

paysagères observables.

2. Le second est constitutif des dynamiques sociales du paysage. Il consiste à explorer les implications socio-spatiales du changement d'exploitant comme processus constitutif des dynamiques des paysages. Si ceux-ci peuvent n'avoir aucune influence sur la structuration du paysage, il peut également en découler une concentration foncière, aux mains de quelques-uns, ce qui instaure une forme de structuration sociale du territoire.

Ces deux types de dynamiques nous permettent d'aborder les questions des paysages viticoles de pente sous un angle aussi bien social (à la recherche des critères de choix des individus) que spatial (dans la compréhension des formes).

4.1.1.2 Des échanges fonciers : lieux d'interactions ?

En travaillant sur les échanges de parcelles entre viticulteurs, nous avons cherché à comprendre et circonscrire les contraintes qui pouvaient jouer un rôle catalyseur dans la volonté de changer ou reprendre une parcelle. Pour cela nous avons donc extrait des parcelles cultivées en 2011, celles qui le sont encore en 2013 pour ensuite nous intéresser à celles qui ont changé d'exploitant. Au total ce sont 1186 unités de culture qui ont été échangées, concernant 881 parcelles cadastrales sur les 4 651 parcelles de l'AOC (soit 18% des parcelles).

Le tableau 4.2 résume le résultat de l'ANOVA entre la pente des parcelles qui ont changé d'exploitant et celles qui ont été conservées. Comme nous pouvons le voir ici, il existe une corrélation assez forte entre ces deux variables. On peut donc accepter l'hypothèse selon laquelle la pente entre en considération dans le choix des viticulteurs à participer au ballet d'achat/vente des parcelles.

Si l'on considère maintenant le graphique 4.4(a), on peut voir que le profil des courbes n'est pas le même. Le pic de densité de la pente des parcelles échangées arrive en avance par rapport à celui des parcelles cultivées. Ce qui montre que les parcelles les plus pentues s'échangent moins volontiers (peut-être ne trouvent-elles pas preneur ?), tandis que les parcelles les moins pentues sont plus recherchées (on peut même observer une légère surreprésentation de toute la première partie de la courbe), car plus facilement exploi-

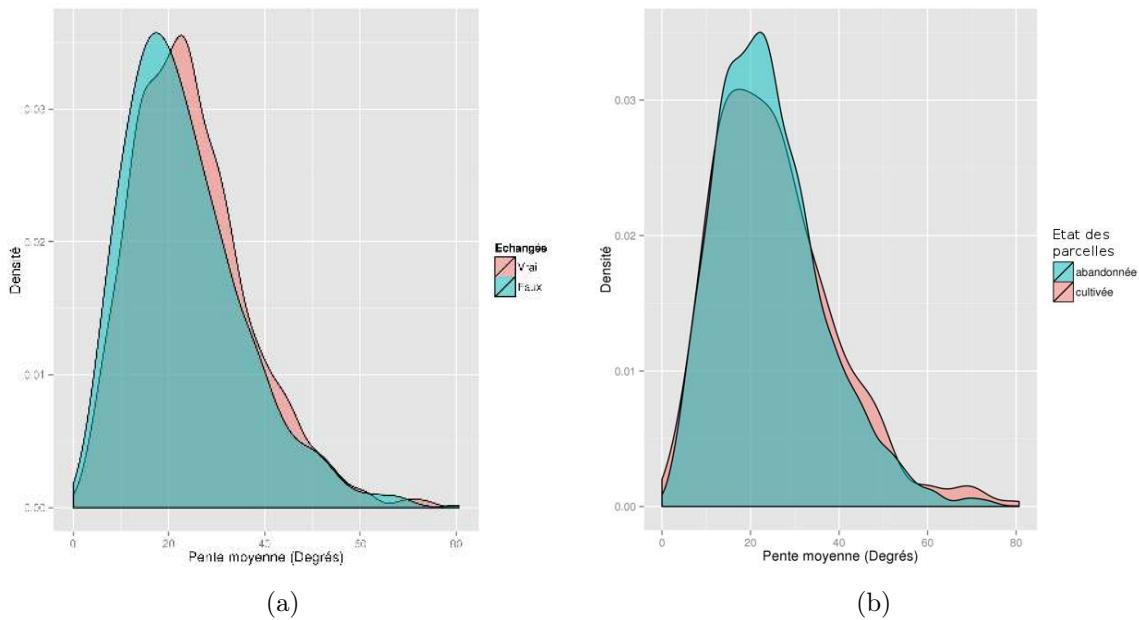


FIGURE 4.4 – Estimation par noyau de la pente des populations de parcelles viticoles (fig. (a), pour les parcelles échangées entre 2011 et 2013) (fig. (b), pour les parcelles abandonnées entre 2011 et 2013) sur l'AOC cru Banyuls

	Somme des carrés	dl	Somme moy des carrés	F	p
Intergroupe	337	1	336.73	2.207	ns
Résidus	748241	4904	152.58		
Total	748578	4905			

Tableau 4.3 – Analyse de variance (ANOVA) sur la relation entre les parcelles abandonnées et celles encore cultivées en 2013 et la pente moyenne de celles-ci (résultats non significatifs ns), c.f. fig. 4.4(b)

tables. Elles sont donc peu représentées. Nous pouvons alors poser l'hypothèse suivante : la pente est un catalyseur des échanges d'unité culturelle, mais un effet de seuil limite les échanges des unités trop extrêmes.

4.1.1.3 Lieu d'extension ou de contraction du vignoble ?

Si l'on s'attache aux mêmes analyses, mais cette fois en prenant les parcelles qui ont été abandonnées ou bien celles qui ont été gagnées sur d'autres usages, la recherche de lien devient plus hasardeuse. En effet on peut constater sur les tableaux 4.3 et 4.4 que la significativité de la *p-value* ne permet pas de rejeter l'hypothèse h_0 ⁷.

Ce qui nous conduit naturellement à nous interroger sur d'autres facteurs qui influen-

7. Nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse de la non-influence de la pente sur l'abandon des parcelles à cause d'une variance inter-groupe non significative.

	Somme des carrés	dl	Somme moy des carrés	F	p
Intergroupe	2	1	2.428	0.0164	ns
Résidus	693671	4684	148.094		
Total	693673	4685			

Tableau 4.4 – Analyse de variance (ANOVA) sur la relation entre les parcelles colonisées entre 2011 et 2013 et les parcelles qui sont restées entretenues et la pente moyenne de celles-ci (résultats non significatifs ns)

	Somme des carrés	dl	Somme moy des carrés	F	p
Intergroupe	205	1	205.309	9.897	p<0.001
Résidus	52195	2516	20.745		
Total	52400	2517			

Tableau 4.5 – Analyse de variance (ANOVA) sur la relation entre les parcelles abandonnées et cultivées vis-à-vis de leur accessibilité (résultats significatifs), c.f. fig. 4.6(a)

raient ces « *respirations* » du vignoble et plus particulièrement l’accessibilité liée à l’orographie qui est une contrainte revenant de manière régulière dans les entretiens. Nous avons intégré l’accessibilité ici en terme de temps de trajet. Dans le domaine du transport où la modélisation de l’accessibilité a été beaucoup étudiée, il faut envisager au minimum un point fixe à partir duquel seront calculés tous les temps de trajet (PATRUSHEV 2007). Dans le cadre du cru Banyuls, puisque la majorité des viticulteurs (et donc des parcelles qu’ils cultivent) est affiliée à la coopérative du GICB, nous avons calculé l’ensemble des temps de parcours à partir de ce point.

On observe sans surprise sur la figure 4.5 que la nouvelle cave du GICB construite en 2012 est positionnée assez stratégiquement sur l’axe routier majeur de l’AOC.

Grâce au calcul des temps de parcours on observe que la côte est bien desservie, mais que les vignes (c.f. fig. 4.2), situées dans les terres, peuvent souffrir d’un manque d’accessibilité.

C’est sur la base de ce paramètre que nous avons confronté le groupe de parcelles qui ont été abandonnées entre 2011 et 2013 à celles qui sont toujours en activité, en utilisant une ANOVA résumée dans le tableau 4.5.

L’hypothèse H_0 considérant qu’il n’y a pas de différence entre les deux groupes de parcelles (parcelles abandonnées contre parcelles encore cultivées) sur la base de l’accessibilité est rejetée. On peut donc dire qu’il y a une corrélation entre la difficulté d’accès, et le fait qu’une parcelles fasse partie d’un groupe ou d’un autre. La figure 4.6(a) laisse apparaître la légère surreprésentation des parcelles les plus éloignées (courbe bleue). Toutefois, ce même test sur les parcelles gagnées à la viticulture n’est pas concluant (c.f. tableau 4.6), ce qui est également net au regard de la figure 4.6(b), où les deux courbes de densité sont

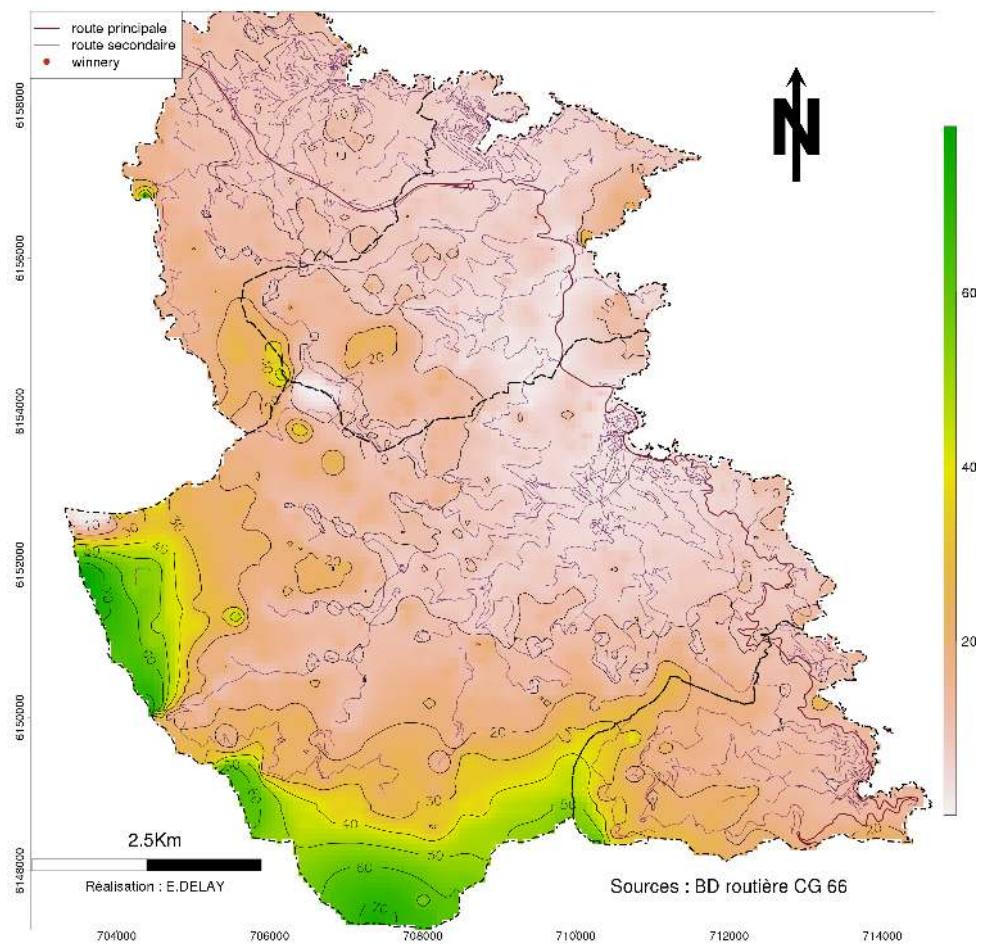


FIGURE 4.5 – Cartographie des temps de parcours sur la Côte Vermeille

	Somme des carrés	dl	Somme moy des carrés	F	p
Intergroupe	9	1	9.1235	0.4503	ns
Résidus	52195	44107	20.2603		
Total	52204	44108			

Tableau 4.6 – Analyse de variance (ANOVA) sur la relation entre les parcelles colonisées par rapport à celles héritées vis-à-vis de leur accessibilité (résultats non significatifs *ns*), c.f. fig. 4.6(b)

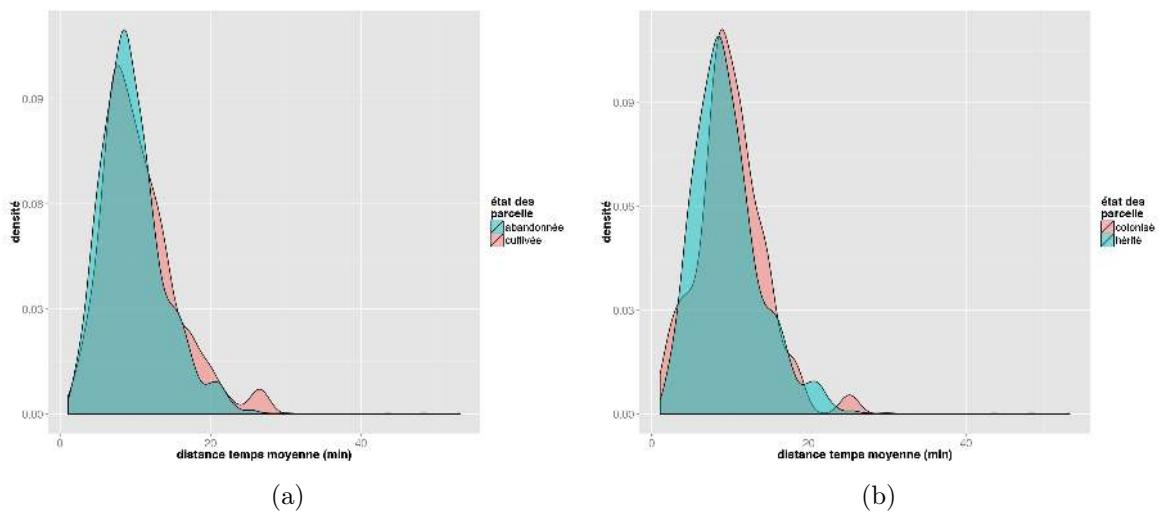


FIGURE 4.6 – Estimation par noyau de l’accessibilité de la population de parcelles viticoles (fig. (a), pour les parcelles abandonnées entre 2011 et 2013) (fig. (b), pour les parcelles colonisées entre 2011 et 2013) sur l’AOC cru Banyuls

quasiment superposées.

On retiendra de ce travail la mise en évidence à l’échelle agrégée de deux paramètres :

- La pente qui va jouer sur les dynamiques d’échange de parcelles entre viticulteurs (c.f. tab. 4.2 et fig. 4.4(a))
- L’accessibilité, quant à elle, sera garante d’un certain maintien de l’activité viticole (c.f. tab. 4.5 et fig. 4.6(a)).

4.1.2 Contexte de la modélisation

Grâce à l’exploration proposée dans la partie précédente (part. 4.1.1), nous avons cherché à définir les règles qui s’appliquent sur ce genre de système pour proposer un contexte de modélisation des dynamiques foncières et paysagères.

Nous avons travaillé sur un monde virtuel pour mettre au point les différentes procédures afin qu’elles soient les plus génériques possibles dans le but de comprendre les phénomènes locaux. Nous avons choisi de travailler sur une zone de $9km^2$, dont les conditions de

	AOC Banyuls-Collioure	<i>val di Cemba</i>
Surface viticole	219ha	4506ha
Altitude médiane	189	780.8
Pente médiane	18.3	26.9
Nombre de viticulteurs	223	NA
Nombre de coopératives	3	1

Tableau 4.7 – valeurs résumées sur la zone de travail ($9km^2$)

simulations se rapprochent des conditions réelles (tab. 4.7, et partie 4.1.3.3 traitant de l’initialisation du modèle).

Une fois les mécanismes formalisés, l’analyse de stabilité est effectuée sur les données spatiales réelles en intégrant les pentes (fig. 4.7(b) et 4.7(d)) au modèle multi-agents.

Nous nous inscrivons dans une démarche individu-centrée (BOMMEL 2009) qui s’oppose à la branche de la simulation en sciences sociales envisageant les macro-phénomènes. Cette dernière va s’intéresser aux comportements d’ensemble en se fondant sur un certain nombre d’hypothèses concernant le comportement individuel des populations étudiées (e.g. hypothèse d’atomicité, d’homogénéité du comportement, de libres circulations de l’information, etc.).

Au contraire, les simulations individu-centrées envisagent les phénomènes globaux comme issus du comportement à plus bas niveau (individuel), plus proche des composants indivisibles du système.

4.1.3 Matériels et Méthodes : ODD

4.1.3.1 Développement du modèle

Objectifs

L’objectif est d’évaluer quelles incidences les contraintes structurales, telles que la pente et l’accessibilité, peuvent avoir sur les dynamiques spatiales locales du paysage viticole. Le parti pris est de réduire au maximum les types d’interactions qui sont mobilisées par les agents pour s’affranchir des effets de virtualisation et d’inhibition des processus à l’oeuvre dans tout système (MORIN 2013) avec pour but de définir une *validité de principe* des variables élémentaires en présence (VARENNE 2011).

Pour comprendre l’incidence des contraintes que nous venons d’évoquer, nous avons réalisé un premier plan d’expérience dans un espace virtuel, qui se verra doté de propriétés génératives simples (THOM 2009). En effet en simplifiant les configurations spatiales de nos contraintes initiales, il devient plus aisé de comprendre les interactions mobilisées. Une fois que ces mécanismes sont identifiés, nous intégrons un espace complexe en introduisant dans le modèle des données issues d’un système d’information géographique. Cette seconde

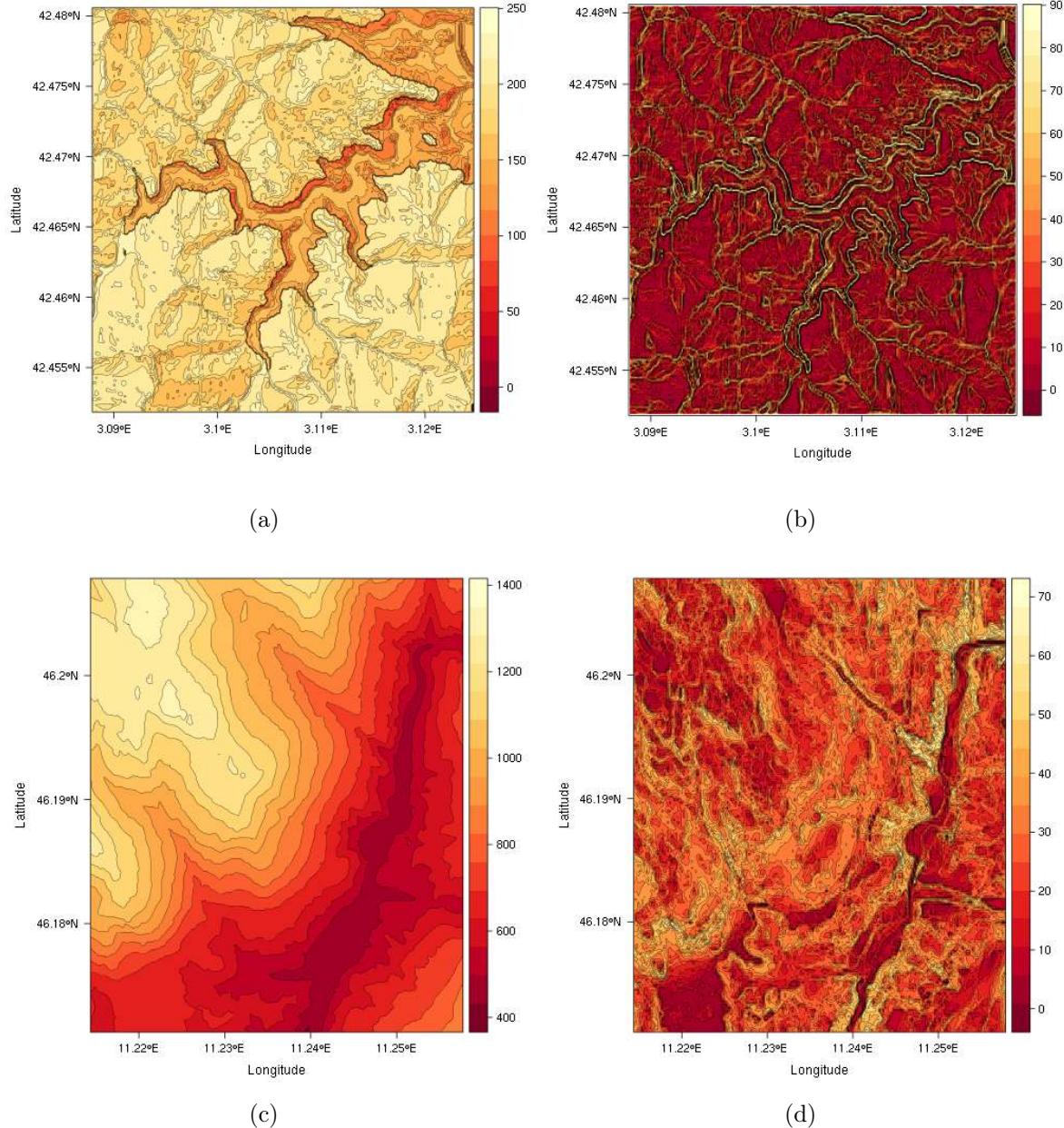


FIGURE 4.7 – Cartes reprenant respectivement les altitudes et les pentes sur les zones de modélisation. (a) et (b) dans le bassin de la Baillaury sur la commune de Banyuls-sur-Mer (Pyrénées orientales, France), (c) et (d) sur la zone de modélisation dans la haute vallée suspendue du Val di Cembra (Trentino, Italie)

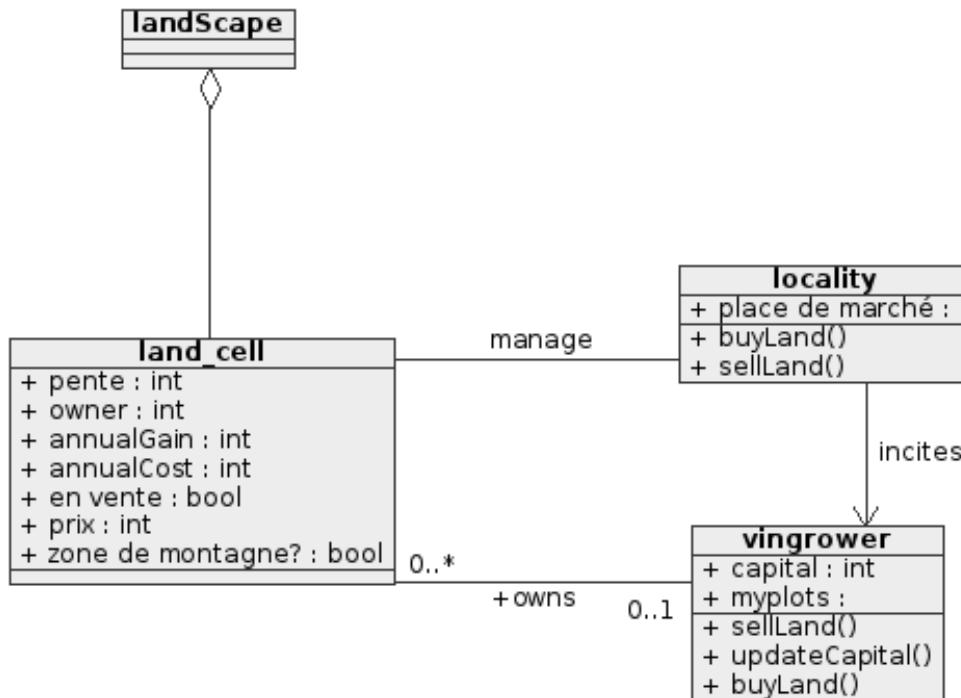


FIGURE 4.8 – Diagramme de classes UML du modèle Lame

phase nous permettra d'évaluer l'importance des interactions intégrées et la distance qui les sépare du système réel.

Entités, variables, et échelle

Les entités : Le modèle LAME est composé de 4 classes d'objets (fig. 4.8) : le paysage (*landScape*), la grille de cellule, où chaque cellule est une parcelle (*patches* de netlogo), le viticulteur (*vingrower*), et le village (*Locality*).

Le paysage est considéré comme l'agrégation de l'ensemble des cellules du modèle. Ces dernières constituent l'unité spatiale élémentaire qui sera viticole ou non. Si elles sont viticoles, elles auront un propriétaire (*owner*). Les coûts de production (*annualCost*) et les gains (*annualGain*) sont calculés à cette échelle.

Le village joue un rôle dans le calcul des coûts de production (cf. part. sous-modèle 4.1.3.3), et constitue aussi la place de marché où sont répertoriées toutes les parcelles mises en vente par les viticulteurs.

La seule entité qui peut être considérée en tant qu'agent est le viticulteur. Il dispose d'un capital et d'un ensemble de parcelles (*myPlots*). Il est capable d'acheter et de vendre des parcelles, mais aussi de mettre à jour son capital. Dans ce modèle, le système est coupé des évolutions économiques du marché. Cette réduction permet de maintenir un comportement économique stable pour les viticulteurs afin de pouvoir nous concentrer sur les dynamiques spatiales.

L'échelle temporelle : Nous nous intéressons ici aux dynamiques paysagères liées à une activité économique de nature agricole, donc basée sur le cycle végétatif de la vigne. Il est donc naturel de considérer l'année comme l'unité temporelle pour une itération.

L'échelle spatiale : L'espace simulé recouvre $9km^2$. Il est constitué de 98 cellules en abscisse et 75 en ordonnée (une cellule représente donc un peu plus de $1000m^2$). Dans ce modèle, une cellule équivaut à une parcelle. Les cartes de la figure 4.7 reprennent les étendues des couches géographiques que nous avons intégrées dans le modèle.

Processus et Ordonnancement

Le modèle est subdivisé en 4 sous-modèles qui seront détaillés dans la partie sous-modèles (4.1.3.3). Ces sous-modèles s'activent soit entre le viticulteur et son environnement, soit entre le viticulteur et la place de marché du foncier (fig. 4.9). On retrouvera :

1. la vente de parcelles sur la place de marché (n° 1) ;
2. la mise à jour du capital du viticulteur en fonction de la récolte et des parcelles vendues (n° 2) ;
3. l'achat par le viticulteur de nouvelles parcelles (n° 3) ;
4. le calcul des besoins en main d'œuvre nécessaires pour cultiver les surfaces individuelles(n° 4).

Le n° 5 (fig. 4.9) représente le moment où le marché foncier fait la liste des parcelles viticoles disponibles.

4.1.3.2 Concepts d'élaboration

Contexte scientifique

Le modèle LAME a été développé pour mettre en évidence les mécanismes qui sous-tendent les dynamiques spatiales des paysages agricoles dans un contexte de montagne. L'objectif est de reproduire par des interactions simples des formes paysagères observables à un haut degré d'abstraction ce qui permet à l'observateur de mettre en évidence des motifs identifiables de manière générique, quel que soit le territoire⁸. Une fois ces mécanismes délimités et formalisés, nous avons spécialisé le modèle pour passer à des questionnements propres à nos territoires d'études. L'ambition est de comprendre le formalisme qui permet d'obtenir les comportements identifiés dans la partie 4.1.1.

Processus de décision

Les seuls choix qui sont laissés aux soins des viticulteurs résident dans les processus d'achat ou de vente de parcelles en fonction de leur capital (c.f. part. 4.1.3.3).

8. Justification par la raison suffisante de Hume in (POPPER 1998).

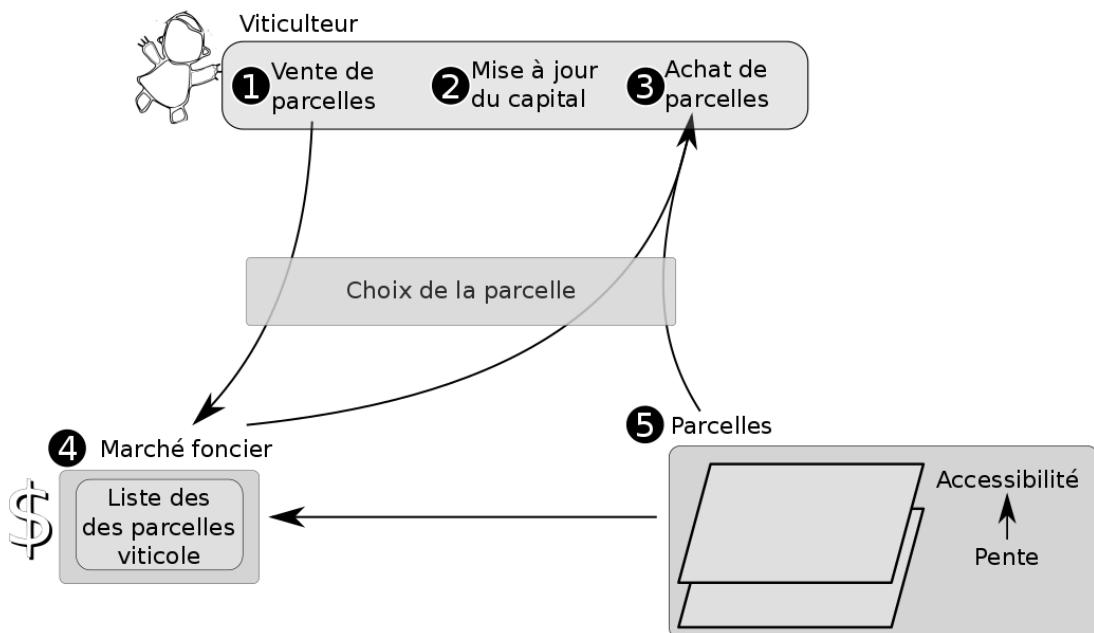


FIGURE 4.9 – Ordonnancement des processus qui entrent en jeu dans LAME

Réflexe aux conditions extérieures

Nos agents viticulteurs sont capables de percevoir leur environnement de manière limitée dans la mesure où leurs décisions d'achat de parcelles vont se faire en fonction de leur connaissance des parcelles colonisables dans leur environnement. En fonction de ces paramètres, ils essayeront de résoudre un ensemble d'interactions qui seront décrites dans la partie 4.1.3.3.

Interaction

Les interactions entre agents viticulteurs sont ici indirectes. Les échanges de parcelles se font par l'intermédiaire « place de marché » dans le village, où toutes les parcelles à céder sont répertoriées pour permettre aux éventuels acheteurs de les acquérir. Cet espace est une zone de transition qui offre aux viticulteurs la possibilité de disposer de fonds en échange de la mise en vente de leurs parcelles (c.f. partie 4.1.3.3).

Hétérogénéité

Dans le modèle LAME, les agents sont très homogènes. Le peu d'hétérogénéité introduite se fait à l'initialisation des agents viticulteurs. En effet, l'aléatoire intervient dans les processus spatiaux, au moment où nous disposons les viticulteurs sur le territoire ,et aussi lorsque sont placés leurs premières parcelles sur le territoire (aléatoirement dans un périmètre restreint autour du viticulteur).

Plus tard durant la modélisation, au moment où les agents viticulteurs doivent choisir

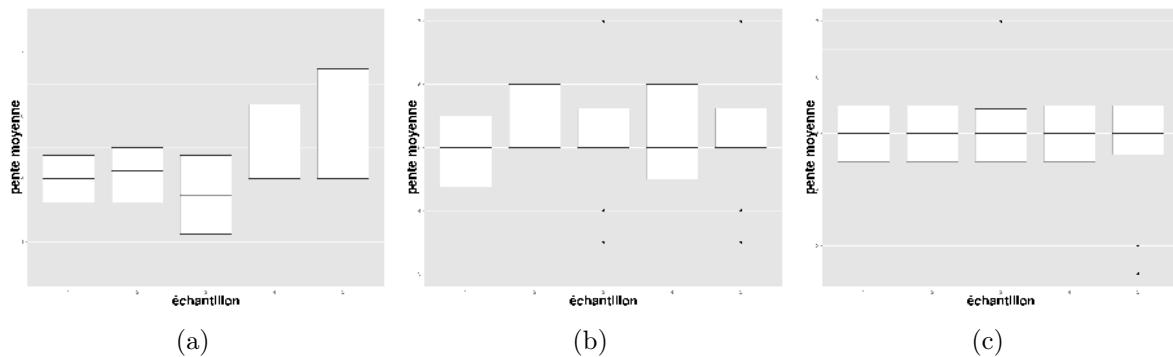


FIGURE 4.10 – Évaluation de la stochasticité des résultats du modèle LAME sur 10 (a), 20 (b) et 30 (c) réplications d'un même jeu de paramètres

une nouvelle parcelle, si plusieurs d'entre elles répondent à leurs critères ils piocheront au hasard parmi celles qui correspondent à leurs besoins. De cette manière nous voulons montrer que les interactions « socio-spatiales » que nous avons formalisées ont une certaine robustesse au comportement aléatoire vis-à-vis de l'espace.

Stochastique

Nous évaluons la stochasticité du modèle en tirant parmi 1000 simulations d'un même jeu de paramètres 10 (fig. 4.10(a)), 20 (b), 30 (c) simulations afin d'évaluer le nombre de réplications de chaque jeu de paramètres que nous devrons effectuer. Il semble que 30 simulations (c.f. fig. 4.10(c)) permettent une stabilisation de la variance intergroupe, mais également une stabilisation de la médiane.

Observations

Nous avons exploré le poids des contraintes de pente et de distance sur les processus de choix des parcelles. Ces deux contraintes qui influent le processus de choix (c.f. calcul des coûts de production par exemple avec l'équation 4.1 dans la partie 4.1.3.3) seront toutes les deux testées entre 0 et 100, par pas de 10.

Pour tester la sensibilité du modèle, nous avons répété chaque paramétrisation de simulation 20 fois sur 50 itérations⁹.

Nous observerons tout au long des simulations :

- le nombre de viticulteurs encore en activité
- le nombre de ceux qui n'ont pas réussi à se maintenir économiquement
- le nombre de parcelles viticoles
- l'indice de Gini

9. Les 50 itérations n'ont pas forcément beaucoup de sens d'un point de vue temporel. Comme ici l'objectif est de comprendre les mécanismes qui se mettent en place, le temps qui passe permet simplement à l'observateur d'étudier et comprendre ces dynamiques.

variable	description	valeurs
NbVinegrower	Nombre de viticulteurs	300
InitialCapital	Capital de départ des viticulteurs	5000
prix_kg	Prix du raisin au kg	1.5
rendement_hl/ha	Rendement en hectolitre/ha	2600
cout_ha	Coût de production fixe par ha	2300
FrontPrice	Prix du front pionnier	33000
reserveSellPrice	Prix d'achat des parcelles d'occasion	17000

Tableau 4.8 – Valeurs d’initialisation du modèle

- la proportion de viticulteurs en contexte de pente
- le nombre de parcelles viticoles

En fin de simulation, nous enregistrons également toutes les valeurs de pente et les distances au village des parcelles cultivées pour en comprendre leur fonctionnement spatial individuel et collectif, vis-à-vis de ces caractéristiques.

Au total ce sont donc 8920 simulations qui auront été lancées sur le cluster CALI¹⁰ par l’intermédiaire d’openMOLE 1.0 (REUILLO, LECLAIRE *et al.* 2013).

4.1.3.3 Détails

Variables d’initialisation

L’initialisation du modèle va dépendre de l’exploration des paramètres que nous allons réaliser. Vous retrouvez dans le tableau 4.8 l’ensemble des variables¹¹ que nous définissons à l’initialisation.

Variables de forçage

Nous n’utilisons pas de variables de forçage une fois le modèle lancé.

Sous modèles

L’ensemble des sous-modèles qui se succèdent lors de la procédure de résolution de l’itération est réalisé par les agents viticulteurs. Ils sont au nombre de 4 :

Vente d’une parcelle : L’agent va évaluer combien lui coûte sa production sur l’ensemble de ses parcelles. Si son capital n’est pas capable de couvrir ce coût total, il va tenter d’abandonner une parcelle. S’il n’a plus aucune parcelle, il cesse d’être viticulteur.

10. CALI (CAlcul en LImousin) est un serveur de calcul, financé par la Région Limousin, les laboratoires XLIM, SPCTS et GEIST, et par l’Université de Limoges.

11. Si la colonne valeur du tableau contient deux nombres, ces derniers représentent les deux bornes de la zone d’exploration que nous avons prospectée.

Au contraire s'il lui en reste, il va sélectionner la parcelle qui a les coûts de production les plus élevés et la mettre en vente sur la place publique du village.

Son capital va immédiatement être mis à jour tandis que la parcelle abandonnée va être inscrite dans une liste des parcelles d'occasion.

Mise à jour du capital : Il s'agit de faire la somme des coûts de production et des gains de chaque parcelle : si le viticulteur a des employés, la mise à jour du capital les prend en compte (les employés prennent la forme de variables "agent", nous y reviendrons plus tard).

Acheter une parcelle : l'agent va prendre connaissance de l'ensemble des parcelles déjà viticoles disponibles dans le système. Mais il va également visualiser s'il y a des parcelles disponibles non encore viticoles proches des siennes.

Avec ces deux informations, le viticulteur va choisir la parcelle avec les coûts de production les plus faibles. Si son capital est supérieur à ses coûts de production actuels, auxquels s'ajoutent les coûts de production de la nouvelle parcelle, alors le viticulteur achète la parcelle. Toutefois, celle-ci ne sera productive qu'au bout de 5 ans pendant lesquels le viticulteur devra assumer les coûts de production. C'est pourquoi, afin de savoir si le viticulteur possède les capitaux suffisants pour assumer son achat, nous multiplions par 5 les coûts de production de cette nouvelle parcelle.

Il est alors en mesure de renseigner pour cette nouvelle parcelle le coût de production associé, qui est de la forme :

$$Cp = \alpha * D + \beta * S + Cf \quad (4.1)$$

où :

- α et β sont des coefficients qui vont accentuer les coûts de production ;
- D représente la distance qui sépare la parcelle du village ;
- S caractérise la pente sur la parcelle ;
- Cf permet d'intégrer une partie de coûts fixes par parcelle, liés à l'entretien annuel.

Mise à jour de la main d'œuvre : Pour cultiver leurs parcelles, les viticulteurs doivent mobiliser une force de travail. Nous avons empiriquement défini celle-ci telle que :

$$Mo = \frac{n_p}{Ct} \quad (4.2)$$

avec :

$$Ct = \frac{1}{\frac{\text{pente}}{100}} \quad (4.3)$$

où :

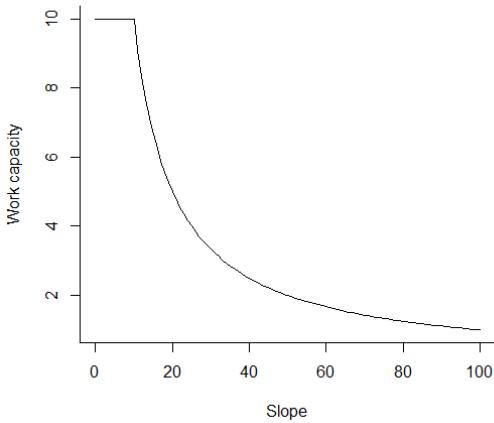


FIGURE 4.11 – Capacité de travail d'un Homme en ha en fonction de la pente en %

- n_p est le nombre de parcelles du viticulteur
- Ct la capacité de travail exprimée en unité surfacique. Elle permet d'évaluer la surface qu'un Homme est capable de cultiver par an en fonction de la pente moyenne de son exploitation.
- Mo la main d'œuvre nécessaire pour entretenir l'exploitation.

La figure 4.11 nous permet d'observer le résultat du calcul de Ct . Quand la pente est de 0%, un Homme est capable de cultiver 10 ha, tandis que si la pente est de 45% il ne sera en mesure d'en cultiver que 2ha.

4.1.4 Résultats

4.1.4.1 Calibration et exploration : espace abstrait, espace physique

De l'abstrait...

Nous nous intéressons ici au comportement du système vis-à-vis des contraintes de pente et de distance dans l'espace abstrait, pour en comprendre les interactions. Nous nous concentrons là sur deux variables qui sont bien identifiées sur le terrain : la pente médiane des parcelles viticoles et la proportion de surface viticole.

Les graphiques de la figure 4.12 représentent l'état du système après 50 itérations pour les variables de pente moyenne 4.12(a) et de couverture du sol en vigne 4.12(b). On observe donc à $t+50$ les effets des différentes valeurs de α (pour le coefficient de distance, où chaque valeur est représentée par un graphe) et β (pour le coefficient de pente sur l'axe d'abscisse de chaque graphique) sur le système.

On constate que l'augmentation croisée de ces deux facteurs d'ajustement des coûts de production réduit la pente médiane des parcelles (fig. 4.12(a)), tout comme les surfaces

viticoles en général (fig. 4.12(b)).

Dans la même dynamique, l'accroissement conjoint de ces deux facteurs impose également une baisse du nombre de viticulteurs qui peuvent pratiquer leur activité en contexte de pente.

... au concret

En intégrant maintenant les contraintes de pente et de distance issues des données SIG, nous sommes capables d'explorer les mêmes gammes de paramètres, pour produire les graphes de la figure 4.13.

Sans surprise, l'augmentation du coefficient jouant sur la pente réduit la pente moyenne du vignoble (fig. 4.13(a)), mais on peut noter que les données réelles introduisent une discontinuité dans son évolution. A l'évidence donc, l'hétérogénéité spatiale que nous avons introduite avec les données SIG induit ce saut (négatif) entre le passage de la non-prise en compte de la pente dans le calcul des coûts de production (β égal à 0) à l'introduction d'un coefficient de 10.

En considérant maintenant la figure 4.13(b) on remarque que pour les mêmes valeurs évoquées précédemment, le résultat des simulations pour l'occupation du sol fait un saut (cette fois positif). De manière contre-intuitive l'introduction d'une contrainte de pente stimule l'extension du vignoble (en abscisse entre la valeur 0 et 10), tandis que son augmentation produit la décroissance des surfaces.

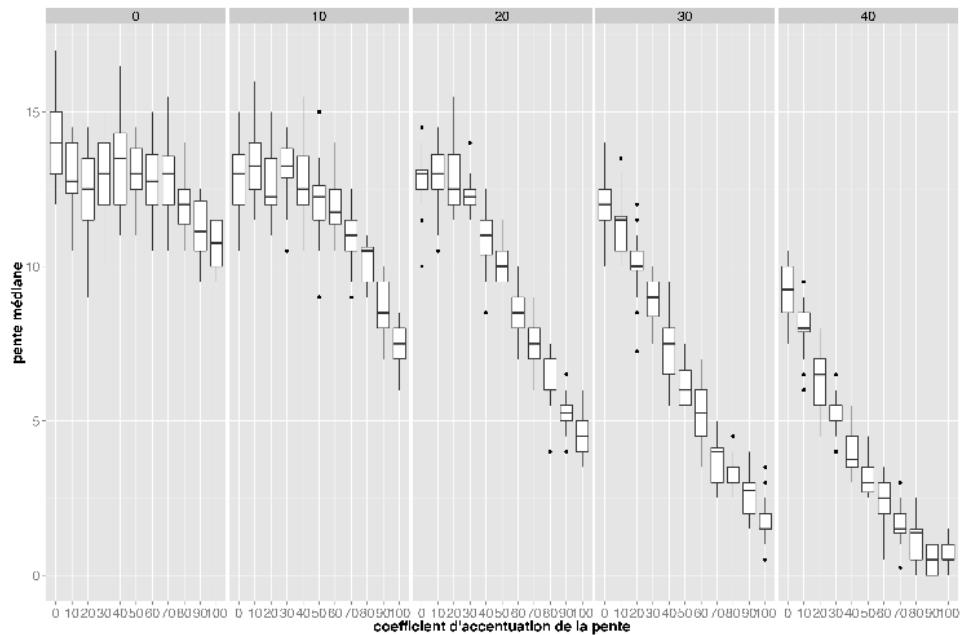
La prise en compte dans le calcul des coûts de production, et notamment du surcoût lié à la pente, met en évidence le phénomène de virtualisation-inhibition décrit par MORIN (2013). Quand le viticulteur doit choisir une nouvelle parcelle, il prend en compte le facteur pente à travers les coûts de production. Si ces coûts de production sont égaux à 0, mais que le viticulteur a besoin de main d'œuvre, la rémunération de celle-ci produit une distorsion économique. Autrement dit, le saut économique que nécessite le salariat n'est pas facile à amortir. Ce phénomène n'est pas visible dans le contexte abstrait en raison d'une surface « plane » plus conséquente induisant une croissance des surfaces viticoles qui masque ce phénomène.

De manière empirique, et en nous fondant sur l'échelle de travail que nous avons définie dans la partie 4.1.2, nous savons que la surface viticole représente 24% de notre zone d'étude¹². Nous allons donc nous intéresser aux configurations qui permettent d'approcher¹³ ou d'atteindre¹⁴ ce ratio, pour explorer le second indicateur qui nous a semblé intéressant pour valider la pondération de α et β , c'est à dire la « *la zone d'échange* » des parcelles.

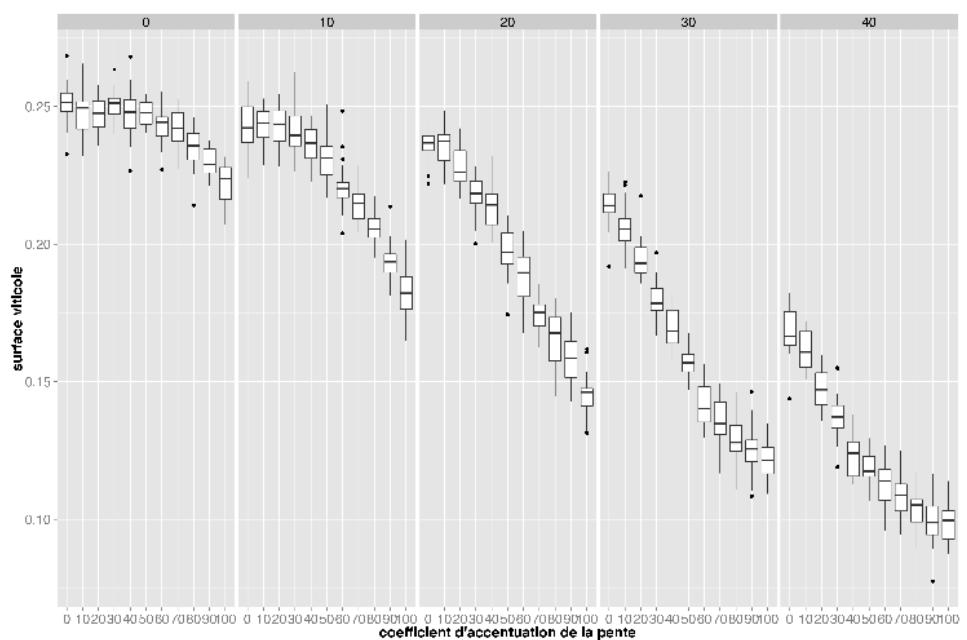
12. Une zone d'étude $9km^2$ et $2.19km^2$ de surface viticole.

13. Dans le cas de données réelles fig. 4.13.

14. Dans le cas de données abstraites fig. 4.12.



(a)



(b)

FIGURE 4.12 – Graphiques en boîte à moustache reprenant la pente médiane des parcelles viticole (a), et la surface viticole (b) dans une espace abstrait.

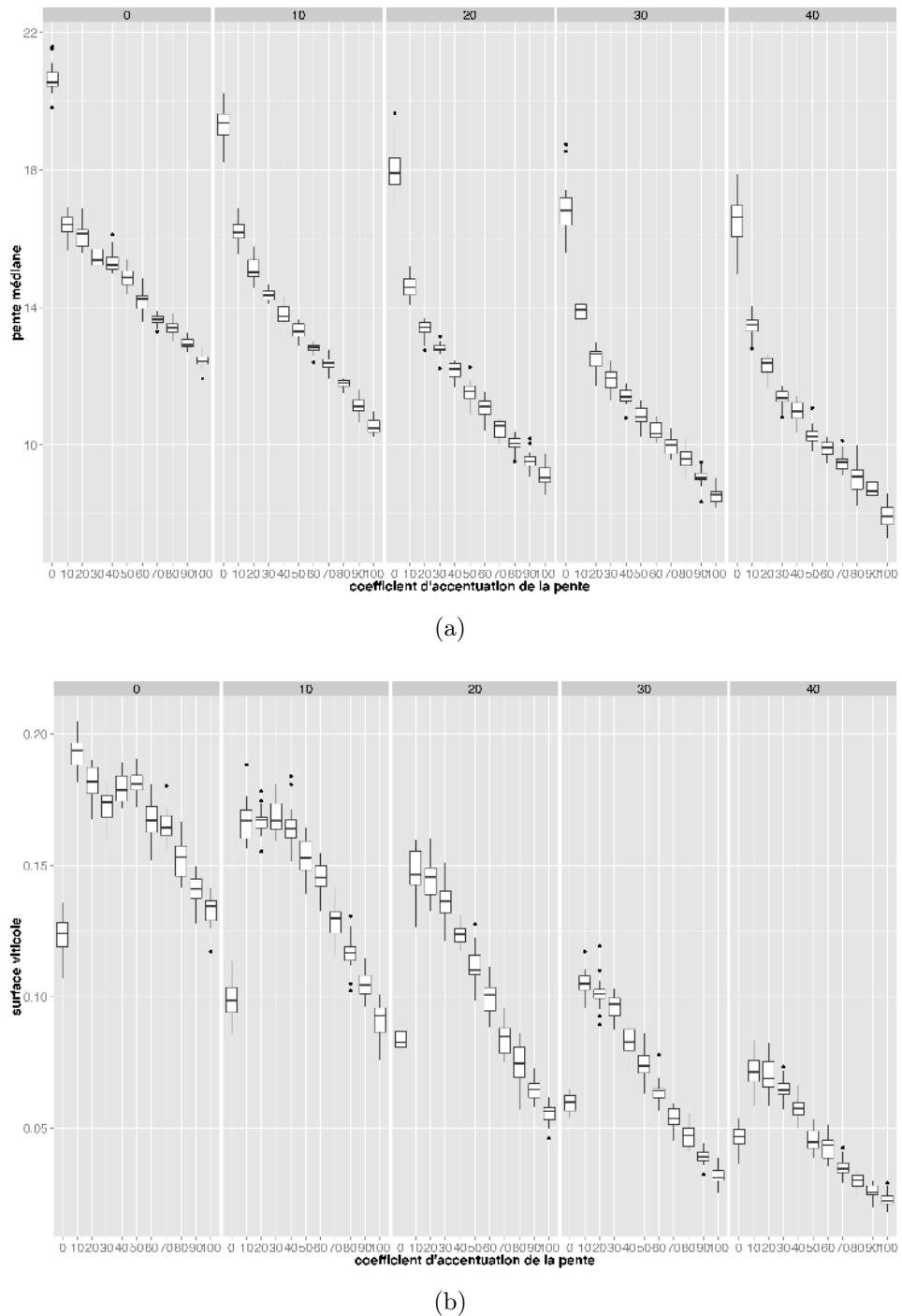


FIGURE 4.13 – Graphiques en boîte à moustache reprenant la pente médiane des parcelles viticoles (a), et la surface viticole (b) dans un espace réel.

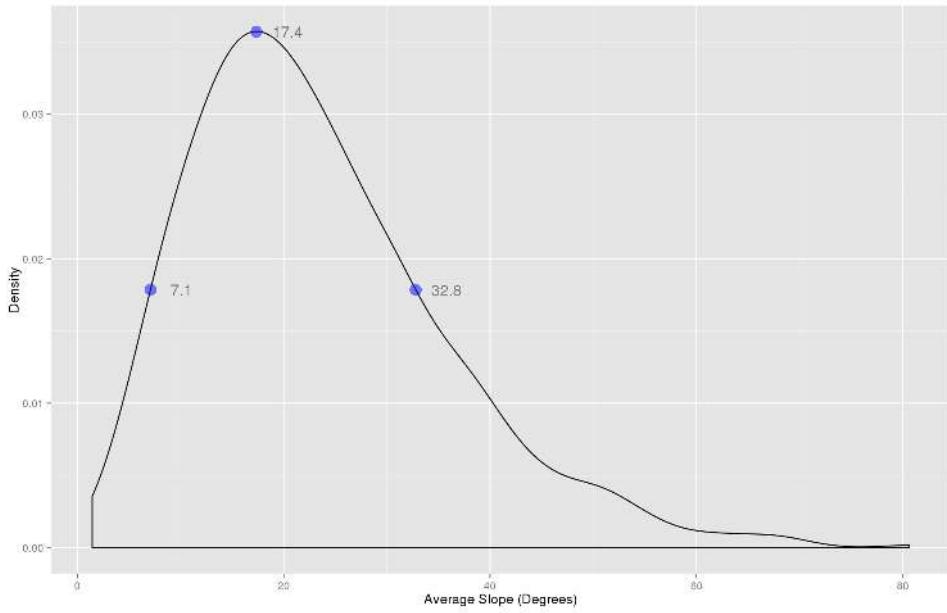


FIGURE 4.14 – Courbe de densité sur les pentes des parcelles échangées avec la délimitation de l'intervalle FWHM

En nous reportant à la figure 4.12(b) on peut voir que les surfaces viticoles atteignent ces valeurs dans des configurations incluant un α entre 0 et 20, et pour des valeurs de β (pour l'accentuation de la pente) comprises entre 0 et 90 en fonction des configurations de α .

Le travail sur les données réelles (fig. 4.13(b)) nous permet de resserrer la fenêtre d'exploration pour un α sur l'intervalle 0 – 10, et un $\beta > 0$ mais inférieur à 40. On se place ainsi dans des configurations qui maximisent les résultats pour les valeurs de pente moyenne des parcelles viticoles, et de superficie viticole, sans pour autant atteindre les valeurs réelles (c.f. tab. 4.7).

On se souviendra que nous avons établi une corrélation entre la pente et les parcelles échangées (c.f. tab. 4.2). Rappelons également que le pic de la courbe de densité sur la figure 4.4(a) est centré sur 17.4 degrés . Le calcul de la FWHM¹⁵ donne l'amplitude de la fonction asymétrique ainsi que ses bornes. Nous allons donc explorer les dynamiques qui tendent l'échange des parcelles vers une réponse au moins partielle au motif de la figure 4.14 (intervalle entre les bornes comprises entre 7.1 et 32.8 degrés, un FWHM de 25.7111, ou peut être un max proche de 17.4 degrés).

La figure 4.15 représente le comportement d'échanges de parcelles selon les configurations simulées dans un monde abstrait (a) et dans le monde dans lequel nous avons intro-

15. Une largeur à mi-hauteur, sous-entendu du maximum du pic (ou LMH, acronyme rarement utilisé), en anglais *full width at half maximum* abrégé en FWHM, est une expression de l'amplitude d'une fonction, donnée par la différence entre les deux valeurs extrêmes de la variable indépendante pour lesquelles la variable dépendante est égale à la moitié de sa valeur maximale. Source : Wikipedia.

duit des données SIG (b). En s'intéressant aux graphes de la figure 4.15(a) on constate que si aucune contrainte de surcoûts ne s'applique sur le modèle, la majorité des parcelles qui sont échangées le sont dans des pentes autour de 40 degrés. Le coefficient α qui joue sur le surcoût lié à la distance a donc tendance à ramener le pic des parcelles échangées en direction de l'origine des graphiques, les pentes étant à l'opposé du point d'origine du calcul des coûts.

La première chose que l'on peut observer est l'inadéquation entre les paramètres de la courbe construite à partir des données réelles (en gris sur les différents graphiques de la figure 4.15).

On retrouve le *pattern* des données réelles en poussant les coefficients dans des configurations plus extrêmes, par exemple avec un α à 50 et un β à 60, mais c'est la contrainte fixée par les surfaces viticoles (c.f. fig 4.12(b)) qui n'est plus remplie : sa valeur tombant alors en dessous de 5%.

Chaque graphe de la figure 4.15(b) correspond à une valeur de paramétrage de β (α étant fixé à 10). Les courbes de densité sont dans ce cas-là bien plus proches de données réelles avec le pic de densité très proche de 20. On peut noter que la variation du coefficient multiplicateur de pente ne fait pas varier la valeur de ce pic, mais sa densité. Pour chacune de ces paramétrisations du modèle, nous générerons une FWHM de 25.7193¹⁶.

A ce stade, il nous semble légitime de proposer un jeu de configurations qui offre la possibilité de conserver les ordres de grandeur pour les valeurs de surfaces viticoles et les pentes des parcelles échangées. On peut proposer pour α et β une valeur de 10 quand les simulations se déroulent dans un espace SIG. Si l'on souhaite rester dans l'abstraction, α pourra être conservé à 10, mais β sera compris entre 60 et 90.

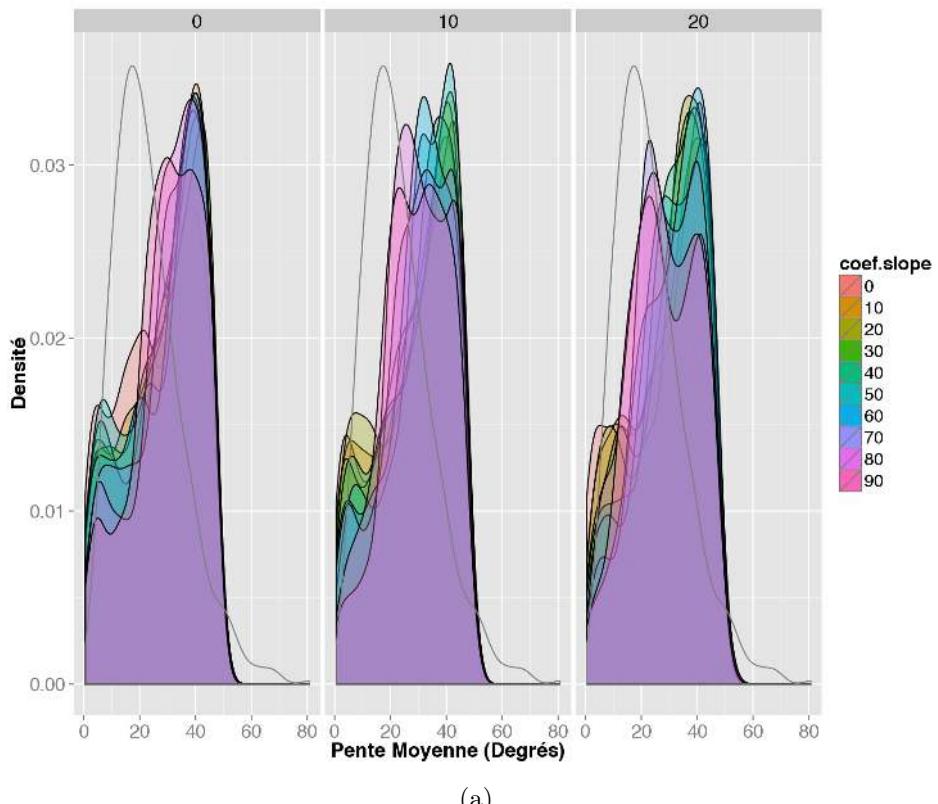
4.1.4.2 Résultats prospectifs : la montagne entre attraction et répulsion

Nous proposons ici de nous concentrer sur les figures issues du monde abstrait. En effet les résultats des simulations intégrant des données SIG montrent les mêmes tendances tout en étant moins caricaturaux en raison de la complexité spatiale introduite.

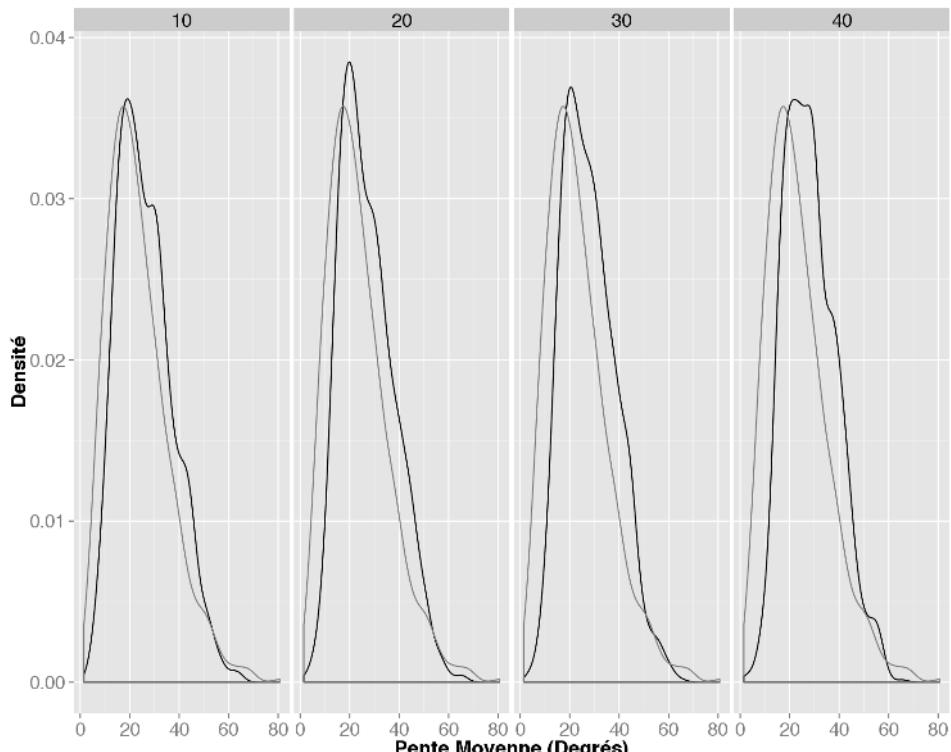
L'aspect social : répulsif de la montagne

La figure 4.16 met en parallèle le capital des viticulteurs au cours du temps en fonction de leur situation géographique. On constate une large différence entre les viticulteurs profitant des conditions de culture de la plaine (noir) et ceux dans un contexte de pentes (gris).

16. La valeur pour les données réelles étant de 25.7111, on a besoin de descendre à 3 chiffres significatifs pour différencier les deux intervalles.



(a)



(b)

FIGURE 4.15 – Courbe de densité des pentes moyennes pour les parcelles échangées durant les simulations dans un contexte abstrait (a) et dans un contexte SIG (b)

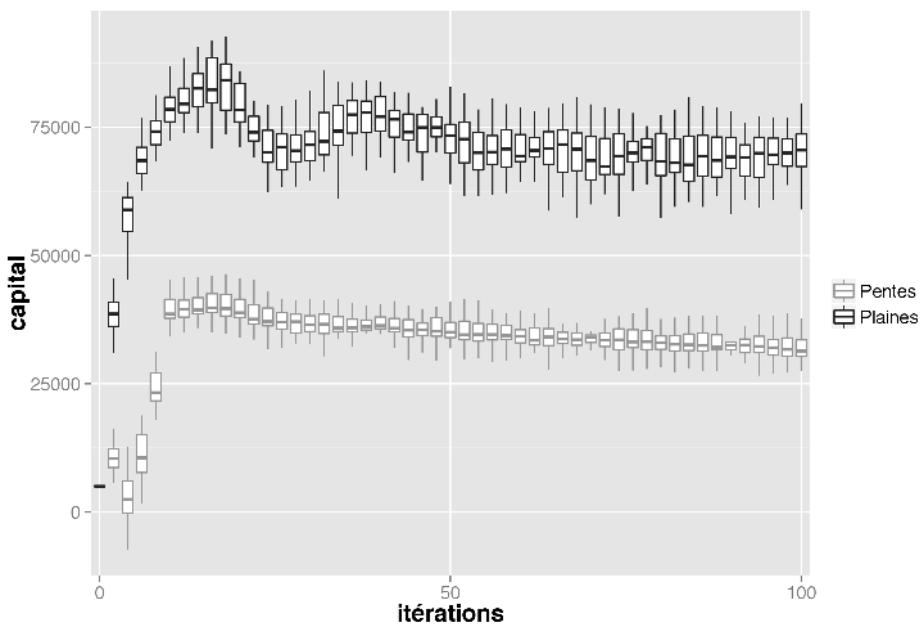


FIGURE 4.16 – Répartition du capital entre les viticulteurs de plaine et de pentes (avec $\beta = 60$)

Si effectivement les exploitations de plaine ont des revenus plus hauts, on peut noter une variance supérieure quelle que soit l’itération considérée par rapport aux exploitations de montagne. Cela montre que les inégalités en terme de revenu sont plus fortes en plaine qu’en montagne.

La montagne fragmente les exploitations

Si l’on s’intéresse ensuite à la structuration du paysage engendrée par la pente, on peut constater (fig. 4.17) de même une différenciation induite par le contexte orographique et accentuée par le facteur β (surcoût lié à la pente). On peut également observer l’effet du temps (*itérations*) sur ces dynamiques : ce dernier ayant tendance à favoriser cette différenciation.

La montagne, le faire-valoir des riches

En dernier lieu, nous avons mis en regard sur la figure 4.18, plusieurs indicateurs. Nous notons que les surfaces viticoles, après avoir diminuées, arrivent à se stabiliser dans « une zone de confort » et tendent vers une limite finie autour de 25% du territoire (courbe n° 3).

Le nombre de viticulteurs en contexte de pente (courbe n° 1), bien qu’ayant lui aussi subi des variations dans le temps, a tendance à se stabiliser autour de 75% de la population active. Ce chiffre est contre-balancé par la dernière donnée lisible sur ce graphe (courbe n° 2) représentant la proportion de viticulteurs qui n’a pas réussi à se maintenir dans le

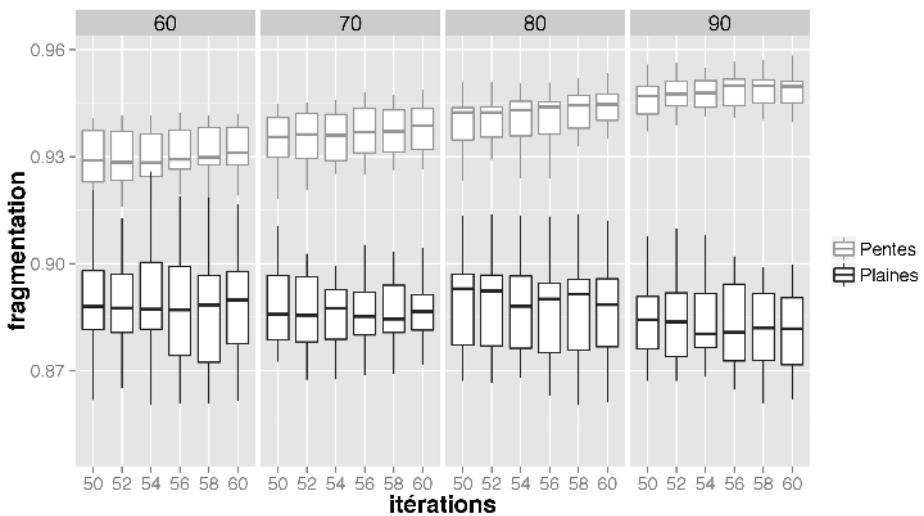


FIGURE 4.17 – Fragmentation des exploitations selon leurs lieux d’implantation en plaine ou en montagne

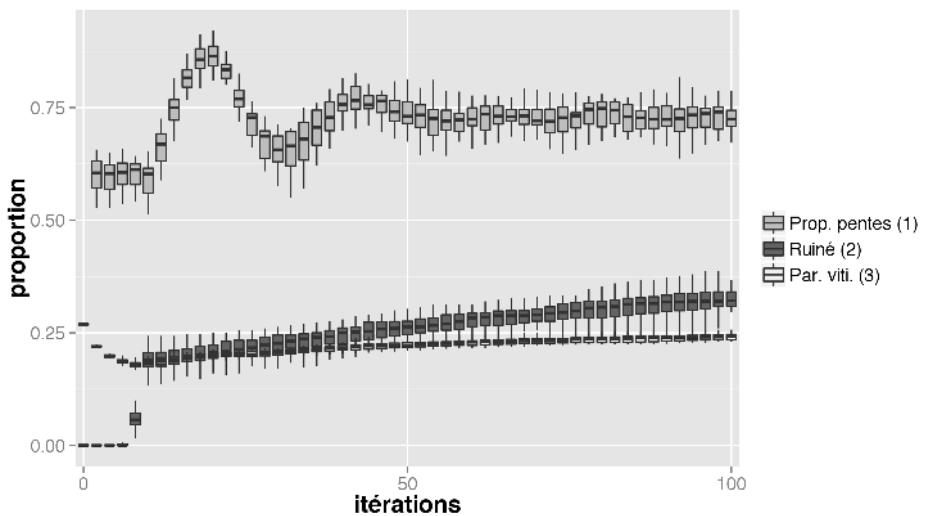


FIGURE 4.18 – Évolution de la population de viticulteurs ruinés, proportion des viticul- teurs en activité ayant leur exploitation sur des zones de pentes, et surface viticole totale dans le modèle au cours du temps dans un espace abstrait.

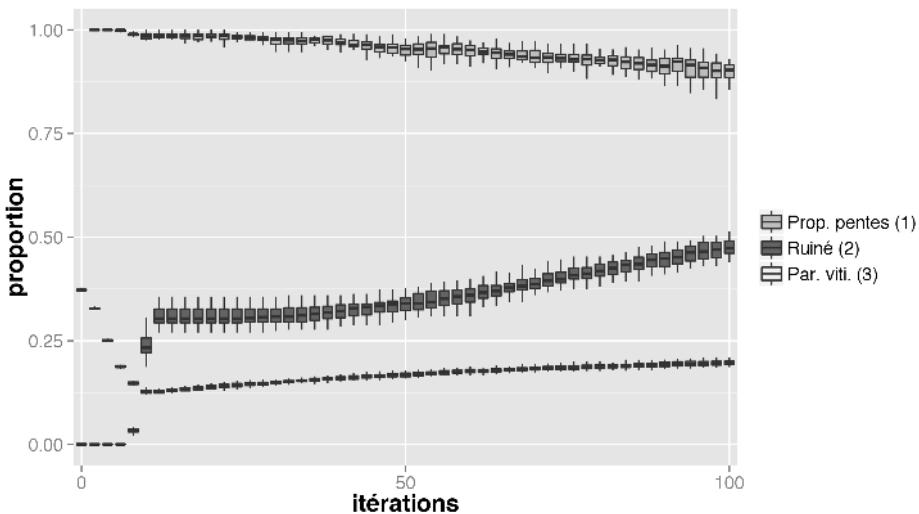


FIGURE 4.19 – Évolution de la population de viticulteurs ruinés, proportion des viticulteurs en activité qui ont leur exploitation sur des zones de pentes, et surface viticole totale dans le modèle au cours du temps dans un espace SIG

temps.

Prospective et données réelles

L'espace sur lequel nous travaillons avec des données SIG ne permet pas de faire émerger aussi clairement les comportements que nous identifions dans l'espace abstrait (c.f. fig. 4.16 et 4.17). L'espace défini comme plat dans les données SIG est bien trop réduit pour pouvoir faire émerger une discréétisation sur ce simple critère. L'absence des *patterns* que nous venons d'identifier précédemment ne se retrouve pas sur les figures 4.18 et 4.19.

En effet, sur la figure 4.19 on ne distingue pas le replis de la vigne dans les zones plates alors que ce phénomène est bien visible après 20 itérations dans le monde abstrait (c.f. fig 4.18). Par contre, l'effet de l'augmentation du nombre de viticulteurs ruinés (courbe n° 2) sur l'évolution des surfaces viticoles en montagne (courbe n° 1) est elle, identifiable.

4.1.5 Discussions

Notre objectif avec ce modèle est de chercher, à partir d'un formalisme simple, quelles sont les contraintes qui pèsent sur le système, mais également dans quelle mesure elles sont suffisantes pour commencer à circonscrire les dynamiques globales en action dans le monde réel.

4.1.5.1 Quels paysages face aux contraintes ?

La première partie de ces résultats montre l'importance des contraintes de distance et de pente (fig. 4.12 et fig. 4.13). L'approche parallèle entre des données issues du monde abstrait et celles issues du monde réel valide le formalisme des interactions que nous avions développé. On constate également que le monde réel, du fait de l'hétérogénéité spatiale dans la distribution des variables environnementales, renforce et accentue le poids de la pente dans les rapports socio-spatiaux qui sont mobilisés par les agents viticulteurs.

La coévolution d'un espace abstrait et d'un espace concret nous permet de dépasser les limites inhérentes aux conditions initiales. L'abstraction que nous avons développée se heurte à des problèmes de validation des comportements par des données tandis que le travail est facilité au moment du passage de l'abstrait au réel (fig. 4.15).

En considérant les interactions telles qu'elles sont formalisées dans ce modèle, on retrouve des comportements déjà largement décrits selon lesquels la pente et l'accès jouent un rôle dans le recul de la viticulture (HINNEWINKEL 2003 ; BREGON et E. DELAY 2009). En l'état, les surfaces viticoles (fig. 4.12(b) et 4.13(b)) ont du mal à atteindre les valeurs réelles. Le nombre de viticulteurs en activité n'arrive pas à se stabiliser sur le temps long (fig. 4.18 et 4.19). Malgré cela, nous avons été capables de formaliser les interactions de manière suffisamment précise pour produire des comportements proches de la réalité en particulier en ce qui concerne les dynamiques d'échanges foncières. La figure 4.15 ainsi que la valeur du FWHM simulé l'attestent également.

On peut dire que la pente joue un rôle généralement plus important que l'accessibilité dans le choix d'une parcelle (le coefficient β qu'on lui applique est généralement plus important que celui de la distance), mais l'intensité de ce rôle est largement dépendant du système initial (en particulier de l'espace dans lequel se jouent les simulations) ainsi que des objectifs des viticulteurs.

4.1.5.2 Pente et distance : contraintes ou opportunité ?

Une fois la « zone de validité » du modèle délimitée, nous avons exploré les résultats prospectifs qui peuvent être envisagés. Si nous considérons que les 50 premières itérations servent à installer le modèle, on peut alors envisager d'examiner le modèle sur les 50 itérations suivantes pour en saisir les dynamiques.

On peut observer (fig. 4.16) que le capital moyen des viticulteurs en zone de pente est inférieur à celui des viticulteurs en zone de montagne, mais également qu'il a tendance à décroître. Cette décroissance reflète un appauvrissement général des viticulteurs qui doivent faire face à des conditions structurales plus difficiles. Cette diminution du capital moyen entraîne également une diminution du nombre de viticulteurs en zone de montagne.

La disparition d'une portion de la population viticole et le mécanisme de mise en vente

de parcelles favorisent une appropriation du territoire par des viticulteurs plus fortunés locaux ou étrangers (généralement situés plus bas sur le gradient de pente et de distance au village).

C'est un mécanisme assez bien identifié sur le cru Banyuls et sur le *val di Cembra* qui accueillent tour à tour des comportements locaux tels qu'ils sont décrits, mais également des capitaux extérieurs à la zone¹⁷. Les logiques sous-jacentes de ces « investisseurs » ne sont bien évidemment pas les mêmes que celles des viticulteurs locaux. Ces investisseurs misent davantage sur la qualité des parcelles sans prendre en compte les contraintes d'accessibilité ou de pente car leur activité ne dépend pas de ces vignobles.

La fragmentation des exploitations, particulièrement visible dans la zone de montagne où la contrainte de pente et d'accès joue à plein régime (c.f. fig. 4.17), est largement liée à ce mécanisme d'achat et de vente de parcelles. L'espace économiquement viable (limite supérieure de la courbe rouge sur la fig. 4.18) n'est pas extensible. Il devient donc une ressource limitée. Le déterminisme local influence donc la structure même des exploitations. Celles qui se situent en fond de vallée, même si elles obéissent aux mêmes mécanismes que les exploitations de viticulteurs en montagne, ont une plus grande tendance à s'étendre autour des parcelles qu'elles cultivent déjà, ce qui tend à produire un certain *clustering* dans la zone de plaine ainsi qu'une fragmentation dans les zones de pente (c.f. l'opposition des paysage entre 1.10(b) et 1.11(a)).

Enfin la proportion de viticulteurs qui n'ont pas réussi à maintenir leur activité est représentée par une courbe qui a tendance à croître sur la période observée (fig. 4.18 et 4.19), alors que dans le même temps, les surfaces viticoles ne diminuent pas (et tendent à se stabiliser (courbe n° 3) dans les configurations d'un monde abstrait). Cela traduit une extension de la taille des exploitations restantes qui petit à petit absorbent les parcelles délaissées par leurs voisins. Ce phénomène est corroboré par la courbe n° 1 (fig. 4.18 et 4.19), reprenant la proportion des exploitations viticoles en situation de montagne, et mettant en évidence une certaine stabilité.

Ce mécanisme exprime une propension des exploitations de plaine à investir sur des parcelles de pente déjà installées en vigne (en limitant le surcoût lié à l'installation) en assumant les surcoûts inhérents à la pente ou à l'éloignement ; ces surcoûts étant amortis par une assiette économique stabilisée par les revenus de parcelles de plaine.

Conclusion prospective

Le fait d'inscrire la construction de ce modèle dans une démarche inductive nous a obligé à de nombreux aller-retour entre les observations de terrain, les analyses de données et la

17. Sur Banyuls c'est le cas du négociant rhodanien M. Chapoutier, et dans le *val di Cembra* de la *cantina di Ferrari*.

formalisation des interactions. Même si ce modèle est plus proche de la démarche *KISS* que *KIDS* (EDMONDS et MOSS 2005) et que les interactions modélisées restent sommaires, elles permettent d'approcher des comportements très bien identifiés sur les territoires qui nous occupent.

Si dans le chapitre 3 les agents choisissaient l'orientation de leur développement spatial en fonction du marché et des conditions locales, dans le modèle LAME nous montrons l'importance des conditions locales dans le choix des viticulteurs. En effet, que ce soit pour Banyuls ou sur le *Val di cembra*, il semble que le contexte socio-spatial des parcelles soit important et que les viticulteurs procèdent par essai/erreur dans le cas des parcelles de pente. Ils ont effectivement tendance à investir sur ce type de parcelles quand les opportunités économiques le permettent, mais les remettent « en jeu » en premier quand les conditions individuelles sont moins favorables.

Nous montrons également que deux types d'exploitations viticoles persistent en situation de pente : de petites ou très petites exploitations et de très grosses, en sachant que plus les conditions structurales sont difficiles, plus les petites exploitations ont tendance à disparaître. Les très grosses, elles, se maintiennent grâce à des parcelles plus rentables en plaine, augurant alors un modèle hybride de valorisation de la production où la plaine (productive) permet de faire des vins de masse et la montagne (plus qualitative, mobilisant des coûts de production supérieurs) produirait des vins de niche. Dans cette configuration les premiers permettent aux seconds d'exister dans une exploitation individuelle.

Dans ce travail, le marché qui occupait une place centrale dans l'organisation des territoires dans le chapitre 3, est complètement virtualisé. Cette simplification manifeste sera exportée par le suite (c.f. partie 4.2 et également avec la partie 5.1), mais on peut d'ores et déjà noter que la recherche de qualité qui était dans les modèles précédant une caractéristique des agents, n'est pas une condition nécessaire pour reproduire les dynamiques à cette échelle sociale et spatiale.

4.2 Le modèle CIVIsMe : la montagne, un espace de coopération

Le modèle *CIVIsMe*

Échelle spatiale : modèle pensé à l'échelle de la commune

Agents : sont mobilisés dans ce modèle une grille de cellules, un village, une coopérative, une population de viticulteur

Question(s) :

- Quels sont les effets sur les populations locales de l'introduction d'une coopérative leur permettant de partager un outil de production et de commercialisation ?
- La coopérative en temps qu'agent influence les viticulteurs coopérateurs. Ses contraintes sont-elles une protection de l'outil de production, ou un verrou au développement ?
- Le contexte coopératif n'est pas le même sur tous les territoires viticoles : en quoi ces différences peuvent-elles être approchées par des variables et que nous apprennent-elles sur les territoires eux-mêmes ?

Le modèle CIVIsMe s'appuie sur les interactions et les conclusions apportées dans la section précédente par le modèle LAME. Les champs disciplinaires qui s'intéressent au monde coopératif sont très diversifiés. Dans cette section nous explorerons les effets que peut avoir la coopération sur le territoire dans lequel elle s'inscrit. Ce sera l'occasion d'un aller-retour entre des questions concernant l'influence sur les populations viticoles, ainsi que sur la structure même de la coopérative en tant qu'entité autonome, mais aussi constituée d'agents individuels.

Introduction

Le travail que nous venons de réaliser avec LAME nous a permis de valider le formalisme qui régit les interactions d'achat et de vente de parcelles, mais nous avons également bien pris conscience des limites du modèle. Le formalisme actuel ne permet pas par exemple de maintenir des surfaces et des populations viticoles.

Or que l'on se place sur le cru Banyuls ou sur le *val di Cembra*, nous sommes dans des situations où le contexte coopératif joue un très grand rôle. La solution de la coopération est par ailleurs largement répandue dans le monde viticole et structure même la filière dans de nombreux cas. À l'échelle nationale, 41% de la production viticole est produite

par la coopération viticole¹⁸, un chiffre qui atteint jusqu'à 70% en Languedoc-Roussillon (CHIFFOLEAU 1999). La coopération garantit également une stabilité temporelle de ce type d'entreprise (CHEVALLIER 2014).

« *Par la coopération, les acteurs choisissent de manière concertée des actions permettant à l'ensemble du groupe de parvenir à un niveau d'objectif supérieur à celui qu'ils obtiendraient si chacun d'eux s'engageaient de manière séparée* » (JAYET 1993).

Ce mode d'organisation a de nombreux défauts (lourdeurs dans les processus de décisions, difficultés à suivre les marchés), mais la littérature néomarshallienne isole plusieurs sources d'avantages concurrentiels générés par ce type d'organisation : les apprentissages collectifs, la présence et l'entretien d'un vivier de main d'œuvre qualifiée (LAMBERT 2003), la réduction des coûts de transport, le transfert d'informations, la capacité accrue à répondre à une demande (TRAVERSAC 2003), le maintien ou le développement d'une agriculture « pluriactive » pour tirer meilleur parti des ressources et des différentes formes de capital présentes sur les territoires (TOUZARD, J. F. DRAPERI *et al.* 2003).

Nous nous proposons donc ici de formaliser et d'explorer le fonctionnement du système lorsque l'on donne aux agents la possibilité de s'auto-organiser dans une structure coopérative. Nous nous intéresserons bien sûr aux formes prises par le paysage, mais aussi aux configurations socio-économiques émergentes.

4.2.1 Contexte de la modélisation : La coopération entre marque et terroir

Le système coopératif est un type d'organisation largement utilisé dans le monde. L'Alliance Coopérative Internationale¹⁹ dans sa déclaration de 1995 définit ce type d'organisation comme « [...]une association autonome de personnes volontairement réunies pour satisfaire leurs aspirations et besoins économiques, sociaux et culturels communs au moyen d'une entreprise dont la propriété est collective et où le pouvoir est exercé démocratiquement. »(COOPERATIVE 1995).

D'un point de vue géographique, les coopératives sont nées d'un double enjeu : permettre aux populations locales de maintenir des productions de qualité (généralement territorialisées, ce qui renvoie aux notions de systèmes productifs locaux (POMMIER et BOILÈVE 2002)), tout en « s'attaquant » à des marchés mondialisés grâce à une reconnaissance de leurs qualités (J.-F. DRAPERI 2003).

18. Chiffres issus de la confédération « coop de France » <http://www.coopdefrance.coop/fr/39/vin/> site consulté le 24 juin 2013.

19. The International Cooperative Alliance (ICA).

Dans le cadre de la coopération en contexte viti-vinicole, cette qualité peut certes être reconnue et maintenue par le cahier des charges AOC, mais peut aussi être développée par la coopérative elle-même par la création d'une marque de produits territorialisés qui établit un lien direct avec le consommateur (SCHIRMER 2007a) .

Ce double mouvement oblige les coopératives à être des lieux d'innovations individuels et collectifs (E. DELAY et MARCELIN 2014 ; TOUZARD, CHIFFOLEAU *et al.* 2008), mais également des espaces de gouvernance résilients à travers les crises (BIRCHALL et KETILSON 2009).

L'organisation en coopérative n'a pas pénétré tous les territoires de la même manière. En effet, la figure 4.20(a) met en évidence ces disparités : le département de la Marne et les départements du pourtour méditerranéen par exemple se dégagent des autres par leur grand nombre de coopératives.

La figure 4.20(b) montre le *ratio* du nombre d'adhérents à une coopérative sur le nombre de coopératives dans le département. Cela nous aide à visualiser les types de structure par département. On trouve donc une forte présence de la coopération viticole sur le pourtour méditerranéen, augmenté par le grand Sud-Ouest quand on considère le nombre de coopérateurs par structure (avec des valeurs entre 150 et 200 coopérateurs par coopérative). En confrontant ces résultats avec la carte 4.20(a), on mesure toute l'importance que la coopération revêt autour de la Méditerranée.

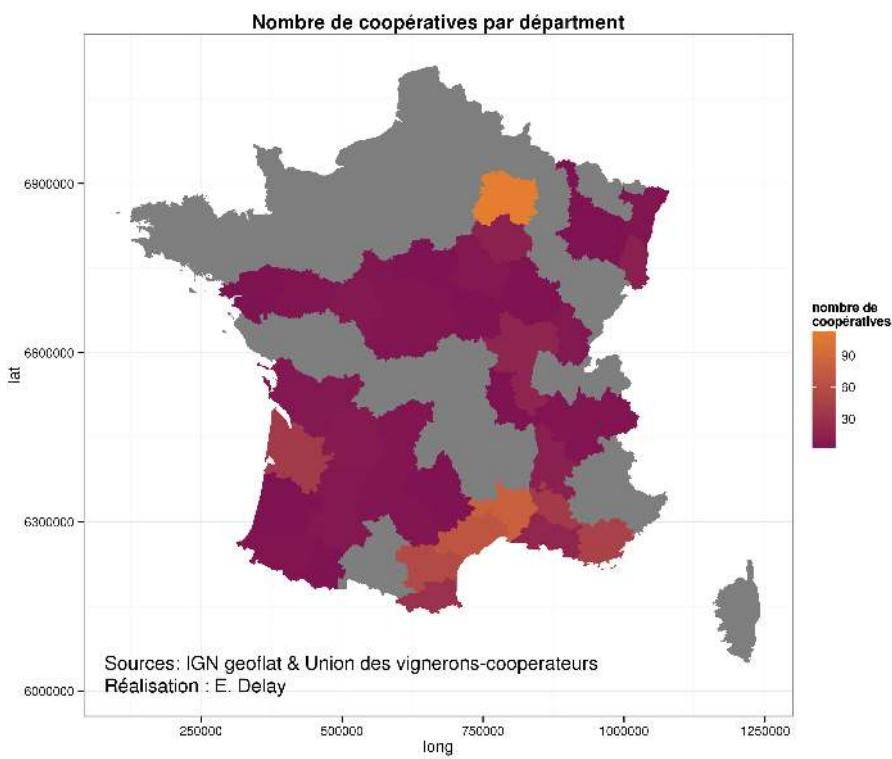
Si l'on s'intéresse ensuite à la production viticole²⁰ (fig. 1.21, p. 68), on peut observer deux grandes zones de production (c.f. fig. 1.21(a) p. 68) : l'une centrée sur les départements de la Gironde et de Charente-Maritime, et l'autre sur l'Aude, l'Hérault et le Gard. On retrouve donc ici encore les rives de la Méditerranée.

Enfin la carte 1.21(b) p. 68, qui représente la proportion du volume départemental vinifié en coopérative souligne là encore les départements qui mobilisent largement le système coopératif pour la production de vin.

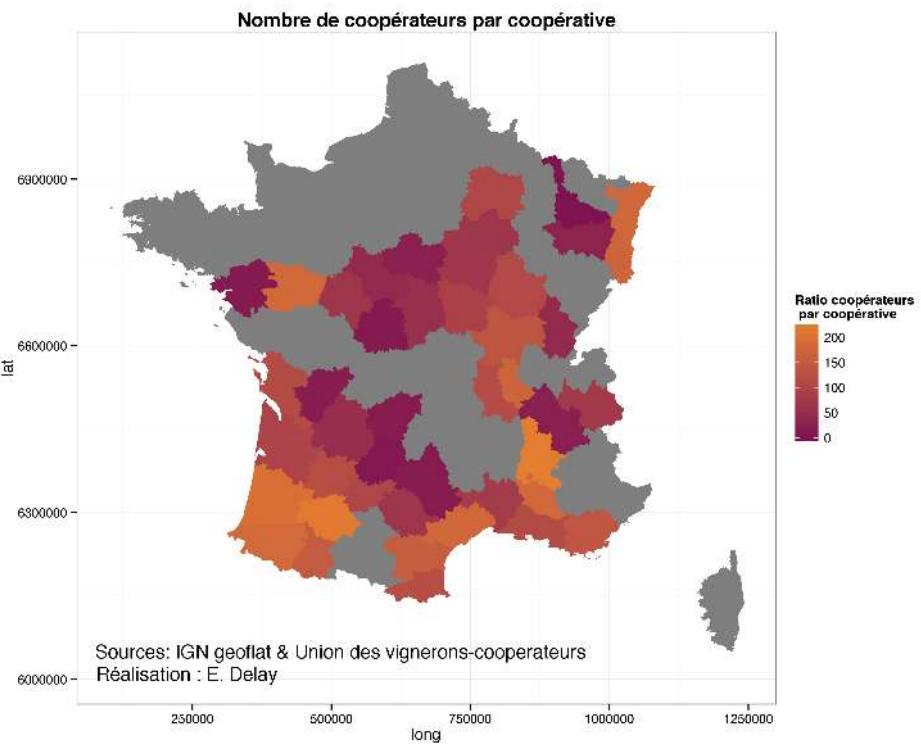
Avec ces cartes, nous remarquons que les départements soumis à des contraintes orographiques fortes (les départements alpins, pyrénéens et la vallée du Rhône) utilisent largement les structures coopératives pour produire de « gros » volumes de vin (fig. 1.21(b) p. 68).

C'est à ce type de territoire que nous nous sommes intéressés ici par l'intermédiaire de la modélisation. Nous nous sommes appuyés sur les territoires de l'AOC Banyuls-Collioure et du *val di Cembra* en Italie pour construire de manière empirique et itérative notre modèle (JANSSEN et OSTROM 2006 ; ROBINSON *et al.* 2007 ; SMAJGL et BARRETEAU 2013a). Cette construction a été réalisée sur la base d'entretiens et d'observations des territoires

20. Les données étant issues de l'observatoire de la viticulture, nous n'avons pas la même homogénéité de données par rapport à la figure 4.20, dont les données proviennent de l'union des coopératives viticole de France. <http://www.si-vitifrance.com/> site consulté le 19 septembre 2014.



(a)



(b)

FIGURE 4.20 – Mise en regard du nombre de coopératives par département (a) et du *ratio* du nombre d'adhérents sur le nombre de coopératives par département (b)

Structures prof.	Surfaces (ha)	Proportion (%)
GICB	961.38	63.11
INDEPENDANTS	324.74	21.32
LE DOMINICAIN	126.95	8.33
ETOILE	110.20	7.23

Tableau 4.9 – Résumé des surfaces représentées par les coopératives sur l’AOC du cru Banyuls

Structures prof.	Population	Proportion (%)
GICB	521	71.37
LE DOMINICAIN	107	14.66
ETOILE	63	8.63
INDEPENDANTS	39	5.34

Tableau 4.10 – Résumé du nombre de viticulteurs représenté par les coopératives sur l’AOC du cru Banyuls

qui ont ensuite été formalisés en « interactions agents » dans le modèle CiVIIsMe. Les données chiffrées sont exclusivement française car l'accès à des données fines du côté italien est difficile et rarement territorialisé à des échelles comparables.

Sur l’AOC du cru Banyuls, comme nous l’avons déjà évoqué, la coopération joue un rôle très important. On distingue aujourd’hui trois coopératives : le GICB, l’Étoile et le Dominicain, qui regroupent un peu plus de 78 % des surfaces viticoles (c.f. tab. 4.9 et fig. 1.22(a) p. 70) et plus de 94% des viticulteurs du cru (c.f. tab 4.10 et fig. 1.22(b) p. 70). On peut constater que si les structures indépendantes représentent une part non négligeable des surfaces (21%), elles ne représentent qu’une proportion faible de viticulteurs (5%), laissant une très large place au système coopératif.

Chaque groupe de viticulteurs se différencie aussi par les surfaces médianes individuelles (tableau 4.11). On se rend compte que les coopératives accueillent, de manière générale, des viticulteurs aux surfaces viticoles inférieures à celles des viticulteurs indépendants.

Structures prof.	médiane des surfaces par viticulteurs
ETOILE	0.91
GICB	0.77
INDEPENDANTS	3.70
LE DOMINICAIN	0.56

Tableau 4.11 – La surface médiane des viticulteurs de chacun des 4 groupes présente sur l’AOC du cru Banyuls

4.2.2 Matériels et Méthodes : ODD

4.2.2.1 Développement du modèle

Objectifs

La coopérative peut tout à la fois être considérée comme une structure qui permet le maintien d'une activité agricole (ici viticole) face à un marché toujours plus globalisé en supportant les inégalités, mais également comme un dispositif qui maintient l'ordre et les hiérarchies sociales du territoire.

Nous allons utiliser un modèle à base d'agents pour explorer les effets d'un système coopératif sur le territoire qui le supporte. Nous voulons par là comprendre les effets sociaux et spatiaux qu'implique la présence d'une coopérative sur un territoire. Nous interrogerons également le poids des statuts qui associent le viticulteur à son outil de production pour en comprendre les conséquences sur le tissu social d'une part et le tissu paysager d'autre part.

Plus particulièrement, nous voulions tester les effets de la coopération dans un contexte de montagne (environnement générateur de discrimination (c.f. parti 4.1)), en suivant plusieurs questionnements :

- est-ce qu'un territoire (au sens d'espace d'interactions de C. BERTRAND et G. BERTRAND (2002)) peut être générateur de logiques individuelles et riscolphiles²¹ ?
- est-ce que la coopérative est un système qui augmente, réduit ou maintient les inégalités du territoire ?
- est-ce que l'existence ou la disparition de coopératives sur un territoire à un impact sur la part des exploitations et donc sur le paysage ?
- quelles sont les conditions qui favorisent le maintien dans le temps du système coopératif ?

Entités, variables, et échelle

Dans la mesure où le modèle CiVIIsMe est conçu pour intégrer les mécanismes mis en lumière par LAME (chap. 4.1 p. 188), nous avons conservé la classe d'agent viticulteur, mais nous y avons intégré une nouvelle classe d'agent : la coopérative.

On peut observer sur la figure 4.21 les modifications induites par l'intégration d'une coopérative au modèle LAME (qu'on peut retrouver fig. 4.8). Les *agents viticulteurs* ont trois valeurs attributaires en plus : l'une est un booléen qui permet de savoir si oui ou non ces derniers sont coopérateurs, et la seconde permet à l'agent de connaître la coopérative à laquelle il est affilié. La dernière est une sorte de mémoire vive du viticulteur dans laquelle seront stockés les revenus des x dernières années. Cette connaissance du capital personnel

21. La riscophilie est une notion économique qui implique pour un agent d'être enclin à risquer son capital. Si nous l'utilisons dans le cadre du capital économique, il peut être envisagé sur toutes les formes de capitaux.

est indispensable à une prise de décision réfléchie.

Les agents de classe *coopérative* sont liés aux agents viticulteurs. On retrouve un attribut coopérateur qui est un agrégat des viticulteurs coopérateurs. C'est par ce biais que la coopérative va réclamer des actions à ses coopérateurs. La coopérative connaît la valeur de *bonus* qu'elle distribue aux viticulteurs coopérateurs pour bonifier leurs coûts de production. Cela symbolise le fait que la coopérative regroupe les outils et les compétences techniques de transformation (vinification). On retrouvera également une valeur de *malus*, qui lui s'applique sur les gains des viticulteurs coopérateurs. C'est une valeur prélevée sur leur capital par la coopérative en fonction des volumes de raisin apportés.

La coopérative va connaître les surfaces qui lui sont apportées (*surface_production*), et ce que cela représente en terme de produit fini (*production_kg*), car toutes les parcelles ont le même rendement. La coopérative (comme les agents viticulteurs) se verra dotée d'une mémoire qui stockera ses capacités de production (*list_production*, toujours en kg de raisins), ce qui l'aidera à définir des stratégies (*my_memory_coop*) en fonction des comportements passés des agents (*my_time_coop*) (c.f. part 4.2.2.3, sous modèle).

Comme dans le modèle LAME, nous considérons qu'une itération représente une année, ce qui nous abstrait des pratiques culturales et résout chaque itération par une mise sur le marché d'un produit. Par ailleurs, l'espace simulé représente les 9km^2 qui ont servi d'étalons dans la partie 4.1.

Processus et Ordonnancement

On compte dans ce modèle sept processus (c.f. fig. 4.22) répartis entre les deux classes d'agents de la manière suivante :

1. viticulteur :

- coopération : rester en coopérative ou passer en indépendant ;
- vente d'une parcelle : dès que la trésorerie de fin d'année est insuffisante pour couvrir les dépenses de la prochaine campagne de culture ;
- mise à jour de la trésorerie ;
- achat d'une parcelle : les bénéfices d'une année sont convertis en achat de parcelle, sans pour autant mettre en danger les campagnes de cultures suivantes ;
- mise à jour de la quantité de travail : la quantité de travail dépend du nombre de parcelles et de la pente de la parcelle. Tous les agents ont la même capacité de travail. Si la quantité de travail dépasse leur capacité, il embauche de la main-d'œuvre à temps partiel.

2. coopérative :

- calcul des besoins en vinification ;
- évaluation de la stratégie et application ;

On retrouvera les détails de chaque sous-modèle dans la partie 4.2.2.3.

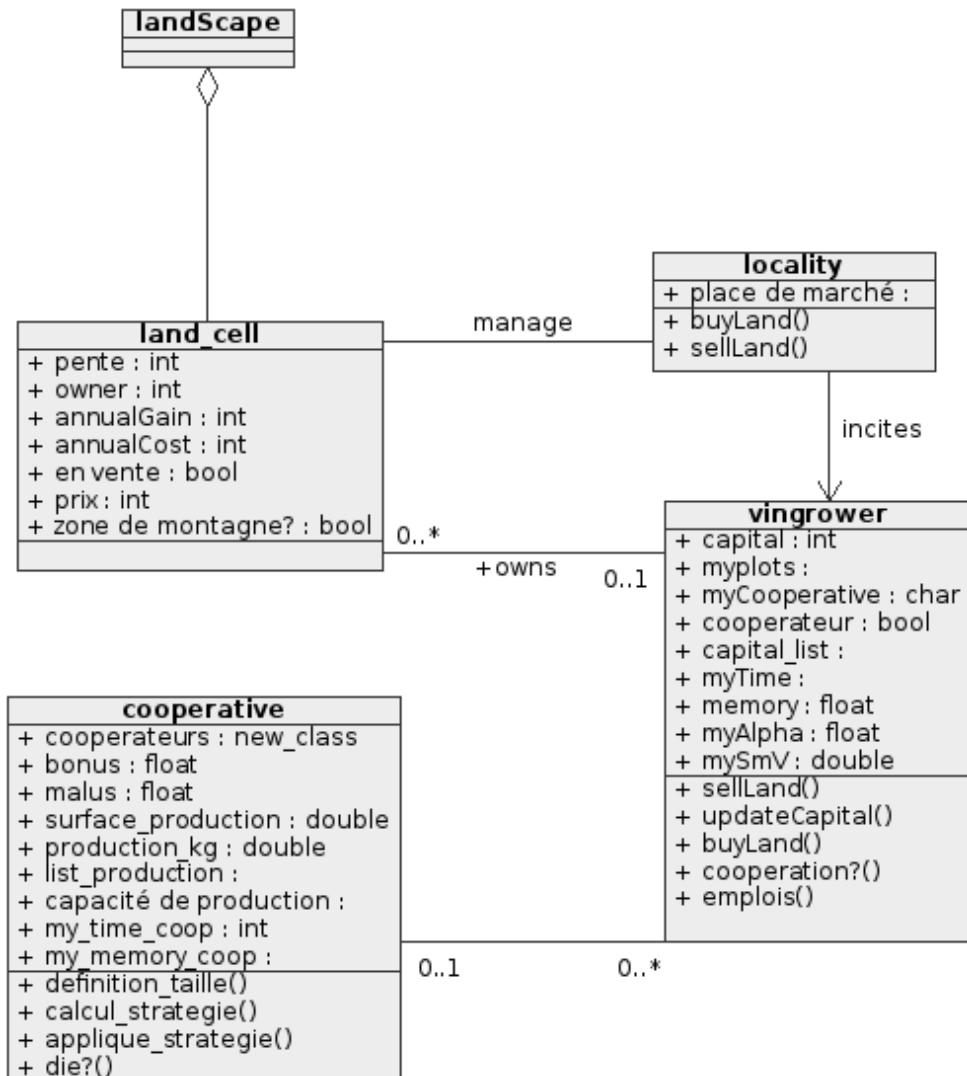


FIGURE 4.21 – Diagramme de classes UML du modèle CIVIsMe

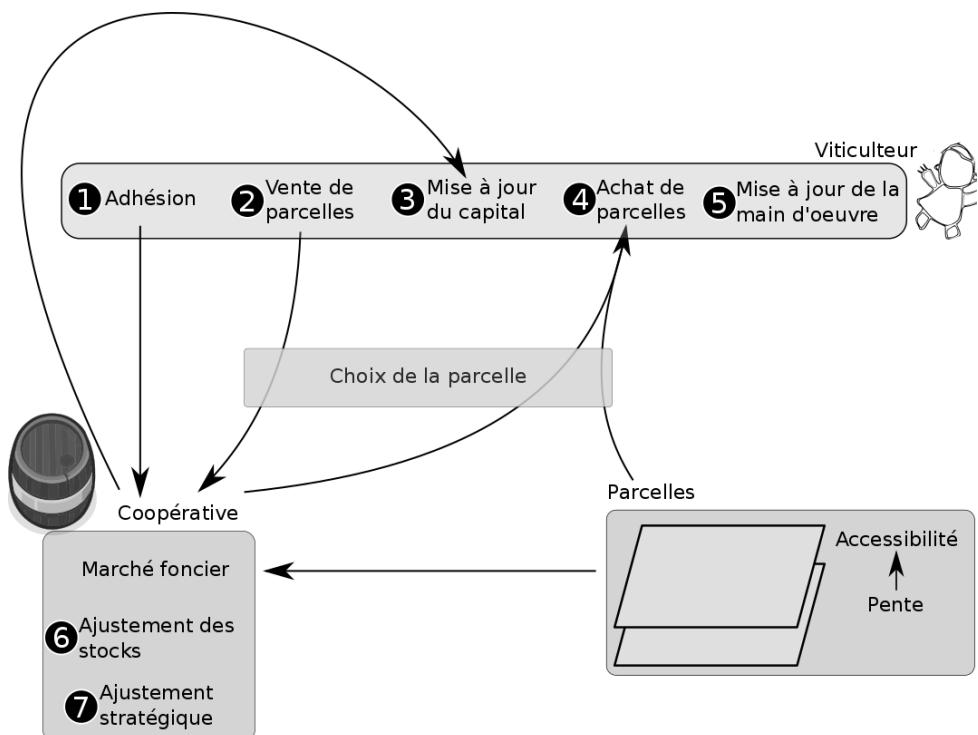


FIGURE 4.22 – Ordonnancement des processus qui entrent en jeu dans CiViIsMe

4.2.2.2 Concepts d’élaboration

Contexte scientifique

Le modèle CiViIsMe a été développé sur le modèle LAME (c.f partie 4.1) pour mettre en évidence l'influence des mécanismes coopératifs qui sous-tendent les dynamiques spatiales des paysages agricoles dans un contexte de montagne. Nous adoptons une approche de modélisation empirique sous forme de « *lab-experiments* » (JANSSEN et OSTROM 2006 ; ROBINSON *et al.* 2007) qui vise à explorer de manière informatique toute la gamme des comportements du modèle.

Nous nous positionnons ici en aval de la création de la coopérative. Nous avons choisi de ne pas nous intéresser aux phénomènes de création de coopératives ni aux processus de création de cadres normatifs (YOUNG 2002) et comportementaux (BOWLES et GINTIS 2002) qui les pérennisent . Nous laissons également de côté les mécanismes d'adhésion et d'émergence de ce type de structure qui sont, par ailleurs, très bien décrits par LEVI *et al.* (1978). Nous voulons nous concentrer davantage sur les processus qui poussent les viticulteurs à entrer ou sortir de la coopérative pour produire des types de comportements identifiables aussi bien au niveau social que spatial par l'émergence/la résilience des structures viticoles.

Dans une approche de modélisation toujours plus descriptive (KIDS) (EDMONDS et MOSS 2005) par rapport à LAME, nous avons identifié et formalisé les comportements qui sem-

blaient conduire à l’implication des agents dans ce type de projet collectif.

La coopérative véhicule une idéologie teintée d’avancée sociale et de revanche des petits sur les grands (GIDE et TENIN 2014), mais, dans la réalité, les coopératives réussiront à s’installer dès lors qu’elles ne bousculent par l’ordre établi (BORT 2003). Dans le cas contraire, les coopérateurs dominants auront tendance à vouloir sortir de la coopérative pour pouvoir mener leur propre politique de commercialisation indépendamment des orientations coopératives pour potentiellement accéder à une meilleure valorisation (sociale ou économique).

À TRAVERSAC (2003, p.117) de dire que « l’espace est une emprunte des choix des producteurs en termes d’organisation économique », à nous de rajouter que ces choix peuvent être considérés comme un ensemble de règles comportementales individuelles, l’espace étant alors une forme émergente de l’ensemble de ces interactions.

Une fois ces mécanismes délimités, nous avons spécialisé le modèle pour petit à petit passer à des questionnements propres à nos territoires d’études en considérant l’entrée sectorielle comme pertinente (TOUZARD 2014). Ce mouvement tendant à s’éloigner d’un environnement stylisé pour aller vers plus de particularisme (BANOS 2013) nous a permis de valider empiriquement le comportement spatial des agents.

Nous focaliserons notre travail sur les effets spatiaux de l’existence de coopératives²² en contexte viticole pour répondre aux questions que nous nous posons quant aux rôles qu’elles peuvent jouer dans le maintien et le développement local. Nous explorerons en particulier les différences qui peuvent émerger en fonctions des contraintes qui pèsent sur les agents.

Processus de décision

Comme dans le modèle LAME, les viticulteurs vont tenter d’optimiser leurs distributions foncières pour maximiser leurs revenus. Mais si dans ce dernier modèle la prise de décision se faisait uniquement sur la stratégie d’extension, ici le viticulteur doit également prendre des décisions vis-à-vis de sa stratégie de commercialisation. Deux solutions s’offrent à lui, soit il utilise la coopérative comme chaînon intermédiaire dans sa relation avec le marché afin de se garantir un revenu stable, soit il affronte seul le marché et ses variations de prix dans l’espoir de maximiser ses profits. Nous verrons dans la partie sous-modèle que la décision de sortir de la coopérative est pluri-factorielle.

Pour la coopérative, le processus de décision réside dans l’optimisation de sa capacité de production. Elle cherchera donc à augmenter ou réduire l’offre d’accueil de vendanges en fonction des résultats des différentes vendanges passées.

22. La coopérative est donc considérée dans ce contexte comme une boîte noire qui traite des flux entrants et sortants.

Réflexe aux conditions extérieures

Les viticulteurs sont les seuls agents qui peuvent être influencés par la condition extérieure. Ils se tiennent au courant des évolutions foncières de leurs voisins et peuvent, si une parcelle se vend, s'en porter acquéreur par l'intermédiaire de la « bourse aux parcelles d'occasion » symboliquement abritée par le village sur la figure 4.22.

Interaction

Les interactions entre viticulteurs se bornent aux interactions foncières que nous avons déjà largement évoquées dans la partie précédente (part . 4.1) ; ils sont en concurrence pour acheter et vendre des parcelles. Les interactions entre les viticulteurs et la coopérative se limitent à adhérer ou quitter la coopérative.

Hétérogénéité

Les viticulteurs diffèrent les uns des autres par leur risquophilie (*my_alpha* sur la fig. 4.21). Cette valeur alpha propre à chaque viticulteur va symboliser leur inclinaison à aimer le risque, ce qui se traduit par une volonté accrue de sortir de la coopérative.

Stochastique

À l'initialisation, les viticulteurs (leurs sièges d'exploitation) et leurs parcelles sont répartis aléatoirement dans l'espace. Nous avons également intégré de l'aléatoire dans la répartition des valeurs de risquophilie (c.f. sous modèles 4.2.2.3) de même que dans la sélection de la population qui, à l'initialisation d'un monde avec coopération, se retrouve dans le groupe des coopérateurs. Pour optimiser la question de la stabilisation des résultats, nous avons exécuté 1000 simulations du même jeu de paramétrage. Puis nous avons ventilé par tirage aléatoire ces simulations en 5 groupes pour observer le nombre de simulations nécessaires à la stabilisation de la variance intergroupe (fig. 4.23). On peut constater que le modèle est relativement stable à partir du moment où l'on considère 20 réplications de chaque jeu de paramètres. Ici nous avons considéré 30 réplications (fig. 4.23(c)).

Observations

Durant l'analyse de sensibilité, nous recueillons plusieurs variables qui doivent nous aider à comprendre comment se comporte le système. Spécifiquement, pour comprendre l'influence de la coopérative, nous observerons :

- Le volume de raisin absorbé par la coopérative ;
- Le volume de la capacité de production de la coopérative ;
- La proportion de viticulteurs qui sont au-dessus du seuil leur permettant de sortir de la coopérative ;

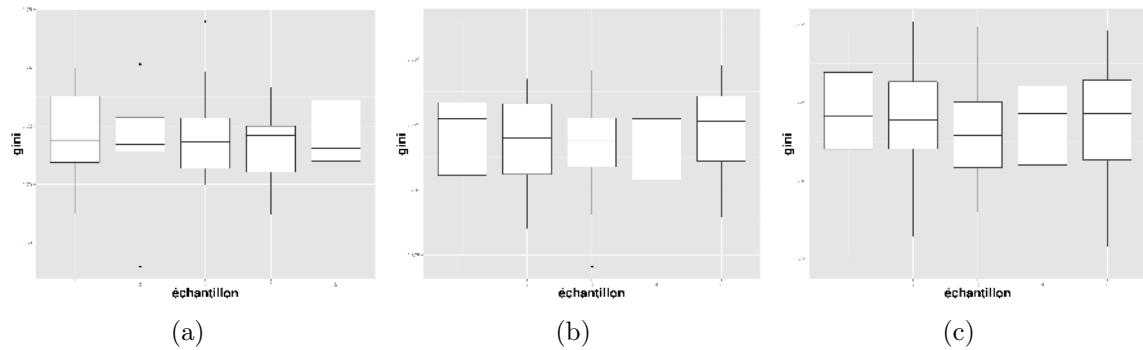


FIGURE 4.23 – Évaluation de la stochasticité des résultats du modèle LAME sur 10 (a), 20 (b) et 30 (c) réplications d'un même jeu de paramètres

- La proportion de coopérateurs ;

Par ailleurs, afin d'évaluer l'impact de la présence d'une coopérative sur le territoire nous nous intéresserons aussi à :

- L'indice de Gini²³
- La proportion de viticulteurs ayant la majorité de leurs parcelles en pente ;
- La pente moyenne des parcelles viticoles sur le territoire ;
- Le nombre de parcelles viticoles ;
- La part de parcelles en pente qui sont cultivées ;
- La pente moyenne des exploitations indépendantes et coopératives ;
- Le nombre de viticulteurs ruinés ;
- Les surfaces moyennes des exploitations indépendantes et coopératives ;

Nous testerons deux *scenarii* : le premier étant l'évolution du modèle sans coopérative pour avoir un point de référence, et le second avec coopérative en faisant varier les différentes conditions déjà évoquées précédemment.

4.2.2.3 Détails

Initialisation

Pour les variables qui sont issues de LAME, nous les initialiserons avec les valeurs déjà précisées (c.f. part. 4.1.3.3 et tab. 4.8). Les variables introduites dans ce modèle sont reprises dans le tableau 4.12 et seront remises dans leur contexte dans la partie sous-modèle.

Par ailleurs, nous voulons observer l'effet de la coopérative sur le paysage. Pour cela nous allons modifier certaines variables à travers les simulations. De cette manière, soumettons le territoire à des stress qui auraient des conséquences graves dans la réalité. Nous allons explorer l'effet de la variation des variables suivantes :

²³. Indice statistique qui mesure la dispersion d'une valeur dans une population donnée http://en.wikipedia.org/wiki/Gini_coefficient, Source Wikipédia, site consulté le 11 aout 2014.

- Dans le modèle, les viticulteurs reçoivent un *bonus* monétaire de la part de la coopérative, qui correspond dans la réalité au fait que les coûts de production diminuent quand une activité est mutualisée (toute la partie concernant la vinification). Nous allons tester le comportement des variables de sortie avec un *bonus* compris entre 0 et 1 euro par kilo de raisin, et évoluant par pas de 0.1 (pour le prix du kg de raisin c.f. table 4.12).
- Le *malus* : le chiffre d'affaires ramené au kilo de raisin dans le modèle est identique en moyenne pour les coopérateurs (prix moyen fixe de la coopérative) et pour les indépendants (prix du marché variable). Pour considérer que les coopérateurs vendent du raisin non transformé, à la différence des indépendants qui le vinifient, nous introduisons le paiement d'un *malus* payé par les coopérateurs à leur coopérative. Comme pour le *bonus*, le *malus* évoluera de 0 à 1 euro par kilo de raisin par pas de 0.1.
- α est une valeur propre au viticulteur qui détermine l'inclinaison de chacun à risquer l'aventure individuelle en sortant de la coopérative. Si le seuil de risquophilie est lié au territoire, α lui est individuel. Nous testerons deux situations l'une avec α aléatoire et l'autre où ce dernier est fixé avec 50% de la population des agents viticulteurs ayant un α de 1 et les autres de 5.
- Nous avons utilisé une variable *proxy*²⁴ de manière à caractériser l'inclinaison générale du territoire à produire de la coopération (aversion au risque) ou non. Nous avons appelé cette variable « riscophilie » ou « riscophobie » du territoire qui correspond au seuil de sortie de coopérative. La risquophilie ou risquophobie des territoires nous permet d'explorer l'inclinaison de ces derniers vers une individualisation de la production ou au contraire une coopération coûte que coûte. Le seuil de risquophilie est une valeur utilisée pour définir avec quelle facilité les viticulteurs passent de coopérateur à viticulteur indépendant, et inversement (c.f. partie sous-modèle 4.2). Les viticulteurs sortent de la coopérative si l'écart supposé entre les gains en tant qu'indépendant et les gains en coopérative est supérieur à un certain seuil. Dans un territoire risquophile, le seuil est bas : dès que l'écart est positif, ils sortent de la coopération, alors que dans un territoire risquophobe les viticulteurs. Nous testerons trois états du système : risquophile, moyen, risquophobe.

LAMBERT (2003, p.237) définit le concept d'adhésion en négatif à la coopérative. Il désigne le fait l'adhésion à une coopérative peut se faire par défaut (manque de capacités financières ou organisationnelles, etc.). La part de viticulteur que nous définissons à l'initialisation comme faisant partie de la coopérative prend en compte ce facteur. La valeur attributaire *my_Alpha* que nous retrouvons dans le schéma UML (fig. 4.21) représente

24. Une variable *proxy* est une variable qui n'est pas forcément pertinente, mais qui sert à remplacer une variable impossible à mesurer ou à observer.

variable	description	valeurs
materiel_vinif	Matériel de transformation	10000€
pct_capacity_coop	% de capacité de production supplémentaire	5%
major_indiv	Dérivation standard du prix individuel	0.5
taxe_plot/ha	Taxe par parcelle pour sortir de la coop	200€
memory_size	Taille de la mémoire des viticulteurs	4
memory_size_coop	Taille de la mémoire de la coop	6
vol_mini_coop	Volume minimum de la coop	500 000kg

Tableau 4.12 – Valeurs d’initialisation du modèle

la volonté du viticulteur à prendre des risques et à se confronter directement au marché, ce qui lui permettra de passer outre son adhésion en négatif à la coopérative (nous y reviendrons dans la partie sous-modèle).

Variables de forçage

Nous n’utilisons pas de variables de forçage dans ce modèle.

Sous modèles

Nous expliciterons cinq sous-modèles de CiVIIsMe. Les deux sous-modèles d’achat et de vente des parcelles sont les même que ceux du modèle LAME (c.f. parti 4.1.3.3, p;204).

Pour la classe des agents *viticulteurs* :

Coopération : À chaque itération, le viticulteur va évaluer son statut. Est-il actuellement coopérateur ? Si oui, il va déterminer la possibilité de sortir de la coopérative. Si son capital est supérieur à la taxe qu’il doit payer à la coopérative pour sortir ses parcelles, à laquelle s’ajoutent le prix du matériel de transformation (vinification) et les coûts de production pour la prochaine campagne, il peut envisager de sortir de la coopérative.

Pour envisager cette possibilité, il va se remémorer l’évolution de son capital sur les quatre dernières campagnes, et évaluer si le bilan est positif, négatif ou neutre. Dans les faits, il va opérer une régression linéaire sur autant de valeurs de capital que contenues dans sa mémoire (c.f. tableau 4.12). Dans le cas où la pente de la droite de régression (c.f. fig. 4.24) est supérieure au seuil de sortie de coopérative (valeur fixe pour le territoire) alors il demandera à sortir de la coopérative, sinon il restera coopérateur.

Sa sortie de la coopérative n’est pas immédiate, il en fait la demande à la coopérative. Cette demande sera effective à la prochaine itération. Ce mécanisme permet de décrire l’engagement qu’implique la coopération pour le viticulteur.

Inversement si son bilan est négatif, il va chercher à entrer dans la coopérative. Pour cela il va demander à cette dernière si elle dispose des volumes suffisants pour l’accueillir.

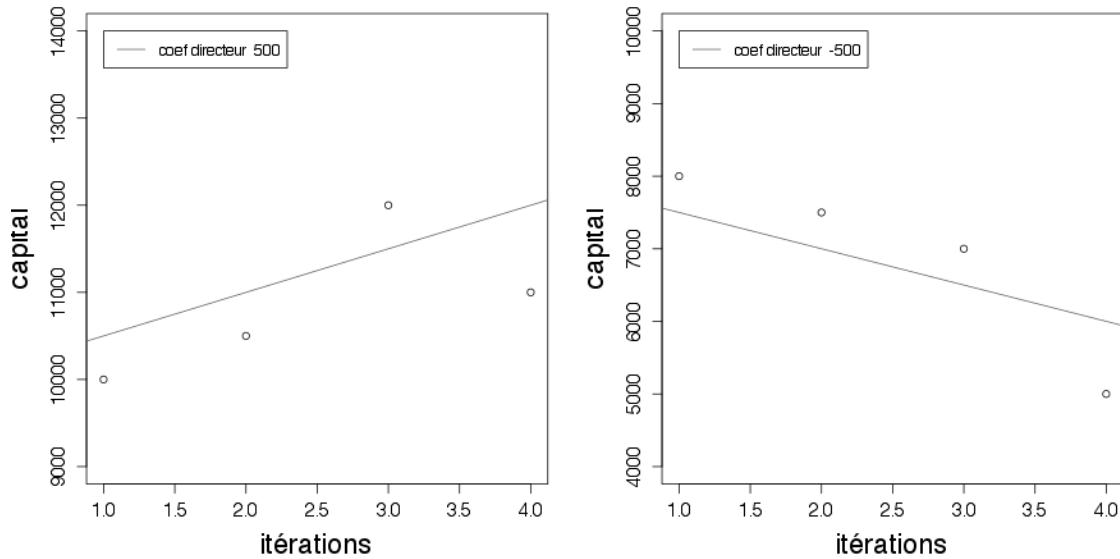


FIGURE 4.24 – Deux exemples de régression linéaire en fonction du capital économique des agents

En cas de réponse positive, il deviendra immédiatement coopérateur, tandis que si la coopérative ne dispose pas de suffisamment d'espace il signalera sa demande qui sera prise en compte à l'itération suivante.

Mise à jour du capital : la manière dont le capital va se mettre à jour va varier en fonction de l'appartenance ou non du viticulteur à la coopérative. Si le viticulteur est coopérateur, la coopérative lui garantit un prix fixe de la vendange. Tandis que si ce dernier est indépendant, il doit affronter le marché seul. Pour modéliser cette différence, les viticulteurs indépendants sont soumis à un marché aléatoire régi par une loi normale centrée sur le prix de vente en coopérative et avec une espérance statistique de 0.5²⁵. À chaque itération et pour chaque viticulteur indépendant, le prix est recalculé.

$$capital = \sum_{i=1}^n g_i - \sum_{i=1}^n c_i - mo - vi \quad (4.4)$$

où :

n est le nombre de parcelles

g le gain par parcelle en fonction du nombre de kg de raisins produits

c les coûts de production par parcelle avec une partie fixe et l'autre dépendant de la

25. En théorie des probabilités, l'espérance représente la valeur moyenne qu'on peut s'attendre à trouver dans un groupe de valeurs tirées aléatoirement.

position de la parcelle

mo le coût de la main-d'œuvre si les surfaces en production sont supérieures à la capacité de production du viticulteur

vi les revenus du viticulteur

Mise à jour de la capacité de travail : la formalisation de cette notion s'est faite au travers des entretiens avec les viticulteurs. Elle va dépendre du parcellaire du viticulteur, notamment la variation de la pente sur l'exploitation.

Chaque viticulteur va évaluer pour chacune de ses parcelles la charge de travail qu'elle représente. Cette charge est fonction de la pente de ces dernières.

$$wk = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\tan(s_i)}}{100} \quad (4.5)$$

où :

n est le nombre de parcelles

s la pente de la parcelle en degré. s ne peut pas être inférieur à 5.5 degrés (10%) de pente.

wk la capacité de travail nécessaire sur l'exploitation.

Avec cette valeur wk nous évaluons la part des viticulteurs en double-activité (que la viticulture n'occupe pas toute l'année), et la quantité de main d'œuvre nécessaire.

Les processus liés à la classe *coopérative*

Calcul des besoins en vinification et de la stratégie : l'objectif de la coopérative est d'optimiser les volumes qui peuvent être accueillis par rapport au volume produit par les viticulteurs coopérateurs. Pour cela, elle va chercher à connaître les volumes attendus à l'instant t et à $t + 1$.

La coopérative va donc lister les parcelles concernées par la coopération pour évaluer les rendements attendus. Dans ce modèle, nous considérons que les parcelles ont des rendements « homogènes ». Le passage des surfaces produites au rendement en kg se fait donc de la manière suivante :

$$pkg = \sum_{i=1}^n surfaces_i \times rp \times rha \quad (4.6)$$

où :

pkg est la production en kg attendue par la coopérative

n le nombre de parcelles concernées par la coopération

rp les rendements moyens sur l'AOC en hectolitre par hectare

rha le nombre de kg dans un hectolitre

Ce calcul permet à la coopérative de mesurer ce que va lui coûter sa politique en termes

de *bonus* et *malus*. À partir de ces valeurs, elle va adopter une stratégie d'ajustement des volumes de productions. Elle va mémoriser les productions des six années passées et évaluer par régression linéaire la tendance de la prochaine itération.

Cette évaluation des coûts, couplée aux surcoûts liés à l'intégration des surfaces des nouveaux coopérateurs, lui donne la possibilité d'ajuster ses volumes. Si aucun nouveau membre n'apparaît, la coopérative se réserve une marge d'ajustement de 5% de son volume vinifié.

4.2.3 Résultats

4.2.3.1 La coopérative et le tissu social viticole

Nous avons testé l'impact de l'influence d'un α attribué aléatoirement (*random*) ou fixé (1 ou 5) pour chaque viticulteur (c.f. initialisation, part. 4.2.2.3). Sur la figure 4.25, l'indice de Gini est calculé à la fois sur le capital et la valeur des parcelles en possession des viticulteurs qui sont encore en activité. On peut observer, de gauche à droite, la médiane de l'évolution de l'indice de Gini en fonction du couple *bonus/malus* défini par la coopérative, l'évolution de l'indice avec un *malus* fixé à 0.3 en fonction du *bonus*, et enfin toujours l'évolution de cet indicateur dans une situation sans coopérative.

Dans les situations où la coopérative existe (situation 1 et 2 de la figure 4.25), nous avons testé trois types de configuration du territoire : un territoire risquophobe, un territoire moyen, et un territoire risquophile.

On constate donc que, dans un contexte de coopérative, la mise en place du couple *bonus/malus* introduit des inégalités entre les viticulteurs. Dans un contexte risquophile, les couples *bonus/malus* les plus discriminatoires sont situés sur une diagonale partant de l'ordonnée et allant à l'angle supérieur droit des graphiques, créant deux zones moins discriminantes quand le *malus* tend vers 1 et le *bonus* vers 0 ou inversement quand le *bonus* tend vers 1 et le *malus* tend vers 0.

Dans un contexte moyen à risquophobe, les zones moins discriminante se situent autour des valeurs de *bonus* 1 et *malus* 0, et s'affirme très fortement autour d'une zone avec un *malus* de 1.

Les graphiques centraux permettent d'entrer plus finement dans les comportements des agents. En premier lieu, nous nous apercevons que les valeurs de Gini sont très rassemblées. En effet, les boîtes à moustaches ne couvrent pas de très grandes amplitudes au sens des mêmes valeurs de paramétrage. Nous notons aussi que les gammes couvertes par ces résultats ne sont pas très étendues (l'axe des ordonnées varie entre 0.625 et 0.725). Toutefois, au sein de cette gamme, les résultats présentent une certaine variation. Dans

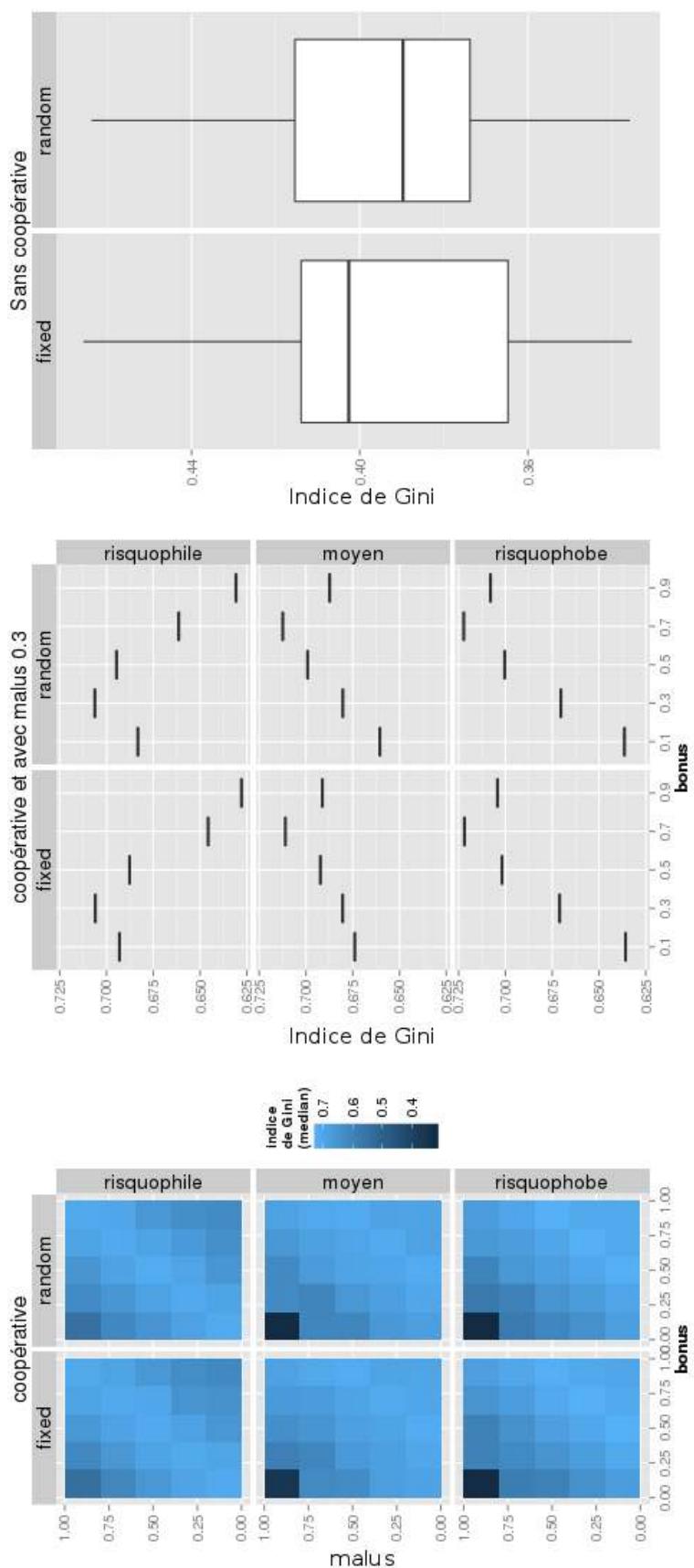


FIGURE 4.25 – Évolution de l'indice de Gini en fonction du paramétrage

un contexte risquophile, les inégalités entre les viticulteurs sont les plus fortes quand le *bonus* est égal au *malus* (0.3). Tandis que, dans un contexte moyen à risquophobe, les inégalités sont les plus hautes quand le *bonus* est à 0.7. Il faut noter que le contexte moyen introduit plus d'inégalités entre les viticulteurs que le contexte risquophobe.

Les graphiques révèlent que le fait de proposer un α aléatoire réduit l'amplitude des résultats en sortie de modèle, mais également la médiane des valeurs de l'indice de Gini. Cette dernière est supérieure à 0.4 quand α est fixe tandis qu'elle se situe autour de 0.38 s'il est aléatoire.

On s'intéressera ensuite aux effets de la coopérative sur le maintien de la population viticole (fig. 4.26). De même que dans la figure précédente, on peut observer sur les graphes de droite une diagonale, allant de l'origine des graphes à l'angle supérieur droit, autour de laquelle les valeurs de *bonus/malus* permettent de limiter le nombre de viticulteurs ruinés. La zone sombre représente dans l'espace des paramètres les configurations où la médiane est basse. On observe une nette diminution du nombre de viticulteurs ruinés quand le *bonus* augmente, une situation qui est accentuée par le contexte moyen et risquophobe du territoire.

Les graphiques centraux nous permettent d'observer encore une fois la relative robustesse des sorties de modèle dans la mesure où les valeurs sont très peu dispersées autour de la médiane. Dans ces graphes, on note également la nette variation de comportement qui se manifeste au moment où le *bonus* est égal ou supérieur au *malus*.

Si, en situation moyenne ou risquophobe, les résultats se maintiennent relativement bas une fois passé un *bonus* de 0.3, il n'en va pas de même pour les simulations en situation de risquophilie. En effet, pour des valeurs de *bonus* supérieur à 0.5, le nombre de viticulteurs ruinés augmente.

Enfin sur les derniers graphes (à gauche) représentant un contexte non coopératif, on observe comme précédemment que les valeurs aléatoires d' α ont tendance à réduire l'étendu des résultats, mais, dans ce cas, la médiane ne varie pas ou peu, et reste autour de 208 viticulteurs ruinés.

4.2.3.2 La coopérative et le maintien de la structure paysagère

Si la coopérative peut être regardée sous l'angle social, nous sommes en droit de nous demander quel est son impact sur la structure spatiale du territoire. Nous nous intéressons alors à l'emprise de la viticulture dans le modèle (fig. 4.27). Comme pour les deux indicateurs précédents, nous pouvons remarquer l'impact du couple *bonus/malus* sur les surfaces viticoles. Quel que soit le contexte (de risquophobe à risquophile), assez intuitivement les simulations qui atteignent les surfaces les plus étendues sont celles qui bénéficient d'un *bonus* élevé et d'un *malus* faible.

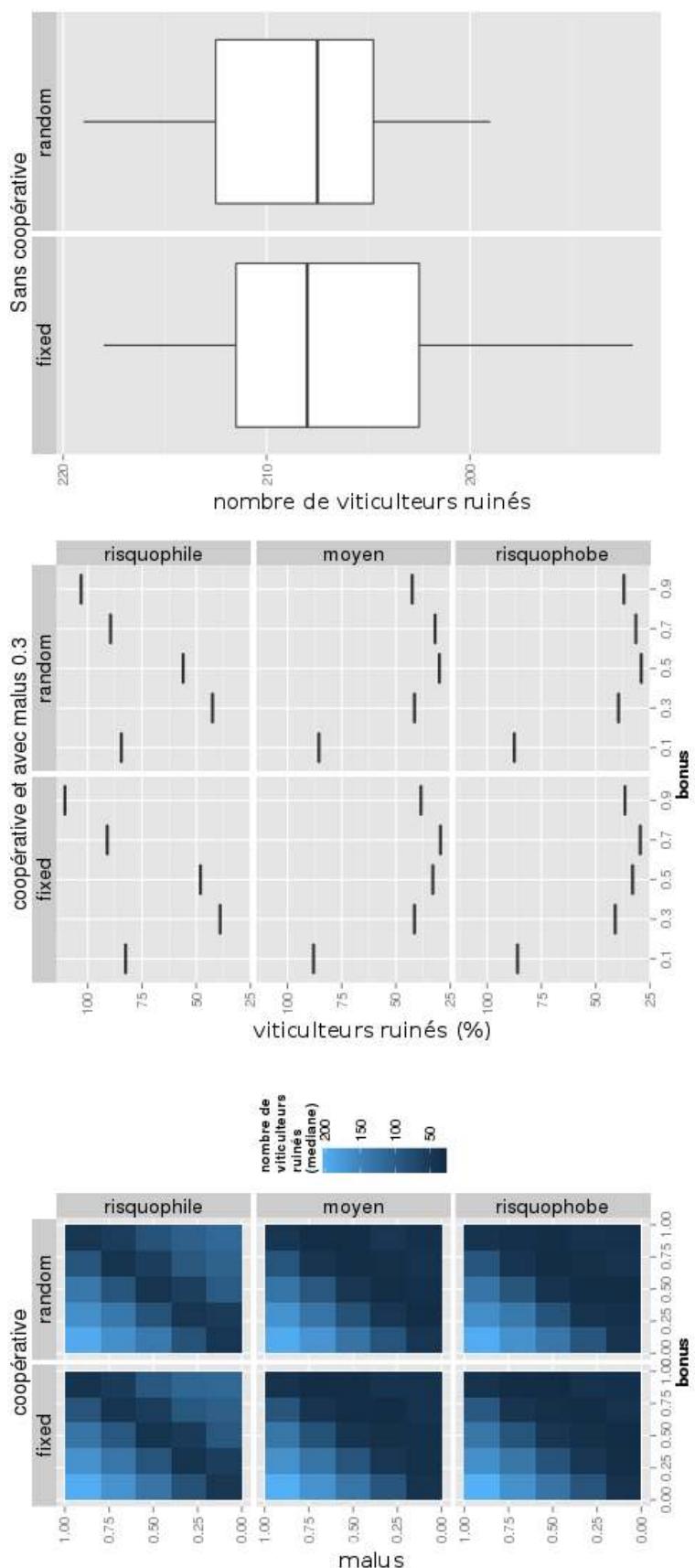


FIGURE 4.26 – Évolution du nombre viticulteur ruiné

L'étude attentive des graphiques centraux nous permet de prendre conscience de la dispersion des résultats quand le *bonus* est inférieur au *malus* tandis que la médiane est relativement proche. Le contexte de la simulation va jouer sur les surfaces finales, car le contexte risquophile a tendance à réduire les surfaces viticoles en fin de simulation par rapport aux deux autres contextes.

Dans les simulations où il n'y a pas de coopérative (fig. 4.27), on remarque que la médiane des surfaces simulées (autour de 3500) est proche des situations en contexte coopératif et l'est davantage en contexte risquophile.

Quant aux deux populations qui émergent de l'existence de la coopérative : les coopérateurs (4.28(a)) et les individuels (4.28(b)), il apparaît que le type d'exploitation est relativement différent.

En système coopératif, on atteint des valeurs de pente généralement plus élevées que dans le cas d'une viticulture individuelle. Ces valeurs sont exacerbées en contexte risquophile.

Le graphique de droite de la figure 4.28(b) représente la pente des exploitations individuelles avec des résultats largement dispersés.

4.2.3.3 Disparition - faillite de la coopérative, que reste-t-il du territoire ?

Prenons maintenant 4.29 le comportement du système dans le cas d'un territoire où la coopérative disparaît. L'exploration des résultats sera bien sûr à mettre au regard des figures précédentes, en gardant à l'esprit que nous nous sommes placés dans une configuration avec un α fixe et un *malus* de 0.3.

L'indice de Gini (fig. 4.29(a)), quelle que soit la valeur du *bonus* attribué avant que la coopérative ne périclite, reste très élevé (autour de 0.8), ce qui signifie qu'il y a plus d'inégalité dans le système où une coopérative a auparavant existé, par rapport à un système avec une coopérative en place ou encore dans celui qui ne l'a jamais accueillie (fig. 4.25).

Le nombre de viticulteurs ruinés (fig. 4.29(b)) est bien au-delà des effectifs que nous observions sur la figure 4.26 en situation de coopération, et dans certaines configurations, il est également plus élevé que dans les simulations sans coopérative (celles où le *bonus* est inférieur ou égal au *malus*).

Enfin les surfaces viticoles (fig. 4.29(c)) sont-elles relativement équivalentes aux surfaces avec et sans coopérative de la figure 4.27 ? Les résultats sont sensiblement différents lorsque nous faisons le détail des surfaces moyennes par exploitation indépendante. En effet, la comparaison des graphiques 4.29(d) et 4.29(e) revèle que lorsque la coopérative disparaît, les surfaces moyennes des exploitations bondissent.

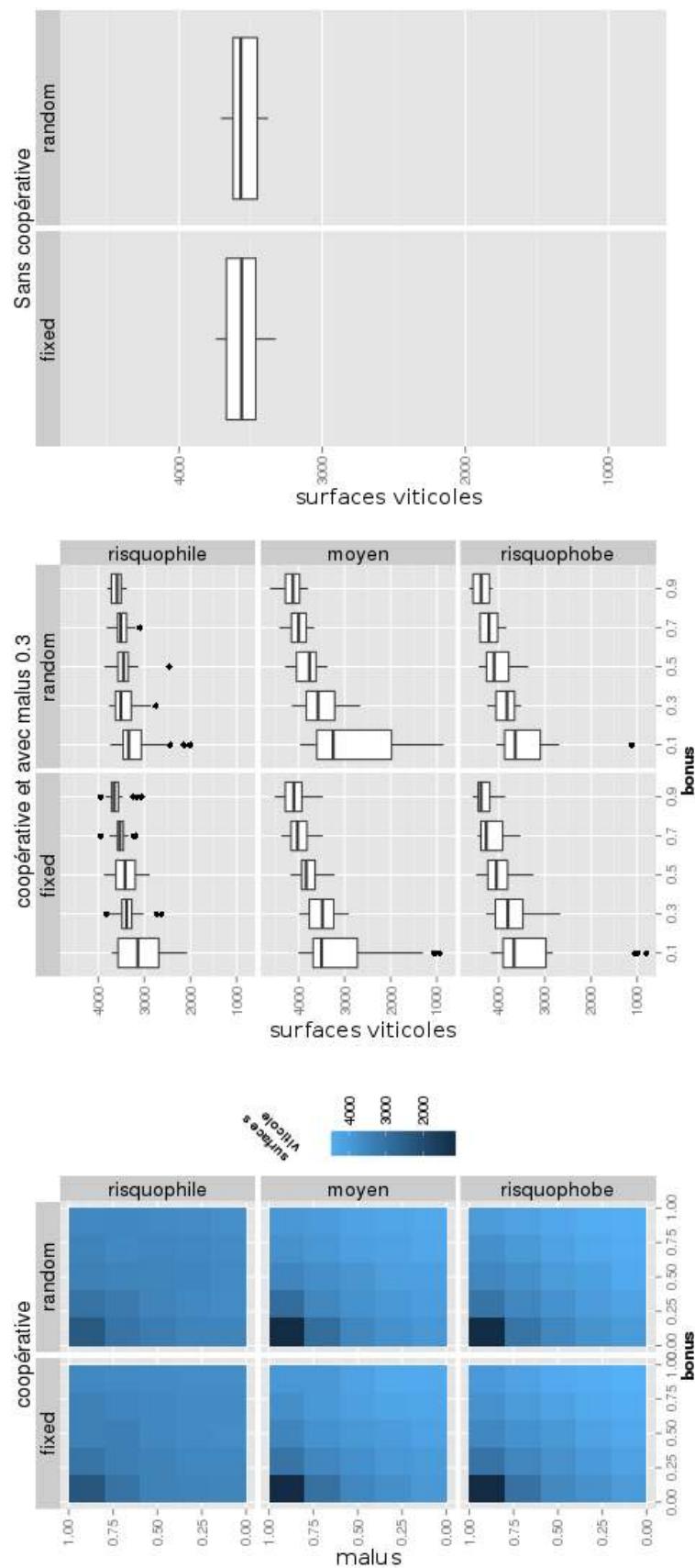
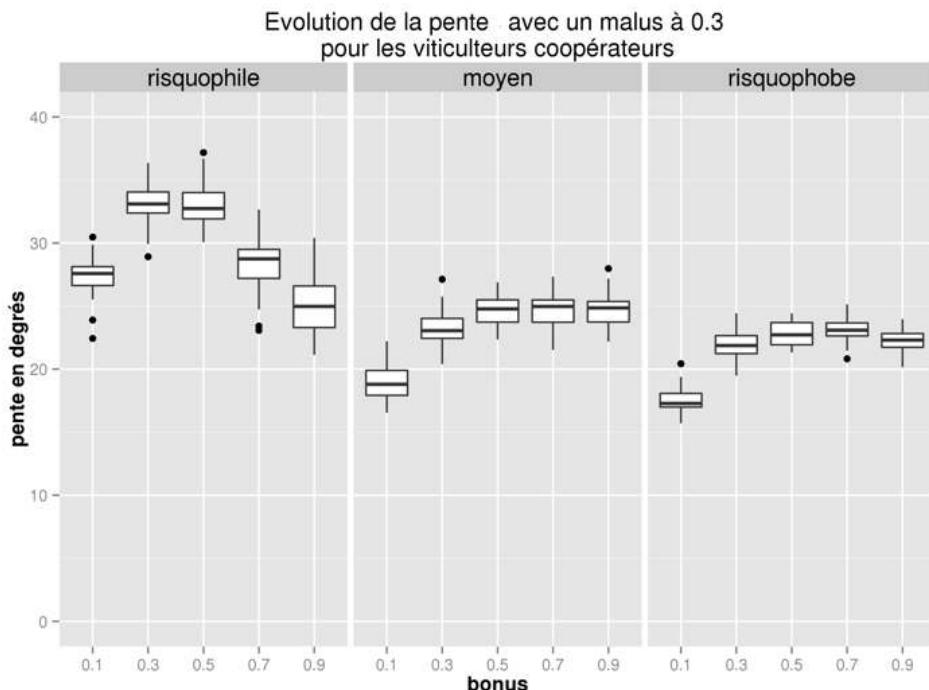
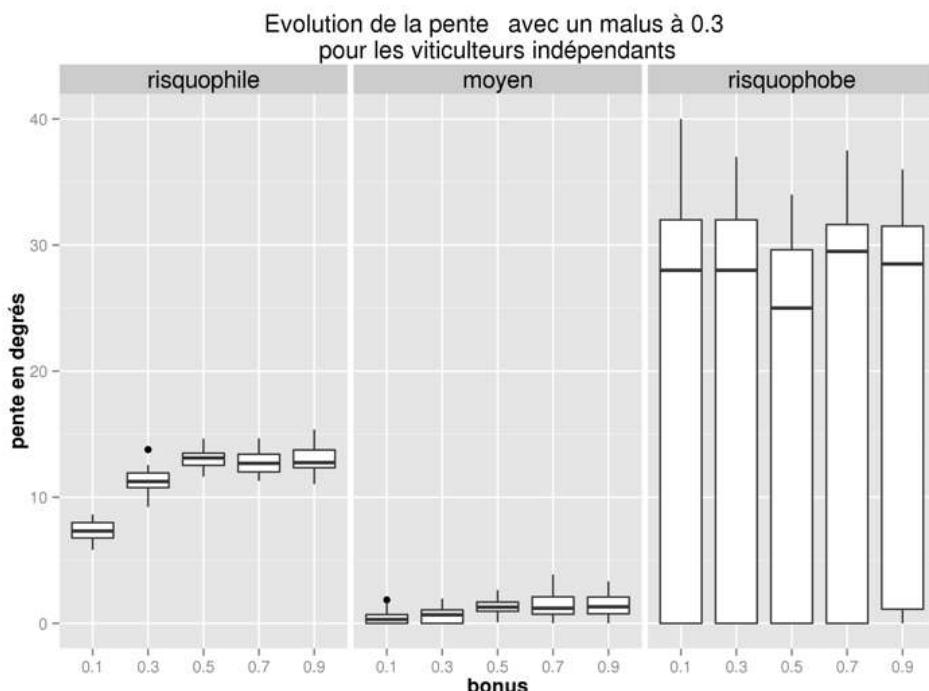


FIGURE 4.27 – Évolution des surfaces viticoles



(a)



(b)

FIGURE 4.28 – Évolution de la pente en fonction du statut des viticulteurs : (a) pour les viticulteurs coopérateurs (b) pour les viticulteurs indépendants

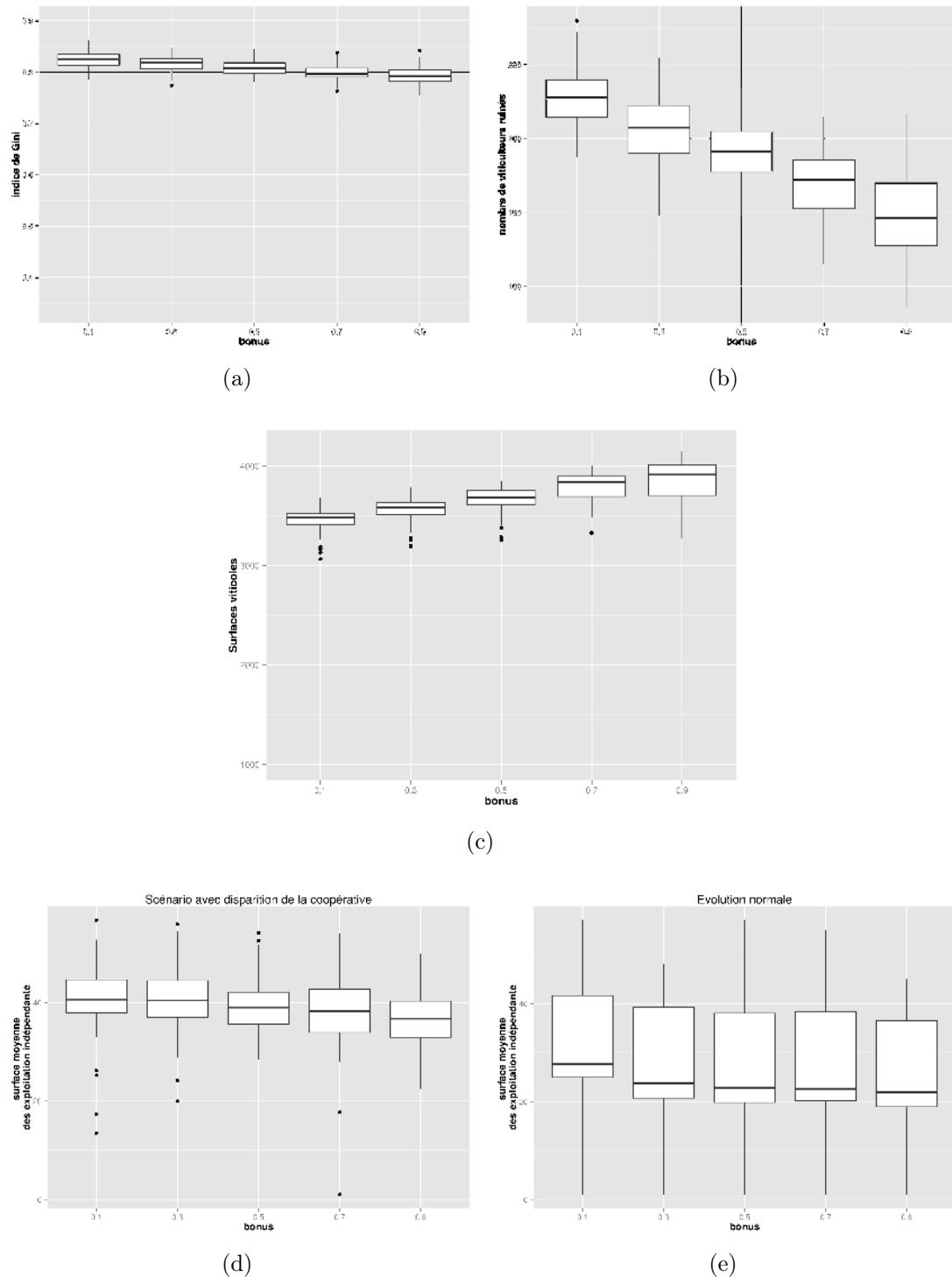


FIGURE 4.29 – Exploration d'un scénario « catastrophique ». La coopérative viticole disparaît en cours de simulation (30 itérations), l'observation est faite 20 itérations après. Le graphique (a) nous permet d'évaluer les conséquences sur l'indice de Gini, le graphe (b) sur le tissu social et le nombre de viticulteurs en faillite, et enfin le graphe (c) sur les surfaces toujours viticoles. Les graphes (d) et (e) reprennent respectivement la surface moyenne des exploitations indépendantes dans une situation où la coopérative disparaît, et quand la coopérative existe.

4.2.4 Discussions

4.2.4.1 Du tissu social au paysage

Nous ne pouvons que constater l'effet générateur d'inégalités (absolu) engendré par la coopérative au regard de l'indice de Gini (fig. 4.25). Or, en prenant du recul sur les résultats, nous nous rendons alors compte que la coopérative est dans sa définition même (celle proposée par JAYET (1993)) génératrice d'inégalités locales dans la mesure où elle permet aux acteurs d'atteindre ensemble un but commun. En ce sens, elle va se positionner à l'interface entre le marché mondialisé et la production localisée pour garantir au plus grand nombre « un niveau d'objectifs supérieur ».

Par là même, et pour confirmer le résultat du tableau 4.11, les petits viticulteurs pratiquant une viticulture à temps partiel comme les viticulteurs à plein temps vont trouver des débouchés au travers d'une même structure.

Cela permettra au tissu social et spatial de continuer d'exister sans pour autant remettre en question le maintien et la consolidation des positions sociales (BORT 2003, p.96). La coopération n'est donc pas la « revanche sociale des petits apporteurs [...] c'est une continuité qui apparaît avec l'avènement coopératif »²⁶ car les inégalités se font toujours sentir du point de vue des revenus de la vigne, mais ce type de structure laisse ouverte la possibilité aux petits apportants d'exister.

Le peu d'effet sur la médiane des résultats de la figure 4.27 nous questionne sur l'échelle à laquelle nous pouvons penser les effets de la coopérative. Comme pour l'effet de la coopérative au niveau des structures sociales, celui sur le paysage viticole est à chercher plus finement que simplement à l'échelle du territoire. Autrement dit, la coopérative va influencer les viticulteurs, l'effet positif, s'il n'est pas visible sur le fonctionnement général du territoire, peut être identifié en explorant les comportements économiques et fonciers individuels.

La figure 4.28 indique à quel moment la coopérative opère un changement de comportement. Grâce à elle, les surfaces viticoles plus complexes à cultiver, à savoir les espaces de pentes sur lesquelles les marges de manœuvre quant à la réduction des coûts de production sont plus faibles, peuvent être maintenues.

Ce maintien, une fois rapporté aux conditions d'existence de la viticulture sur des territoires tels que l'AOC du cru Banyuls ou le Val di Cembra (Trentino, IT) laisse entrevoir le poids de la structuration sociale sur le paysage. Or, dans ces deux situations, le paysage viticole est largement utilisé pour la mise sur le marché des produits du territoire (ALCARAZ 2001).

Le système coopératif si largement décrié comme « une forme d'archaïsme inadaptée aux enjeux actuels de la mondialisation » (J.-F. DRAPERI et TOUZARD 2003) serait sans doute

26. Dans son article BORT (2003) parle de la coopérative de Saint Christophe dans l'Hérault.

à considérer comme un catalyseur historique de ces paysages.

4.2.4.2 La disparition de la coopérative

La disparition d'une coopérative a tendance à augmenter les inégalités sur le territoire au-delà des valeurs atteintes par le modèle où la coopérative est existante (et bien au-delà des résultats quand la coopérative n'existe pas).

La disparition de la coopérative met le territoire et les viticulteurs en difficulté, car ils doivent faire face du jour au lendemain au marché mondialisé tandis que la coopérative les en protégeait. Les stratégies d'extension ou de maintien de leurs exploitations ne sont donc plus forcément viables.

Le nombre de viticulteurs ruinés est supérieur ou égal aux valeurs sans coopérative dans les cas où le *bonus* est inférieur ou égal au *malus*, ce qui signifie que nous arrivons à retrouver des situations proches des simulations témoins. Si le *bonus* est supérieur au *malus*, les capitaux individuels des agents leur permettent de stabiliser leurs exploitations en diversifiant leurs typologies (malgré le surcoût lié à l'implantation dans des zones non viticoles) et ainsi stabiliser leur revenu lorsque la coopérative disparaît.

Les surfaces viticoles du système ne subissent pas d'évolutions majeures (fig. 4.29(c)), mais la grande différence se fait sur la taille moyenne des exploitations en comparant les graphes 4.29(d) et 4.29(e). La petite viticulture n'a plus sa place sur le territoire où la coopérative a disparu. On observe une réduction de la dispersion des résultats quand celle-ci disparaît. Cette disparition nous permet d'envisager assez facilement l'« asymétrie de l'information sur l'objectif primordial [qui] se dessine donc entre les administrateurs » qui sont généralement de gros producteurs « et les autres coopérateurs »²⁷ (LAMBERT 2003, p.242). Cette asymétrie est exacerbée dans un contexte de montagne où les conditions structurales et culturelles ont créé des populations pluriactives très nombreuses qui doivent faire face à une *élite de viticulteurs professionnels* qui siègent aux instances. Le modèle met en lumière le comportement « prédateur » des agents qui, profitant de l'abandon de leurs collègues, rachètent leurs parcelles à bas prix.

Le fait que les surfaces cultivées ne s'en trouvent pas changées est intéressant, mais il doit néanmoins être pris en compte avec circonspection dans la mesure où les agents viticulteurs ne sont limités dans leur extension que par leurs ressources économiques ; la main d'œuvre étant virtuellement illimitée.

Dans la réalité, l'extension du vignoble est largement tributaire des capacités de travail qui ne sont pas infinies. L'intégration de ce type de mécanisme pourrait faire l'objet d'une extension de modèle.

27. Ici LAMBERT (2003) a travaillé sur les coopératives de Listrac et de Ruch.

4.2.5 Conclusion

Notre modèle évalue les contours résultants des phénomènes modélisés à différentes échelles : à l'échelle du territoire (phénomènes émergents), mais aussi à l'échelle des types de population viticole (coopérateurs et indépendants). La disparition de la coopérative met en évidence l'existence d'une viticulture faite de petits producteurs qui ne peuvent pas prendre seuls le tournant de l'individualisation. Interrogeons-nous sur les causes qui amènent la coopérative à disparaître soudainement.

Si l'on considère qu'il se crée effectivement une « élite viticole » constituée de gros apportants (au sens de BORT (2003)) siégeant au conseil d'administration, inévitablement les petits apportants se trouvent exclus des processus de décision courants (asymétrie de l'information), nous pouvons donc considérer « d'une certaine façon, [que] la position hégémonique de la coopérative sur le territoire déresponsabilise le vigneron »(TRAVERSAC 2003, p.118). Elle cache aux agents du système les effets sur la demande locale du marché connecté à la coopérative, ce qui peut vouloir dire que si la coopérative venait à disparaître, le marché global des vins de la zone risque d'en pâtir (au moins temporairement). Cela nous amène à réinterroger la responsabilité des viticulteurs riscophiles qui quittent la coopérative, vis-à-vis du territoire.

Du point de vue de la coopérative, l'objectif est de proposer à la commercialisation un produit de qualité. Pour obtenir des coopérateurs qu'ils s'inscrivent dans cet démarche, elle mobilise des outils coercitifs qui s'appliquent sur le lien entre la structure et le coopérateur.

« *les coopératives ont donc conscience qu'ils [les coopérateurs] ne chercheront pas d'eux-mêmes à améliorer leurs comportements de production* » (LAMBERT 2003). Si des tentatives vont dans ce sens-là sur le cru avec la mise en place de la charte Agri-Confiance®²⁸ qui vise à introduire des normes de maîtrise de la qualité au sein des coopératives françaises (SCHIRMER 2007a). Le GICB émerge à cette contractualisation, ce qui implique un suivi des itinéraires techniques plus clair et plus transparent. Les viticulteurs ne répondant pas à ces normes feront l'objet de récrimination. Dans le chapitre suivant, nous explorerons donc les implications de la mise en place de ce type de mesures sur la structure sociale et spatiale des viticulteurs. Pour cela nous placerons le modèle dans un contexte de changement climatique dans lequel la coopérative doit maintenir une production de « qualité » constante dans un environnement changeant. « *L'enjeu essentiel se situe dans l'acceptation des nouvelles règles par la majorité des coopérateurs. Pour ces derniers, la rémunération est le critère le plus synthétique pour indiquer la position relative de chacun par rapport à l'effort attendu par la coopérative. En modifiant le système de rémunération,*

28. Développé par la Confédération française de la coopération (CFCA) « *Agri-Confiance® répond concrètement aux demandes de traçabilité, de transparence et de sécurité des aliments* »<http://www.agriconfiance.coop/> site consulté le 11 août 2014.

la coopérative cherche à influer sur le comportement économique des coopérateurs » (LAMBERT 2003).

Conclusion du chapitre

Ce chapitre, avec les modèles LAME et CiVIIsMe, met en lumière certains mécanismes qui occupent une place prépondérante dans la dynamique des paysages viticoles. Cette étape dans la délimitation de notre objet de recherche nous permet de montrer l'importance et l'ordonnancement des certains facteurs dans la construction sociale de l'objet territorial qu'est le vignoble. Ainsi la pente semble jouer un rôle fondamental sur la stratégie d'implantation de nouveau vignoble, tandis que l'accessibilité, elle, influence davantage le choix de prise ou de reprise de certaines parcelles.

Le modèle LAME nous permet également de souligner ce qui s'apparente à un signal faible en prospective. En effet il reproduit un phénomène de colonisation des espaces viticoles de fortes pentes, aujourd'hui marginalisés et délaissés, par des entreprises viticoles à forts capitaux. Autrement dit, LAME montre un retour et/ou une réappropriation de ces zones de fortes pentes par des entreprises viticoles ayant réussies à asseoir leur assiette de capitaux pour se relancer dans les coteaux.

Le modèle CiVIIsMe, quant à lui, nous offre la possibilité d'explorer les effets de la coopération viticole sur les territoires en adoptant le point de vue de la population viticole, mais également de la coopérative. Nous montrons par la simulation que la coopérative favorise et renforce la petite propriété en réorganisant l'équilibre des unités élémentaires production – élaboration – commercialisation. En cela, elle édifie une unité complexe fondamentale sur les territoires en conditions structurales difficiles. AURIAC (2000, p.115) le souligne d'ailleurs dans ses travaux en lui attribuant une fonction réductrice d'entropie dans le vignoble-système. Par ailleurs l'intégration des notions de riscophilie et riscophobie des territoires nous donne à penser les territoires sous contraintes socio-histoiques. Les différences de conception de l'objet coopératif tel que nous l'avons souligné entre la Côte Vermeille et le *val di Cembra* influence les formes d'exploitations qui verront le jour.

Chacun de ces deux modèles a été construit dans l'optique d'une exploration *top-down* du territoire, en proposant aux acteurs des représentations et en les faisant évoluer *a posteriori*. Dans la suite de ce travail, nous vous présenterons deux modèles qui s'inscrivent dans une démarche *bottum-up*, construits à partir de questionnements émergents des premiers échanges autour des modèles que nous avons présentés dans ce chapitre et le précédent.

Chapitre 5 :

Des modèles théoriques aux modèles opératifs, l'espace comme objet de formalisme.

Introduction du chapitre

« [...] j'ai trahi mon but si j'ai paru vous engager à admirer d'abord les hommes. Ce qui est admirable d'abord, c'est le terrain qui les a fondés. »

SAINTE-EXUPÉRY (1939, p.160)

Les chapitres 3 et 4 nous ont menés simultanément vers deux axes de la grille de lecture proposée par BANOS et SANDERS (2013), que nous avons repris sur la figure 2.15. Dans ce chapitre nous aborderons les deux derniers modèles que nous avions commencé à vous présenter dans le chapitre 2 à savoir *Acidity GIS* et *CeLL*.

Les modèles précédents se sont employés à répondre à des questions relativement éloignées des préoccupations quotidiennes des acteurs de terrain comme les viticulteurs ou les techniciens viticoles. Face à ce constat, en parallèle des constructions de simulations précédentes avec les acteurs, nous avons également conçu des modèles résolument plus *data-driven* à une échelle spatiale plus grande, favorisant ainsi leur remobilisation par les parties prenantes.

Ces choix méthodologiques nous ont placés, en tant que géographes, en jonction avec les sciences agronomiques (physiologie, protection de culture, etc) et de la climatologie. Ce type d'approche nécessite, en plus du travail habituel d'observation et d'entretien, de disposer/récolter des données quantitatives influençant les mécanismes qui seront modélisés et simulés. Dans le cadre de nos travaux, les rencontres scientifiques, la contrainte temps et de moyens techniques ont largement conditionné les problématiques de ces deux modèles.

Nous aborderons donc avec *Acidity GIS* les problématiques de changement climatique dans le cadre d'une viticulture de montagne ou de fortes pentes. Les questionnements liés à cette problématique sont à la confluence de deux facteurs déterminants. Le premier est notre implication dans l'ANR TERVICLIM depuis 2011, qui nous a permis de disposer de capteurs de température placés sur les deux territoires d'étude. De cette façon, nous avons eu accès à des données à une échelle fine aussi bien sur le plan spatial que temporel. Le second facteur est lié aux acteurs, et a émergé lors de différents entretiens sur les risques liés aux changements climatiques. Dans ce contexte de changement climatique, il s'est avéré que la menace la plus concrète perçue par les viticulteurs concernait un problème viral de la vigne désigné sous le nom générique de « maladies du bois¹ ». Or nous n'avions

1. Les 3 principales maladies du bois en France sont l'eutypiose, l'esca, et le black dead. C'est un gros sujet de préoccupation pour les viticulteurs, car elles ont pour effet de détruire les souches attaquées

pas suffisamment d'informations ni de connaissances techniques sur ces questions pour nous y aventurer. En outre, les coopératives se questionnaient à ce moment-là sur les implications du changement climatique et les opportunités offertes par l'altitude. Dans le Trentino des initiatives de négoce² avaient été engagées dans ce sens, sans pour autant interroger le secteur coopératif. Nous avons donc exploré les conséquences du changement climatique pour la viticulture de montagne et de fortes pentes, de même que les capacités d'adaptation qui lui sont liées.

Si le modèle *Acidity GIS* s'adresse encore à un niveau de gestion territoriale supérieur à celui sur lequel les viticulteurs ont prise, le modèle CeLL lui vise à répondre à leurs demandes de compréhension de problématiques concrètes et mobilisables à leur échelle. Cette requête s'est concrétisée ici par la conjonction de 3 facteurs qui ont abouti à la formalisation d'un modèle sur la diffusion du parasite *Lobesia botrana* (l'eudémis) à très grande échelle. Le premier de ces facteurs est encore une fois notre participation à l'ANR TERVICLIM, car l'eudémis est une espèce thermosensible multivoltine³. Le second facteur est l'existence, au Groupement de Développement Agricole (GDA) du cru Banyuls et des Albères, de données de comptage de vols de mâles piégés dans des pièges à phéromones. Ce comptage est effectué depuis 1999 sur des parcelles témoins. Enfin, le dernier facteur est le travail de portage d'un modèle statistique a-spatial développé par Amélia CAFFARRA⁴ revisitant les travaux de COSSU *et al.* (1999) dans une problématique spatialisée grâce au SMA et aux données viticoles de la Côte Vermeille.

Ce chapitre nous permettra de présenter ces deux modèles, nous donnant ainsi la possibilité de nous approcher encore plus finement des territoires à l'échelle d'un bassin versant pour *acidity GIS* et d'un îlot de parcelles pour CeLL.

(LARIGNON et BOIS 2007). D'après les techniciens des zones en question, sur la Côte Vermeille et dans le val di Cembra, c'est principalement l'esca qui est identifié sous le vocable de maladie du bois.

2. Une initiative prise par la *cantina Ferrari* qui produit du vin effervescent. <http://www.ferraritrento.it/> site consulté le 28 février 2015.

3. En zoologie, cela qualifie une espèce d'insecte donnant naissance à plusieurs générations par an. <http://fr.wiktionary.org/wiki/multivoltin> site consulté le 28 février 2015

4. Laboratoire d'Écophysiologie des Plantes sous Stress Environnementaux de l'INRA de supagro-Montpellier.

5.1 Le modèle acidityGIS : la coopérative comme levier d'adaptation au changement climatique pour la viticulture de montagne

Le modèle *Acidity GIS*

Échelle spatiale : modèle pensé à l'échelle du bassin versant de la Baillaury, sur la commune de Banyuls-sur-mer

Agents : sont mobilisés dans ce modèle, une grille de cellules, une coopérative et des viticulteurs coopérateurs

Question(s) :

- La coopérative est-elle le niveau d'agrégation sociale qui permet de s'adapter au changement climatique sur les territoires de pentes ?
- Quels sont les effets sur la structuration du territoire de la mise en place d'un paiement différencié sur la qualité de la vendange ?

Sur les territoires de montagne, la pente est vécue comme une contrainte forte. Aujourd'hui, dans le contexte de changement climatique, des solutions d'adaptation sont cherchées du côté de la génétique, de l'irrigation, ou d'innovation dans les pratiques culturelles. Mais la montagne ne pourrait-elle pas être perçue comme une partie de la solution concernant l'adaptation locale au changement ? Dans cette section nous explorerons donc les conséquences du changement climatique pour la viticulture de montagne et de fortes pentes en soulignant le rôle majeur que pourrait jouer l'outil de production qu'est la coopérative pour influencer les dynamiques de territoire, maintenir une qualité stable dans un contexte changeant, sans bouleverser les équilibres économiques.

Introduction

Les agro-systèmes sont des éco-systèmes complexes maintenus sous contrainte par l'Homme pour assurer une production. Or la production agricole en général et la viticulture en particulier, est largement tributaire des contraintes environnementales.

Depuis plus de 20 ans, le GIEC travaille sur l'évolution à long terme du changement climatique et sensibilise les populations aux dérives climatiques qui peuvent survenir. Le changement climatique serait donc une contrainte forte qui viendrait s'ajouter à celles pesant déjà sur la viticulture (G. V. JONES *et al.* 2005; NEMANI *et al.* 2001; WHITE *et al.* 2006).

Les enjeux deviennent donc de plus en plus pressants, et des controverses apparaissent quant au devenir de la viticulture (HANNAH *et al.* (2013) vs VAN LEEUWEN, SCHULTZ *et al.* (2013)). Si le changement climatique n'est pas contesté, ce sont les capacités des

viticulteurs à tirer profit de leur environnement et de pratiques culturelles qui sont encore aujourd’hui à explorer.

Un ensemble de travaux abordent ces questions sous des aspects aussi divers que : la génétique et la phénologie de la vigne (DUCHÈNE *et al.* 2012), les aspects sociaux (VIGUIÉ *et al.* 2014), les pratiques culturelles (HERRERO-LANGREO *et al.* 2013) ou encore sous l’angle climatologique et spatial (MORIONDO *et al.* 2013 ; QUÉNOL et BONNARDOT 2014 ; BRICHE *et al.* 2014). De notre côté, nous avons opté pour une approche basée sur les systèmes multi-agents.

Par ailleurs, historiquement, les vignobles de qualité ont plutôt été plantés sur les terres pauvres de coteaux impropre aux cultures vivrières (PITTE 2010). Or aujourd’hui, la montagne est souvent vécue par les agriculteurs, et peut-être davantage par les viticulteurs, comme un handicap naturel avec lequel il est nécessaire de composer. L’Appellation d’Origine Contrôlée (AOC) de Banyuls-Collioure, dans le département des Pyrénées orientales, peut être considérée comme l’un de ces espaces où « l’homme a été capable de former ces paysages si emblématiques à la manière des utopies agrariennes postmodernes » (BRIFFAUD et DAVASSE 2012). Ce paysage qui fait territoire, largement patrimonialisé (FRANÇOIS *et al.* 2006), utilisé comme vecteur de marketing (TEMPESTA *et al.* 2010 ; ALCARAZ 2001), est petit à petit délaissé.

Les quatre communes qui composent l’AOC du cru Banyuls-Collioure sont situées entre mer et montagne (figure 1.14(a)). L’altitude s’élève du niveau de la mer à 988 m (sur les contreforts du “Massif des Albères”) en une pente variant de 0 et 180%. Son climat peut être identifié comme méditerranéen (CARBONNEAU *et al.* 2007) ou Csa selon la classification de Köppen (PEEL *et al.* 2007). La structuration sociale donne une très large dominance au système coopératif et à une viticulture de petite taille⁵.

En 2012, la viticulture représentait encore 1 300ha sur les quatre communes (soit un peu moins de 25% des surfaces communales) cultivés par environ 680 viticulteurs. Ce modèle d’une viticulture jardinée est depuis plusieurs années remis en question, car les transmissions d’exploitations sont rares et les coûts de production sont trop élevés (c.f. chap. 1, p.23). Petit à petit, les zones hautes et pentues sont abandonnées. Le fait de positionner le modèle dans un contexte coopératif amène son lot de stimulations et de contraintes au territoire (c.f. pratique 4.2 ou encore TOUZARD, J. F. DRAPERI *et al.* (2003)). Parallèlement, les questions d’adaptation au changement climatique se font de plus en plus pressantes⁶. Alors que sont évoquées l’irrigation et la génétique pour amortir les modifications sur le produit lié au changement climatique, les territoires de montagne pourraient être en mesure de transformer leur handicap structural en atout pour le futur

5. La surface moyenne par exploitant en 2012 étant de 1.9ha alors que la surface minimum pour l’installation (SMI) sur la zone est de 2.5ha.

6. C.f le compte rendu du séminaire LACCAVE du 18 juin 2013 qui s’est tenu au syndicat viticole au Mas Reig à Banyuls.

par l'utilisation de l'altitude pour conserver un équilibre dans la maturité des vendanges. Quel serait donc le devenir de ces territoires si demain la montagne n'était plus vécue comme une contrainte, mais comme un territoire refuge pour supporter le changement climatique ?

Nous allons explorer ce questionnement par l'intermédiaire de simulations informatiques distribuées en nous intéressant aux stratégies d'auto-organisation mises en place par les agents pour répondre aux besoins de la coopérative en terme de qualité. Nous avons donc créé un monde de simulation, construit à partir : de données SIG , de relevés de terrain et de valeurs économiques relatives au territoire.

Nous nous inscrivons dans un individualisme méthodologique (AMBLARD 2010 ; BOM-MEL 2009 ; BOUDON 1991) qui s'intéresse aux comportements collectifs (propriété émergente de la structuration du paysage) comme une forme complexe résultante de comportements individuels (comportement des viticulteurs) et cela, au travers d'un modèle phénoménologique (VARENNE 2011).

5.1.1 Température et maturité de la vendange

Grâce au programme TERVICLIM nous avons, depuis 2011, installé sur l'AOC un réseau de 11 capteurs de température⁷ répartis sur les quatre communes de l'appellation (c.f. points sur la figure 5.2). Ces capteurs ont été installés sur des parcelles de Grenache noir conduit en gobelet. Ils nous permettent de récolter des données climatiques à l'échelle fine, que nous pouvons confronter avec des observations agronomiques effectuées sur le territoire (phénologie, concentration en sucre, degré d'alcool potentiel, *etc.*).

Une analyse de maturité⁸ est effectuée depuis la première année d'installation des capteurs. Avec ce modèle, nous avons cherché à établir un lien entre la température de l'année écoulée et l'acidité totale de la vendange. D'après BUTTROSE *et al.* (1971), LEEUWEN *et al.* (2004) et SWEETMAN *et al.* (2014), l'acidité totale de la vendange (en $g \times L^{-1}$ de H_2SO_4) est largement liée au millésime.

Grâce aux trois années de données dont nous disposons et à la littérature (BUTTROSE *et al.* 1971 ; SWEETMAN *et al.* 2014), nous avons pu déterminé qu'il existe une corrélation entre l'acidité totale au niveau de la parcelle et la moyenne des températures journalières au dessus de 10 ° C entre le 15 janvier et le 15 août (fig ; 5.1). Cette corrélation indique que pour une augmentation de 1 ° C, l'acidité diminue de 0.7 $g \times L^{-1}$ d'acide sulfurique.

Comme cette relation n'est pas très forte ($p\text{-value} = 0.076$), nous pouvons imaginer que cette évolution peut varier entre 0.5 et 1.2 $g \times L^{-1}$ d'acide sulfurique par degré Celsius. Pour ce modèle, nous avons utilisé une acidité totale de 0.7, mais nous avons également

7. Ces capteurs sont des *data loggeur* TinyTag® qui enregistrent la température toutes les 10 minutes.

8. L'analyse de maturité est effectuée en utilisant la méthodologie de l'institut Français de la Vigne et du vin (IFV).

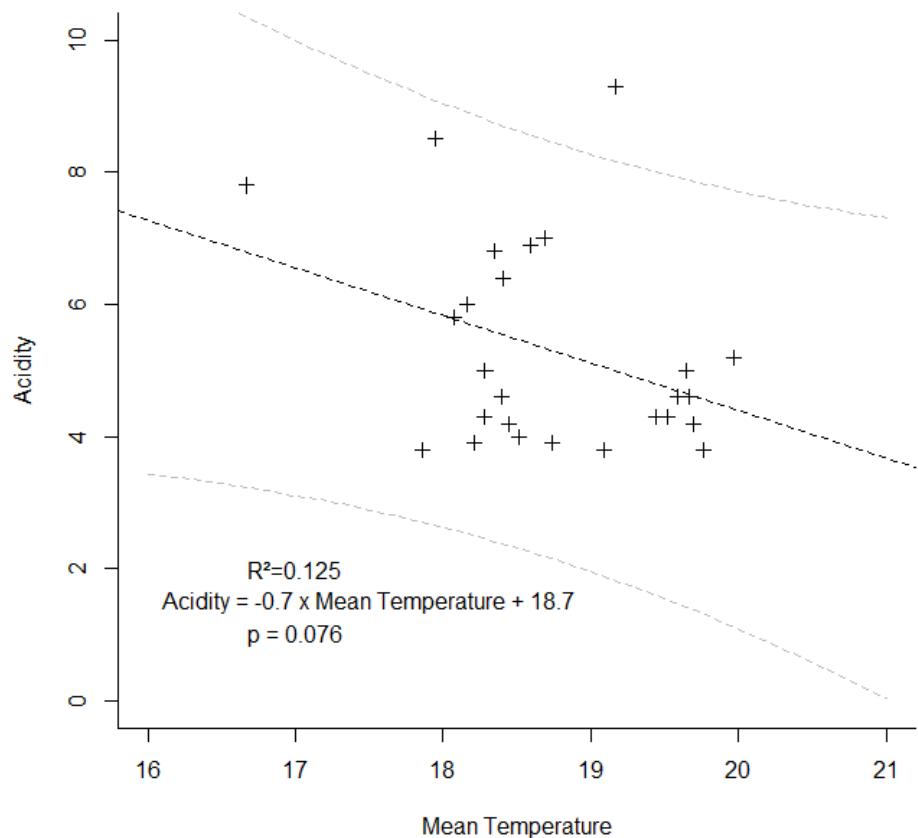


FIGURE 5.1 – Influence de la moyenne des températures journalières au dessus de 10 °C entre le 15 janvier et le 15 août sur l'acidité totale de la vendange au 15 août. Chaque point correspond à une parcelle expérimentale du réseau de capteurs TERVICLIM pour une des années 2011, 2012 ou 2013.

testé son comportement avec $1 \text{ g} \times L^{-1}$, et nous pouvons dire que les conclusions n'en sont pas impactées.

5.1.2 Matériels et méthodes

Le cadre du changement climatique se prête à la modélisation multi-agents dès lors que nous souhaitons explorer de manière empirique et itérative les réactions du monde mêlant environnement et interaction humaine comme c'est le cas pour les agro-systèmes (MOSS *et al.* 2001 ; LEHMANN, BRINER *et al.* 2013 ; LEHMANN, FINGER *et al.* 2013 ; NEETHLING *et al.* 2013).

Ce travail, bien qu'ancré territorialement, essaye d'apporter une réflexion globale sur la manière dont peut réagir et s'adapter un territoire viticole de montagne face aux nouveaux enjeux mis en lumière par la prise en compte du changement climatique dans les dynamiques territoriales.

Le modèle présenté dans cette partie a été développé sur la plateforme de modélisation Netlogo (WILENSKY 1999). Nous avons effectué l'analyse de sensibilité sur le cluster CALI⁹ grâce à OpenMOLE 0.9¹⁰ (REUILLO, LECLAIRE *et al.* 2013). Le traitement des données issues de l'analyse de sensibilité a été réalisé avec le logiciel de statistique R (TEAM 2014).

5.1.2.1 Développement du modèle

Objectif

Ce modèle vise à explorer la réponse d'un territoire (BRUNET et THÉRY 1993) à différentes politiques de rétribution des viticulteurs par la coopérative. À partir de relevés de terrain (relevés de température et analyse de maturité sur les 11 parcelles, c.f. figure 5.2), et d'entretiens avec les acteurs, nous avons formalisé un modèle multi-agents qui s'intéresse à la réponse des agents viticulteurs à la variation des exigences de la coopérative en fonction du climat.

Ce dernier mobilise des agents viticulteurs, tous coopérateurs, et une coopérative. Cette dernière doit faire face à des variations de qualité liées (dans ce modèle) à l'acidité totale de la vendange. Dans ce modèle, la température s'élève d'itération en itération, et l'acidité totale de la vendange dans les mêmes proportions¹¹.

Les observations du modèle se font à l'échelle du territoire, mais l'ensemble des mécanismes mis en œuvre ont lieu entre la coopérative et les viticulteurs, et entre viticulteurs

9. CAlcul en LImousin de l'Université de Limoges, financé par la région Limousin, les instituts XLIM, IPAM, GEIST, et l'Université de Limoges.

10. <http://www.openmole.org>, site consulté le 10 juin 2013.

11. L'acidité de la vendange est très fortement corrélée à la température (c.f. part 5.1.1).

en compétition pour l'espace. Leur objectif est de maintenir une acidité suffisante de leurs vendanges en fonction de la politique d'incitation définie par la coopérative.

Entités, variables d'état et échelle de travail

Les entités : dans ce modèle, nous avons intégré trois types d'entité : les parcelles qui sont des cellules de la grille (c'est l'unité spatiale de base), les viticulteurs et la coopérative.

Les variables d'état des entités : chaque parcelle (représentée par un *patch* dans Netlogo) se caractérise par : sa température, son acidité, la nature de sa couverture actuelle, son altitude, sa pente, son intérêt¹², son propriétaire, les gains à la parcelle, et les coûts de production de cette parcelle.

Les viticulteurs ont tous les mêmes attributs : leur capital, la moyenne de l'acidité sur leurs parcelles, la main-d'œuvre nécessaire pour cultiver toutes les surfaces dont ils disposent. À tout instant, ils sont capables de connaître le nombre et la position de leurs parcelles, mais également lesquelles sont enrichies.

Le dernier agent d'importance dans cette modélisation est la coopérative. En fonction d'un sous-modèle comportemental que nous développerons en 5.1.2.3, elle va mettre en place une grille de paiement différencié en fonction de l'acidité qui lui est livrée.

L'échelle temporelle : chaque itération du modèle représente une année, chaque tour nous ramenant à la situation d'acidité au 15 août. Cette date correspond aux valeurs d'acidité relevées sur les onze parcelles témoins et extrapolées à l'échelle du territoire (fig. 5.2). Ce sont ces données spatialisées que nous avons ensuite intégrées dans le modèle.

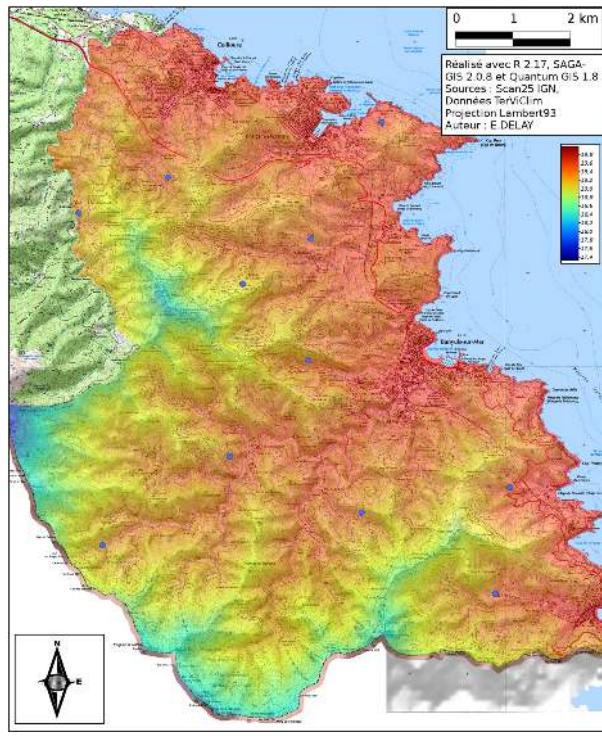
Cette échelle temporelle nous permet d'explorer les dynamiques spatiales qui sont liées aux dynamiques foncières en faisant abstraction des itinéraires de culture des viticulteurs. Nous effectuons 40 simulations et simulons 100 ans pour tester la stabilité et la sensibilité du modèle aux variations de paramétrisation, mais nous nous intéresserons plus particulièrement aux 50 premières années du modèle.

L'échelle spatiale : Nous situons ce travail sur l'AOC Banyuls – Collioure (Pyrénées-Orientales, France) sur une portion du territoire de 39 km² recouvrant une grande partie du bassin versant de la Baillaury sur la commune de Banyuls. La résolution de Netlogo est de 80x68 patches pour recouvrir parfaitement la projection de notre zone de travail.

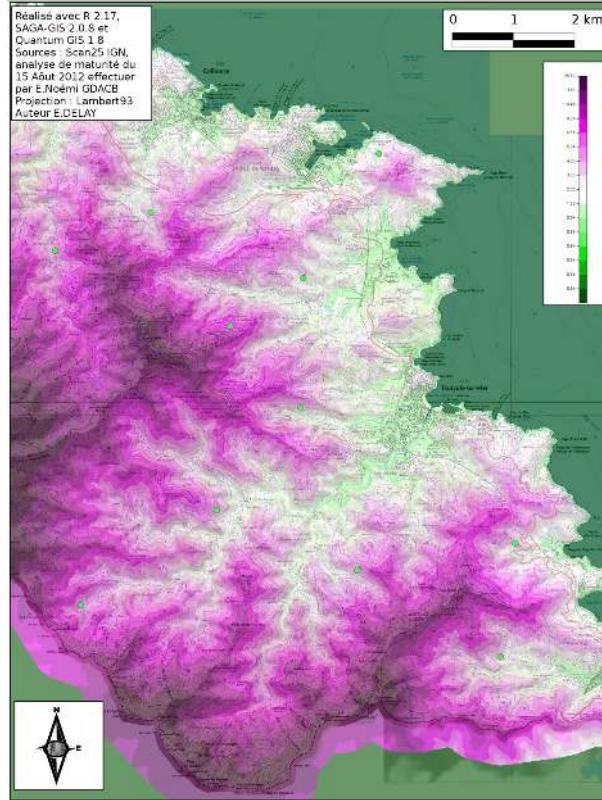
Processus et ordonnancement

Ce modèle est construit pour explorer le comportement d'un territoire viticole (ici spécifiquement l'AOC Banyuls-Collioure) soumis à une élévation de la température (dans le cadre du changement climatique). Il met donc en scène les mécanismes interactionnels entre le territoire (support physique de production vitivinicole) et le viticulteur. Le modèle

12. L'intérêt est une valeur composite permettant de synthétiser plusieurs autres valeurs (c.f. la sous-section 5.1.2.3 traitant des sous-modèles).



(a)



(b)

FIGURE 5.2 – Carte issue d'un traitement par régression linéaire sur les données de terrain. La figure (a) est le résultat de la spatialisation des températures le 15 août 2012 à partir des relevés sur les 11 parcelles. La figure 5.2(b) est le résultat de la spatialisation de l'acidité totale (en $g \times L^{-1}$) de la vendange issue de prélèvements effectués le 15 août 2012.

permet de suivre et d'explorer la réponse territoriale (des viticulteurs et des répercussions de leurs actions sur la structuration de l'espace), en fonction de différentes mesures de compensation (encouragement/dissuasion) instaurées par la coopérative.

Notre modèle est subdivisé en huit sous-modèles (détaillés en 5.1.2.3). Ils sont schématisés sur la figure 5.3 et se succèdent et s'organisent de la manière suivante :

- pour les parcelles (les numéros 1, 2 et 3 de la figure 5.3)
 - mise à jour de la température, avec une élévation de 0.2°C par itération, ce qui a pour conséquence de réduire l'acidité totale de la vendange ;
 - mise à jour des *bonus* et *malus* en fonction de l'évolution climatique. Ce *bonus/malus* est calculé par la coopérative pour chaque parcelle, en fonction de l'acidité locale, et de la stratégie de rémunération définie par la coopérative.
- pour les viticulteurs (le numéro 3 à 7 de la figure 5.3)
 - mise à jour de la main-d'œuvre nécessaire pour l'année. Si les viticulteurs peuvent étendre les terres qu'ils cultivent, ils ne peuvent le faire sans payer la main d'œuvre associée ;
 - mise à jour de l'acidité moyenne sur les parcelles. Le viticulteur évalue à chaque itération l'acidité moyenne sur toutes les parcelles dont il dispose. Cette valeur lui servira à prendre des décisions d'achat ;
 - mise à jour du capital. Le viticulteur reçoit les bénéfices de sa campagne de culture ;
 - abandon des parcelles ;
 - achat d'une parcelle en fonction du capital. Le choix de cette parcelle se fait également en fonction des valeurs d'acidité de la parcelle et de celles dont dispose déjà le viticulteur.

5.1.2.2 Concepts d'élaboration

Contexte scientifique

En viti-viniculture, le travail en cave peut être largement réduit si la vendange a mûri dans de bonnes conditions. Si les conditions de maturation sont généralement connues des viticulteurs et des techniciens, dans un contexte de changement climatique, les équilibres sont bouleversés. Nous avons modélisé sur ce territoire, entièrement composé de viticulteurs coopérateurs, plusieurs stratégies de rémunération de la coopérative liées au maintien de l'acidité totale de la vendange qui lui est livrée (c.f. partie sous modèle 5.1.2.3), et nous avons proposé des pistes de réflexion qui permettent d'envisager le développement territorial futur.

Tout au long de la simulation, l'élévation de la température annuelle va induire une diminution de l'acidité des baies lors de la maturation des raisins. La coopérative pourra

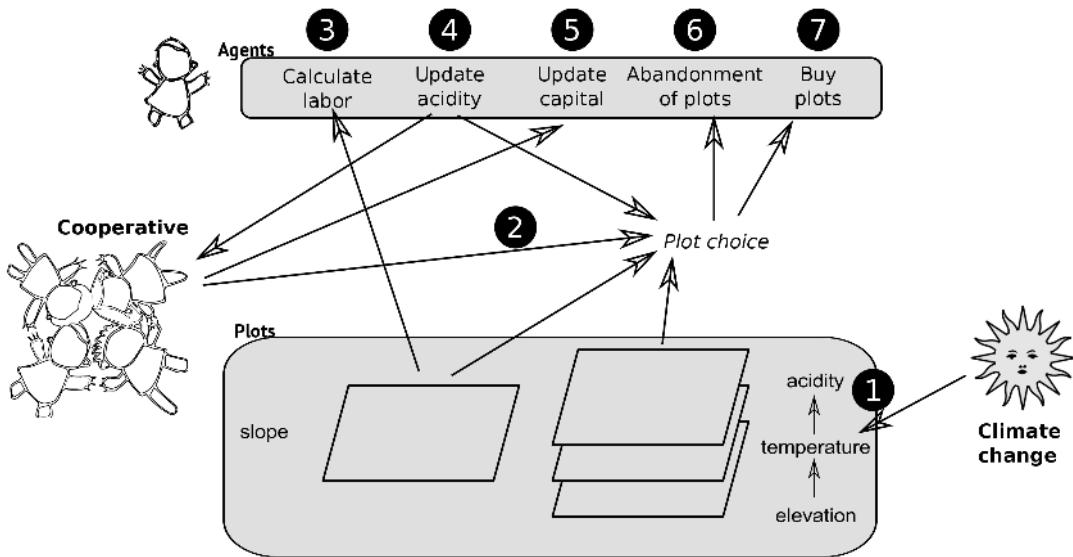


FIGURE 5.3 – Schéma général de l'ordonnancement des processus dans le modèle

mettre en place diverses politiques de cave basées sur une logique « non interventionniste » (où elle voit diminuer l'acidité totale de la vendange qui lui est apportée) jusqu'à « interventionniste » en favorisant les acidités extrêmes ou celles proches de l'acidité attendue en cave (c.f. partie sous-modèle et fig. 5.5).

En prenant en compte les différents paramètres des parcelles disponibles selon la stratégie définie par la coopérative, et en intégrant l'évolution conjointe de la température et de l'acidité totale pour chaque parcelle, le viticulteur choisira préférentiellement des parcelles d'altitude ou bien celles de fond de vallée, ou encore un mélange des deux.

Nous nous intéressons dans ce modèle aux mécanismes de structuration de l'éco-socio-système (GOFFIN 1998). Nous attachons une attention toute particulière aux mécanismes d'organisation de l'espace qui se mettent en place entre viticulteurs, basés sur la compétition pour les terres les plus attractives (voir 5.1.2.3 pour les détails du calcul de l'intérêt), et un abandon plus ou moins rapide des parcelles en fonction de l'intensité de la prime dispensée par la coopérative.

En particulier, nous observerons l'utilisation des espaces plus élevés pour échapper aux processus de maturation inéquilibrée dûs aux fortes chaleurs et fortes radiations de la zone de l'AOC. Le modèle nous permettra d'explorer différents *scenarii* d'évolution de la température, d'évolution de la prime et ainsi repérer voire anticiper l'impact de ces variables sur la structure du vignoble.

Processus de décision

Chaque viticulteur va tenter de pérenniser son activité et d'optimiser ses réponses au système en fonction de l'évolution de son environnement. Son environnement physique varie à cause du changement climatique, ce qui se traduit par une élévation de la température moyenne annuelle et une perte d'acidité totale de la vendange. Face à cela, la coopérative poursuit un objectif qui peut s'avérer contradictoire avec les pratiques des viticulteurs en essayant de maintenir une acidité totale stable dans la vendange rentrée.

La population viticole est incapable individuellement d'orienter la construction du paysage. La coopérative n'a pas d'accès direct à cette possibilité, mais ses stratégies de rémunération des viticulteurs ont des effets directs sur leur décision de mise en culture ou d'abandon de l'espace. C'est donc la combinaison de la stratégie adoptée par la coopérative et des actions des viticulteurs sur le territoire, qui va structurer le paysage.

Réflexes aux conditions extérieures

Ce modèle se déroule en contexte de changement climatique. Les agents viticulteurs en perçoivent les effets directement sur leur production mais ils ne sont pas engagés spontanément dans une démarche d'adaptation. Par contre, leur objectif est d'optimiser leur capital. Par ailleurs, la coopérative applique diverses politiques de valorisation de la production de ses coopérateurs. Elle peut donc mettre en place un mode de redistribution des bénéfices en fonction de la qualité de la vendange, et ainsi orienter les viticulteurs et le territoire vers le changement et l'adaptation.

Interactions

Suivant la politique choisie par la cave, la structuration du territoire et les logiques d'acteurs seront différentes. Nous pourrons observer un abandon des hauteurs, ou au contraire une course à l'altitude selon les paramétrages. Ces dynamiques reposent sur une compétition pour l'espace entre viticulteurs, et une optimisation des échanges entre ces derniers et leur coopérative en faveur d'une vendange de meilleur qualité.

Nous voulons mettre en évidence les parts de virtualisation et d'inhibitions (MORIN 2013) des forces humaines et environnementales sur le territoire qui conduisent aux phases d'extension et régression du vignoble.

Hétérogénéité

Toute l'hétérogénéité du modèle est liée à l'espace (comme pour le modèle LAME c.f. 4.1). Nos viticulteurs sont initialisés avec les mêmes variables si ce n'est la position géographique de leur siège d'exploitation et la disposition de leurs parcelles initiales. Si leur position géographique est totalement aléatoire, la position de leur parcelle ne l'est

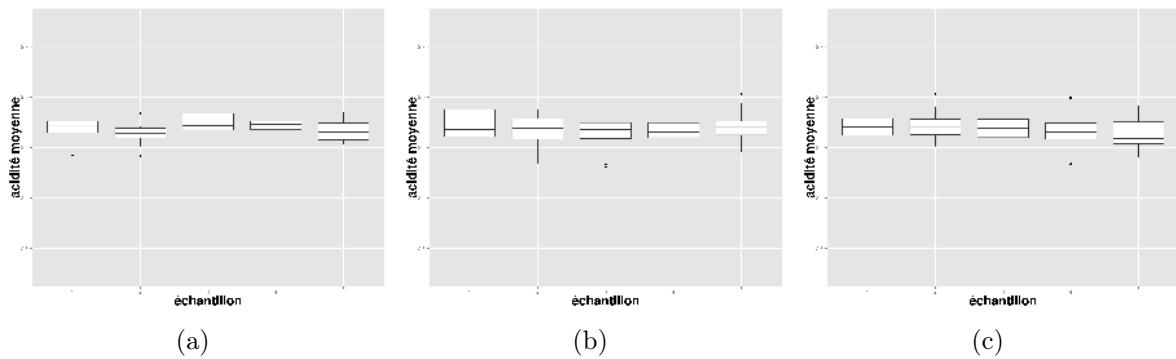


FIGURE 5.4 – Évaluation de la stochasticité des résultats du modèle en fonction du nombre de réplications effectué. En (a) avec 10 réplications, (b) avec 20 réplications, (c) avec 30 réplications

que partiellement. Elles sont situées dans un périmètre limité autour des agents, sur des surfaces qui sont aujourd’hui viticoles (lié à des données SIG).

Stochastique

Nous avons testé la stochasticité des résultats produits par le modèle pour être en mesure d’évaluer le nombre de réplications à effectuer (c.f. fig. 5.4). Pour cela nous avons effectué 1000 réplications d’un même jeu de paramètres, et effectué un tirage aléatoire des échantillons pour en constituer 10 groupes. Nous observons la variabilité de résultats sur 10, 20 30, 40 etc. échantillons tirés aléatoirement sans remise. On observe que pour 10 réplications la stochasticité des échantillons risque de fausser les résultats (c.f. fig. 5.4(a)), mais tend à s’effacer avec 20 et 30 réplications (c.f. fig. 5.4(c)).

Observation

Les données sont analysées pour chaque simulation (30 000 répétitions au total pour en analyser la sensibilité) et pour 100 ans du modèle. Parmi les résultats, nous nous intéressons plus particulièrement aux 50 premières années de la simulation durant lesquelles nous observerons l’évolution du nombre moyen de parcelles mises en culture, et à la proportion de parcelles en friche comme indicateurs des stratégies individuelles poussées par les mesures compensatoires de la coopérative.

Notre intérêt se portera également sur les valeurs moyennes d’acidité des parcelles (patches) viticoles comme indicateur de réussite de la politique mise en place par la coopérative, et sur les coûts que représentent ces politiques en observant les disparités de son capital en fonction des stratégies.

Enfin, nous avons développé un indice de fragmentation du vignoble, qui permettra de suivre les dynamiques du paysage perceptibles par les observateurs. Cet indice de fragmentation calcule le nombre de clusters de parcelles viticoles généré par le modèle. Ce

nombre sera confronté à une répartition aléatoire des clusters dans un monde aux dimensions équivalentes. Ceci nous donne en sortie un indice compris entre 0 et 1, qui tendra vers 0 quand la fragmentation aléatoire sera supérieure à la fragmentation observée (donc il se met en place une logique d'agrégation spatiale), et vers 1 quand les valeurs de clusterisation observées tendront vers les valeurs de clusterisation aléatoire théoriques.

5.1.2.3 Détails

Détails d'implémentation

Le modèle a été implémenté sous netlogo 5.0.5. L'analyse de sensibilité a été effectuée avec OpenMole sur le cluster CALI¹³.

Initialisation

Le modèle s'initialise sur la base de données issues d'un système d'information géographique pour tout ce qui concerne les variables environnementales. L'altitude, la pente, la température, l'acidité totale sont autant de valeurs spatialisées. Les données économiques sont, elles aussi, issues du territoire "à dire d'expert"¹⁴. Nous avons fait le choix, dans cette modélisation, de ne pas positionner l'emprise viticole exacte pour chaque viticulteur, mais de considérer l'emprise de la viticulture sur le bassin versant, et de répartir de manière aléatoire les viticulteurs à l'intérieur. En effet, nous n'avons pas travaillé sur la structuration sociale et spatiale intra-population qui aurait ajouté une couche de complexité. Il s'agit ici d'explorer la réponse que peut apporter la filière viticole aux différentes variations à l'échelle du territoire.

Lors de l'initialisation de chaque simulation, les données SIG sont chargées dans les patches en tant que variables locales. La ville de Banyuls est positionnée sur la carte et nous générerons de manière aléatoire une population initiale de 50 viticulteurs. Chaque viticulteur se voit doter de 10 parcelles dans un rayon de 5 parcelles autour de lui. La simulation commence véritablement dès l'instant où les viticulteurs ont pris possession de la surface viticole actuelle (chargée, elle aussi, à partir de données SIG).

La plupart des valeurs fixes sont des valeurs ayant trait à l'économie de l'AOC. Elles sont synthétisées dans le tableau 5.1

Variables de forçage

Il n'y a pas d'entrée externe au système une fois la simulation commencée.

Sous-modèles

13. CALI (CAlcuL en LImousin) est un serveur de calcul, financé par la Région Limousin, les laboratoires XLIM, SPCTS et GEIST, et par l'Université de Limoges.

14. Les données ont été recueillies auprès du Groupement de Développement Agricole du cru Banyuls et des Albères et de l'ODG.

Description des variables	valeur
Capital initial : est le capital qui permet au viticulteur d'effectuer ses premières campagnes de culture	6000
Le revenu par parcelle : il est fixe , quelle que soit la parcelle. Fixé pour la modélisation entre 5850 et 7800 suivant le type de vin fléché sur la parcelle (Banyuls ou Collioure)	5900
Le prix d'achat d'une parcelle jamais exploitée prend en compte tous les aménagements. Il est fixé ici pour toutes les parcelles	3000
L'acidité attendue par la coopérative	3

Tableau 5.1 – Variables d'initialisation du modèle

Au niveau de la "parcelle"

Mise à jour de la température : elle évolue de manière linéaire à chaque itération. Le coefficient directeur de la courbe peut être ajusté par l'utilisateur. Dans nos analyses de sensibilité, nous avons exploré le système avec augmentation de 0.02 degré Celsius par an. Celui-ci est initialisé avec les valeurs calculées par régression linéaire sur les données issues des capteurs de température installés dans le cadre de l'ANR TERVICLIM¹⁵.
Mise à jour de l'acidité : elle évolue également linéairement, mais de manière négative par rapport aux températures. Dans le modèle, elle est définie comme

$$acidity_t = acidity_{t-1} - evt \times 0.7 \quad (5.1)$$

où *evt* est le coefficient directeur de la droite de température, lequel est multiplié par 0.7 pour prendre en compte la corrélation avec la température. Comme nous l'avons déjà évoqué, la correction du coefficient de température sur les données que nous avons recueillies devrait être de 0.9, mais vu le peu d'épaisseur de nos données, il est plus opportun d'utiliser les valeurs d'une étude menée entre 1996 et 2006 sur Saint-Émilion (LEEUWEN *et al.* 2004)

Mise à jour du montant de la compensation par la coopérative : le comportement de la coopérative est commandé par deux fonctions résumées dans les quatre équations suivantes :

Dans le cadre d'une stratégie ouverte :

Si l'acidité locale de la parcelle est supérieure ou égale à l'acidité attendue :

$$a_c = (acidity - s)e^\mu \times \frac{bonus}{(s - max(acidity))e^\mu} \quad (5.2)$$

15. <http://terviclim.in2p3.fr/> consulté le 9 septembre 2013.

Sinon

$$a_c = (acidity - s)e^\mu \times \frac{bonus}{(s - min(acidity))e^\mu} \quad (5.3)$$

Dans le cadre d'une stratégie bornée :

La coopérative adopte un comportement plus complexe, où l'acidité attendue est bornée par une limite haute et une limite base. Dans ce contexte, l'équation 5.3 garde son domaine de validité. Mais si l'acidité de la parcelle est supérieure à ce qu'attend la coopérative :

Si l'acidité est supérieure à la moyenne de s et $s2$:

$$a_c = (acidity - s)e^\mu \times \frac{bonus}{(\frac{s2-s}{2})e^\mu} \quad (5.4)$$

Sinon, deux autres cas de figure :

Si l'acidité est strictement supérieure à $s2$

$$a_c = (acidity - s2)e^\mu \times \frac{bonus}{(\frac{s2-s}{2})e^\mu} \quad (5.5)$$

sinon

$$a_c = (acidity - s2)e^\mu \times \frac{bonus}{s2 - min(acidity)e^\mu} \quad (5.6)$$

où :

- a_c est la valeur de la *bonus/malus* à la parcelle ;
- s est le seuil du minimum d'acidité fixé par la coopérative, et dans un contexte borné, $s2$ est la limite maximale fixée par la coopérative ;
- $acidity$ l'acidité effective de la parcelle ;
- μ le coefficient de comportement de la coopérative ;
- $bonus$ est la valeur du *bonus/malus* proposée par la coopérative ;
- $min(acidity)$ et $max(acidity)$ sont les acidités totales théoriques au 15 août, obtenues par régression linéaire sur les valeurs de température.

La variation de μ va permettre de faire varier les orientations que la coopérative souhaite donner aux types de vendanges qui lui sont livrées. Comme nous pouvons le voir sur le figure 5.5, pour une simple variation de μ , le comportement de la coopérative va radicalement changer.

Pour un μ de :

- 0 le comportement est binaire. Si l'acidité est supérieure au seuil, le *bonus* est maximum, sinon le *malus* est lui aussi maximum ;
- 0.5 ce sont les valeurs proches des seuils qui vont être favorisées. En effet, par cette politique, les viticulteurs ne sont pas encouragés à conquérir les zones hautes, car la rétribution est proportionnellement plus importante pour les valeurs proches du seuil

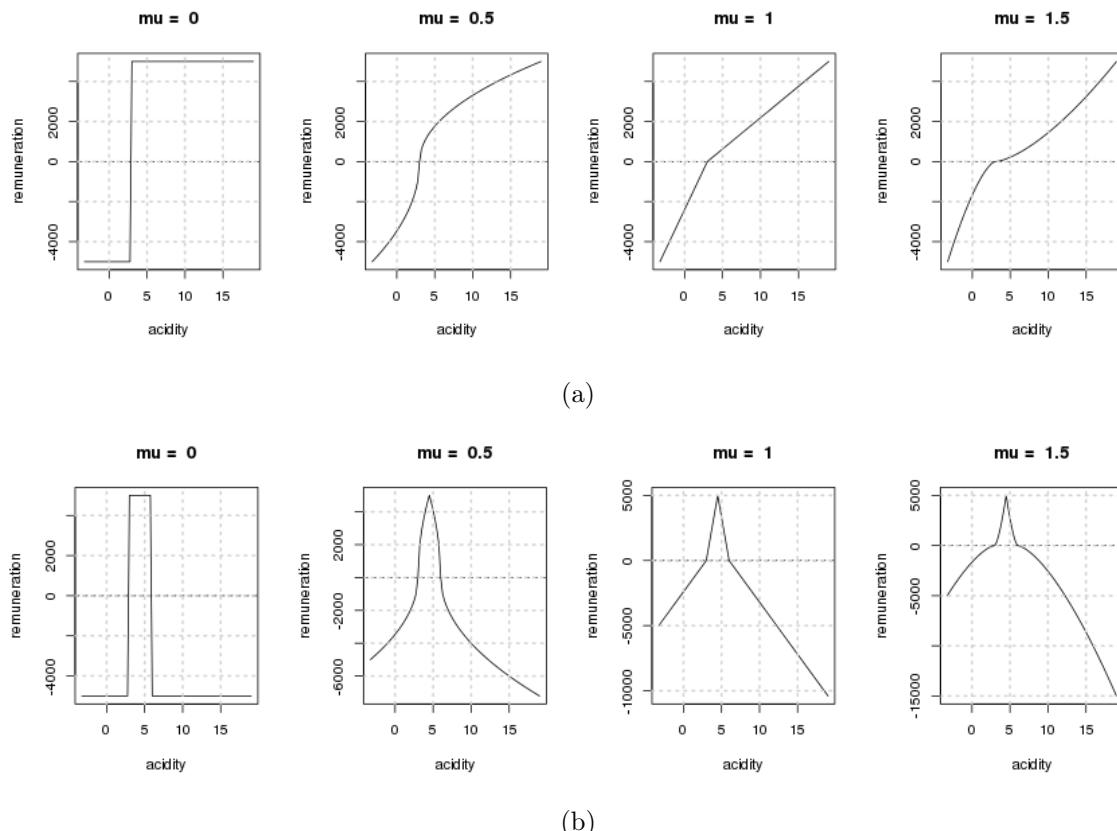


FIGURE 5.5 – Graphique de formalisation mathématique du comportement de la cave coopérative. Les graphes de la figure (a) reflètent le comportement de rémunération dans un contexte ouvert, tandis que les graphes de la figure (b) montrent le comportement de rémunération dans un contexte borné.

-
- que pour les extrêmes. De la même manière, une fois en dessous du seuil d'acidité, les acidités extrêmes sont proportionnellement moins taxées que les valeurs proches ;
- 1 la rétribution se fait de manière presque linéaire ;
 - 1.5 cette fois ce sont les valeurs extrêmes d'acidité qui sont proportionnellement favorisées. Un viticulteur gagnera plus à avoir des acidités supérieures et éloignées du seuil qu'à se contenter de répondre à la demande de la cave.

Toutes les valeurs de μ sont utilisables, ce qui permet théoriquement d'explorer tous les types de comportement face à l'acidité possible. Toutefois, pour ces simulations, nous nous contenterons des valeurs que nous venons d'évoquer.

Au niveau d'un "viticulteur"

Mise à jour de la main d'œuvre : la comptabilisation de la main-d'œuvre nécessaire à l'entretien du vignoble nous est apparue nécessaire. En effet, dans la mesure où, à l'initialisation, nous ne reconstruisons pas la structuration sociale des viticulteurs (en initialisant seulement 50 viticulteurs ayant tous le même nombre de parcelles), pouvoir évaluer la population mobilisée par la viticulture s'avère important, car elle permet de comprendre l'impact local de la viticulture. Nous avons défini la main d'œuvre comme :

$$Mo = \frac{n_p}{Ct} = \frac{np \times pente}{100} \quad (5.7)$$

où :

- n_p est le nombre de parcelles du viticulteur ;
- Ct la capacité de travail exprimée en unité surfacique. Elle évalue la surface qu'un viticulteur est capable de cultiver par an en fonction de la pente moyenne de son exploitation ;
- Mo la main d'œuvre nécessaire pour entretenir l'exploitation.

La figure 5.6 présente le résultat du calcul de Ct . Quand la pente est en dessous de 5% un viticulteur seul est capable de cultiver 10 ha, tandis que si la pente est de 45% il ne sera en mesure de cultiver que 2ha.

Mise à jour de l'acidité moyenne sur l'exploitation : à chaque itération le viticulteur va tenir une comptabilité de l'acidité moyenne effective sur son exploitation. Cette valeur sera l'un des critères de choix lors de l'achat/vente de parcelles.

Mise à jour du capitale : le capital de chaque viticulteur est mis à jour à chaque itération, en utilisant les coûts de production et les gains de l'ensemble de ses parcelles. Les coûts de production à l'échelle de la parcelle (apc) sont calculés de la même manière que pour

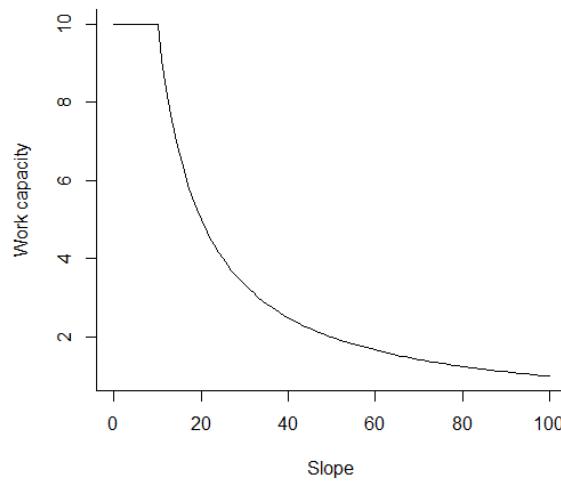


FIGURE 5.6 – Capacité de travail d'un Homme en ha en fonction de la pente en %

le modèle LAME. C'est à dire :

$$apc = (pente \times \beta) + (distance \times \gamma) + 2500 \quad (5.8)$$

où β et γ sont fixés grâce aux paramétrages de LAME (c.f. 4.1). Les gains (api) sont calculés de la manière suivante :

$$api = 5900 + a_c \quad (5.9)$$

Où 5900 correspond au prix de rémunération de la vendange par la coopérative, et a_c au *bonus* issu de la politique de cave proposée par la coopérative (c.f. équations 5.2 à 5.6). Les viticulteurs mettent à jour leur capital en calculant :

$$capital_t = capital_{t-1} + \sum_j api_j - \sum_j apc_j - (Mo \times 20000) \quad (5.10)$$

Où j représente les différentes parcelles, Mo la main d'œuvre (c.f. équ 5.7), et 20000 correspond au salaire annuel d'un employé.

Mise en friche d'une parcelle : Dans ce modèle, la mise en friche d'une parcelle est la seule solution pour qu'un viticulteur arrête de payer les coûts de production sur l'une de ses parcelles. Il y a deux possibilités pour qu'un viticulteur ait recours à cette pratique :

- il possède des parcelles qui n'ont plus « d'intérêt », il va alors regarder s'il y a des parcelles improductives (ce sont des parcelles dont les coûts de productions annuels sont supérieurs aux gains annuels) et va décider de la/les mettre en friche ;

-
- s'il se retrouve en difficulté financière (c'est-à-dire qu'il observe un diminution de son capital). Il va alors choisir d'arrêter de cultiver les parcelles qui lui rapportent le moins (qui ont le rapport coût de production-gain le plus faible).

Achat d'une parcelle : la condition importante pour l'achat d'une nouvelle parcelle est l'analyse de l'acidité moyenne des parcelles du viticulteur. Si son acidité moyenne est supérieure à 3 (seuil fixé par la stratégie de cave), il ne tiendra pas compte de l'acidité de la nouvelle parcelle lors de son achat. Dans le cas contraire, il ajoutera dans ses critères de recherche des parcelles dont l'acidité est supérieure à 3. Une fois passée cette première condition, le viticulteur décide d'acquérir une nouvelle parcelle quand son capital est supérieur aux coûts de production annuels et qu'il peut assumer les coûts supplémentaires de production d'une nouvelle parcelle sur les cinq années qui suivent. Les parcelles ne peuvent être achetées que dans un rayon de deux parcelles autour des parcelles déjà cultivées par ce viticulteur. Enfin, une préférence sera donnée à la parcelle dont les coûts de production sont les moins élevés.

5.1.2.4 Simulation

Nous avons effectué une analyse de sensibilité du système viticole en faisant varier le *bonus/malus* de 0 à 5000 par incrémentation de 100, ainsi que la valeur de μ , le coefficient de comportement de la coopérative, entre 0 et 1.5 incrémenté de 0.5.

Pour chaque paramétrisation, nous avons effectué 40 simulations avec un maximum de 100 années simulées (sachant que la simulation commence au moment où le vignoble a atteint son emprise actuelle). En sortie du modèle, nous nous intéressons à la date simulée, la main d'œuvre nécessaire au territoire, la pente et l'altitude moyenne des parcelles cultivées, l'acidité totale moyenne sur les parcelles, le nombre de parcelles cultivées et le nombre de parcelles abandonnées. L'ensemble des données issues des 800 simulations a été traité avec le logiciel R (TEAM 2014).

5.1.3 Résultats

5.1.3.1 Comportement à court terme (50 ans)

L'analyse des résultats du tableau 5.2 comme ceux de la figure 5.7 nous montre une augmentation de l'acidité moyenne entre les situations sans incitation de la part de la coopérative (première colonne du tableau 5.2), et celles où la coopérative met en place une incitation (dans les cinq colonnes suivantes).

Sur la figure 5.7, nous remarquons que la médiane des valeurs théoriques *d'acidité totale* à laquelle le système aboutit en 50 ans est de $3.30 \text{ g} \times \text{L}^{-1}$ de H_2SO_4 . Sur les graphiques suivants, nous constatons que, quelle que soit la stratégie μ mise en place par la cave,

	0	1000	2000	3000	4000	5000
Contexte ouvert, acidité moyenne	3.31	3.46	3.68	3.87	4.40	4.51
Contexte ouvert, variance moyenne	3.77	4.04	4.63	5.17	5.45	5.84
Contexte borné acidité moyenne	3.31	3.37	3.52	3.65	4.01	4.03
Contexte borné, variance moyenne	3.77	3.70	4.02	4.22	3.71	3.54

Tableau 5.2 – Moyenne sur 40 simulations de l'acidité moyenne et la variance moyenne, suivant les valeurs de *bonus* après 50 itérations

l'acidité moyenne des parcelles s'en trouve augmentée et reste au-dessus des objectifs de la cave.

Si l'on s'intéresse ensuite à l'évolution de l'acidité au sein des mêmes jeux de paramétrage, nous voyons de manière générale dans un contexte ouvert que l'acidité décroît quand la stratégie passe de 0 à 1.5, ce qui souligne la part incitative de la stratégie de coopérative. Dans cette configuration (graphiques « open stratégie » sur la figure 5.7) nous identifions donc deux mouvements contradictoires : l'augmentation des valeurs de *bonus* qui pousse la moyenne des acidités vers le haut, et la variation des stratégies μ de coopérative qui tend à ramener l'acidité vers les valeurs attendues par la coopérative ($3\ g * L^{-1}$ de H_2SO_4).

Le système borné aux deux extrémités (graphiques « closed stratégie » de la figure 5.7) permet de limiter des effets d'« envolée » et de conserver des acidités plus proches des valeurs attendues par la coopérative. En effet, les viticulteurs qui cultivent des parcelles plus en altitude (donc avec une acidité plus élevée) sont traités avec la même politique que ceux qui sont en-dessous du seuil.

Pour terminer sur ces aspects d'acidité, nous pouvons nous intéresser à la variance de l'acidité moyenne dans le système. Que ce soit sur le tableau 5.2, ou sur la figure 5.7, nous réalisons l'effet effectif de la stratégie bornée sur la dispersion des résultats. Le fait de réduire la variance confère aux parcelles une plus grande homogénéité de maturité à l'échelle du territoire, ce qui est particulièrement intéressant du point de vue de la coopérative pour réduire la fenêtre temporelle de la vendange.

Si nous considérons maintenant l'évolution du nombre de parcelles viticoles en fonction de la stratégie μ de la coopérative et d'une politique ouverte ou bornée, nous observons, comme sur la figure 5.7, l'effet de la valeur de *bonus* sur l'augmentation des surfaces viticoles.

Dans un contexte de politique de rétribution ouverte, la stratégie μ entraîne le même comportement de diminution des valeurs de surfaces que dans le cas de l'acidité sur la figure précédente (fig. 5.7). De manière presque mécanique, la stratégie $\mu = 0$ permet de stimuler la croissance du vignoble. Mais la définition d'un *bonus* supérieur à 3000 génère

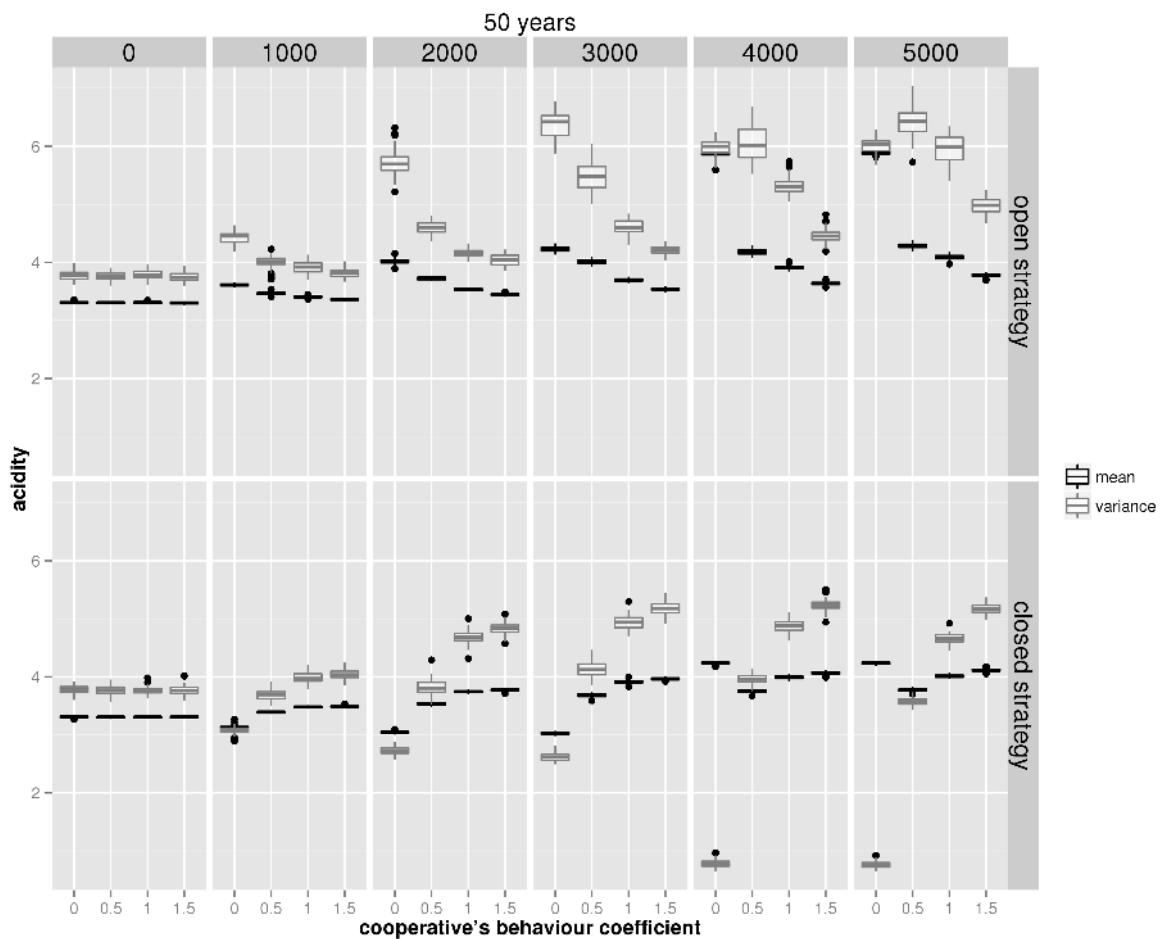


FIGURE 5.7 – Évolution de l'acidité sur 40 simulations en fonction de μ . La première colonne de "boxplot" représente l'acidité moyenne sur les parcelles si aucune politique n'est mise en place. Les autres graphiques représentent les valeurs d'acidité en ordonnée en fonction des valeurs de μ en abscisse. Chaque graphe pour une valeur de *bonus/malus* définie de 1000 à 5000.

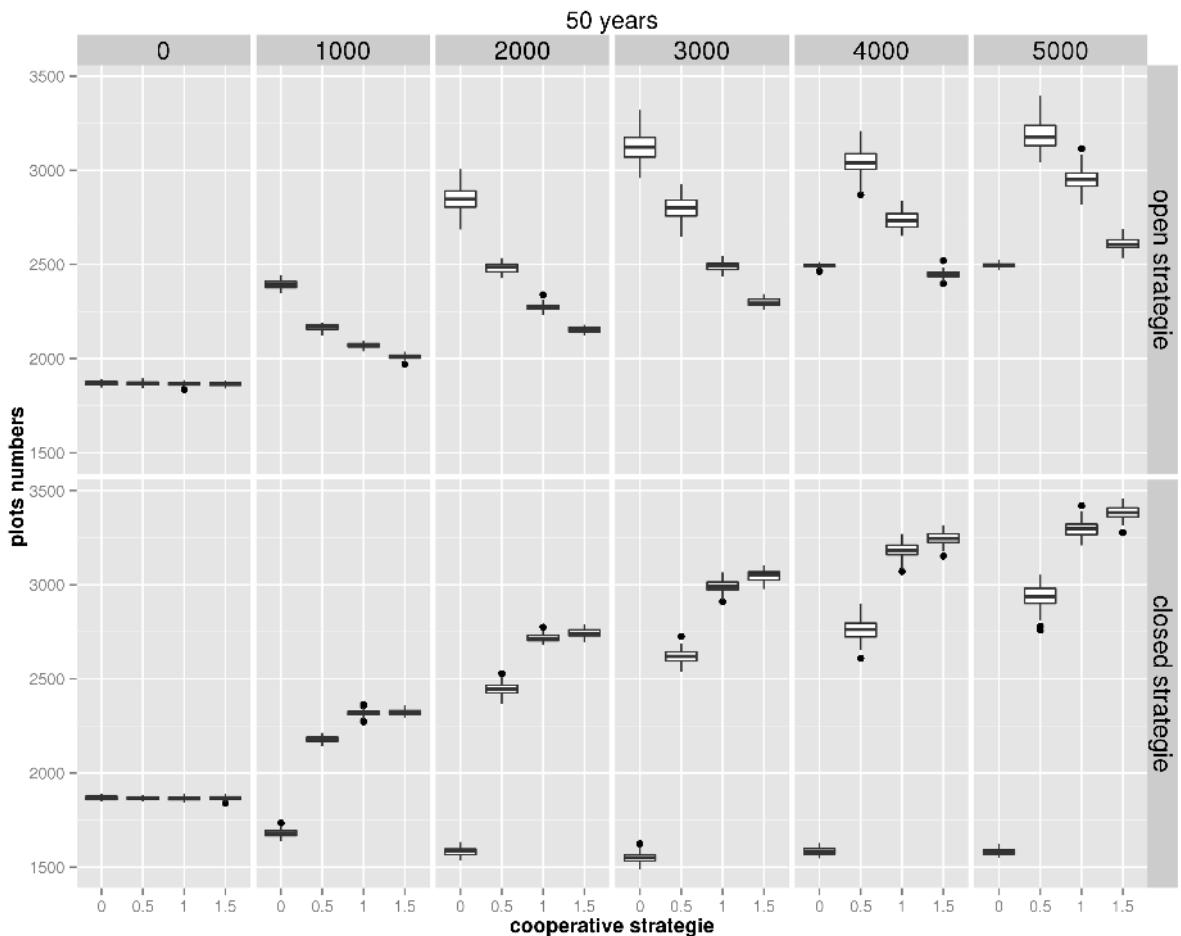


FIGURE 5.8 – Évolution du nombre de parcelles viticoles sur 40 simulations en fonction de μ . La première colonne de "boxplot" représente le nombre de parcelles si aucune politique n'est mise en place. Les autres graphiques représentent les nombres de parcelles en ordonnée en fonction des valeurs de μ en abscisse. Chaque graphe pour une valeur de *bonus/malus* définie de 1000 à 5000.

un effet de seuil. En effet la stratégie μ ne proposant pas de transition, quand le *malus* (en cas de non-respect des attentes de la coopérative) devient supérieur aux gains pour les viticulteurs, cela réduit considérablement leur volonté d'extension.

Dans un contexte de politique d'acidité bornée, nous observons, là encore, l'effet stimulateur des valeurs de *bonus*. Toutefois, nous pouvons noter la faible variation qu'entraînent les stratégies μ 1 et 1.5 sur l'augmentation des surfaces. Le fait de borner au-dessus des extrémités les valeurs de rétributions et d'encourager les valeurs d'acidités hautes permet de stimuler clairement les surfaces cultivées.

En s'intéressant à l'emprise de la friche sur le paysage (figure 5.9), nous constatons grâce au jeu de paramètres de simulations témoins (première colonne de la figure 5.9) que

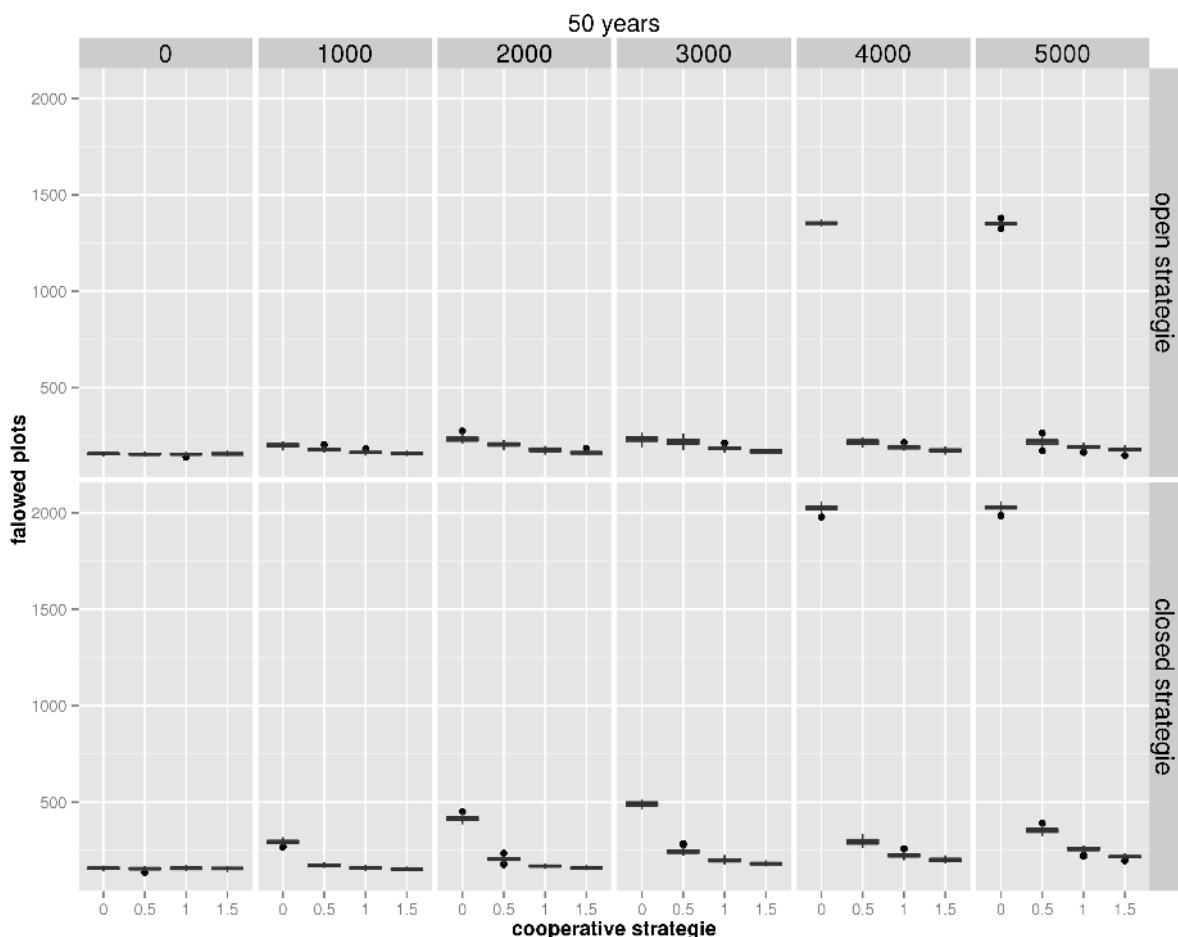


FIGURE 5.9 – Évolution du nombre de parcelles en friche sur 40 simulations en fonction de μ . La première colonne de "boxplot" représente le nombre de parcelles si aucune politique n'est mise en place. Les autres graphiques représentent les nombres de parcelles en ordonnée en fonction des valeurs de μ en abscisse. Chaque graphe pour une valeur de *bonus/malus* définie de 1000 à 5000.

les friches sont un phénomène existant, quel que soit le mode de gouvernance territoriale (y compris en cas d'absence de gouvernance).

Dans le cadre d'une politique ouverte, on observe une diminution de la friche sous l'effet conjoint des valeurs de *bonus* et de la stratégie μ . La valeur de seuil à partir des valeurs de *bonus* supérieures à 3000 est ici bien visible et entraîne pour $\mu = 0$ une très nette augmentation des friches viticoles. Ce comportement de la friche nous fera alors préférer les autres stratégies. Sur le graphique 2 de la figure 5.9 nous observons un comportement particulier pour la stratégie $\mu = 1$ (rétribution linéaire). Pour un *bonus/malus* de 1000, cette dernière génère le plus haut taux de friche (6%), mais ce taux diminue quand le montant du *bonus/malus* augmente.

Si nous nous attachons enfin à l'évolution spatiale du couvert viticole, nous allons

pouvoir prendre en compte l'indice de fragmentation décrit précédemment (fig. 5.10). Le premier résultat observable est la mise en évidence d'une logique dans le choix des parcelles, car la médiane des différentes conditions de simulation ne dépasse jamais 0.6. Le *bonus*, ici encore, joue un rôle de catalyseur, en ayant tendance à augmenter les valeurs de résultats pour chacune des deux politiques mises en jeu.

Dans le cadre d'une politique ouverte, on observe toujours l'effet de seuil pour $\mu = 0$ avec un *bonus* supérieur à 3000 : un nombre de parcelles conséquent est abandonné (c.f. fig 5.9), mais elles sont aussi très agrégées ce qui délimite clairement un front. De manière quasi inverse, ce sont pour des valeurs de μ 1 et 1.5 que la fragmentation est conservée assez basse, car les conditions d'abandon ne sont pas tranchées (c.f. 5.5).

Il est intéressant de noter que dans le cas de la mise en place de politique bornée, les résultats sont inversés, car les parcelles les plus hautes ne sont plus attractives. L'objectif du viticulteur est donc de se maintenir à une altitude proche de la valeur attendue par la coopérative. Ces comportements sont exacerbés par les valeurs de μ de 0 et 0.5.

5.1.3.2 Comportement à plus long terme (100 ans)

L'observation à l'aune du siècle n'a pas beaucoup de sens au regard des capacités d'anticipation proposées par les experts du GIEC, mais dans une démarche de pédagogie prospective, nous nous sommes néanmoins livrés à l'exercice. En effet, nous sommes face à un système dynamique. Des comportements qui semblent intéressants à « court terme » pourraient amener le territoire dans des situations plus complexes, et difficilement soutenables en l'état.

Il nous apparaît également intéressant de nous interroger sur certains comportements émergents sur un temps plus long, afin d'en comprendre la nature et les implications. Pour cela, nous nous attarderons sur deux indicateurs qui ont eu tendance à évoluer de manière intéressante : l'acidité des parcelles cultivées, et la clusterisation du paysage.

Nous observons sur la figure 5.11 que le maintien d'une politique bornée ou non entraîne des profils de comportement radicalement différents. Du point de vue de l'acidité (fig. 5.11(a)), le montant du *bonus* produit toujours le même effet élévateur, mais la politique de redistribution bornée permet de contre-balancer l'effet du *bonus* en stabilisant l'acidité. Si nous regardons la variance de l'acidité entre la politique de rétribution ouverte et bornée, nous constatons que le fait de contraindre les acidités par deux bornes permet une variance réduite. Ce qui veut dire que la période de maturité sera atteinte de manière relativement proche dans l'ensemble du vignoble réduisant la fenêtre temporelle d'apport de la vendange.

En examinant la figure 5.11(b) qui reprend les valeurs de clusterisation du vignoble,

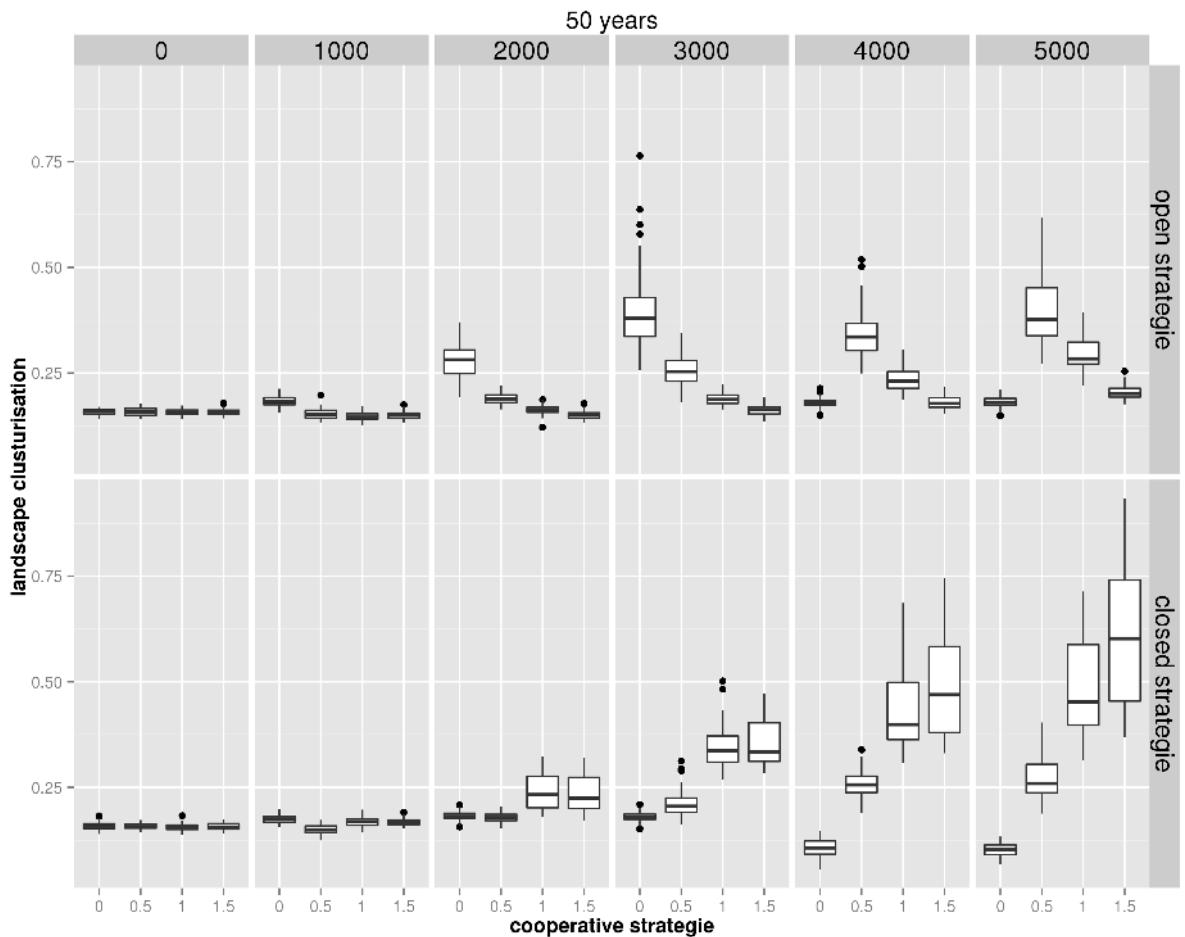


FIGURE 5.10 – Évolution de la fragmentation du vignoble sur 40 simulations en fonction de μ . La première colonne de "boxplot" représente le nombre de parcelles si aucune politique n'est mise en place. Les autres graphiques représentent le nombre de parcelles en ordonnée en fonction des valeurs de μ en abscisse. Chaque graphe pour une valeur de *bonus/malus* définie de 1000 à 5000..

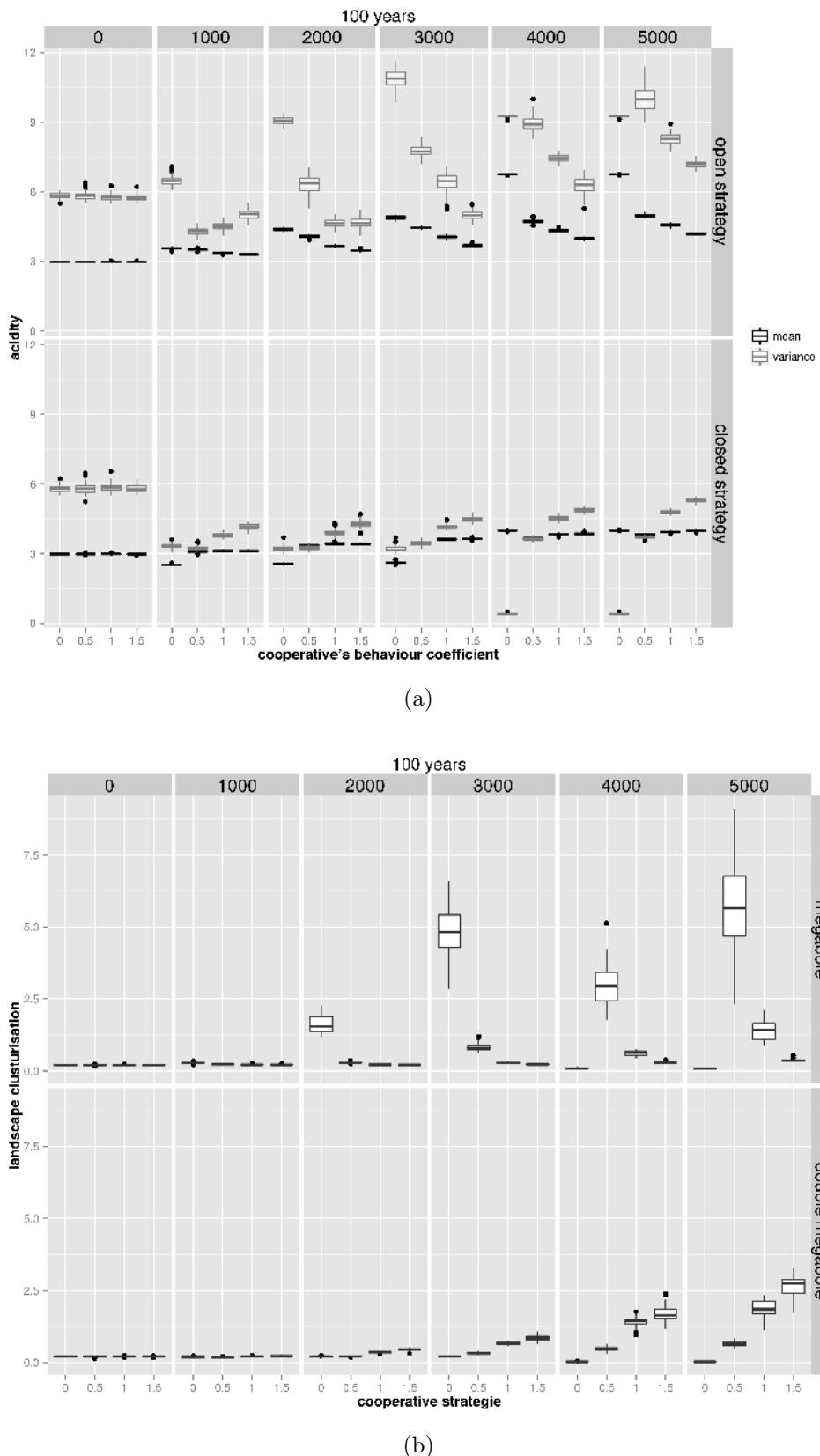


FIGURE 5.11 – Résultat pour 40 simulations de chaque jeu de paramètres sur le temps long (100 ans). Valeur de l'évolution de l'acidité fig. (a), et de la fragmentation du vignoble fig. (b).

nous pouvons voir, là encore, les effets d'une politique ouverte ou bornée. En effet, l'introduction des deux limites pour l'acidité à échéance 50 ans 5.10 nous laissait imaginer une fragmentation plus forte (surtout dans les valeurs hautes de *bonus*). Il apparaît ici qu'à une échelle de temps plus longue, la politique bornée de la coopérative produit des structures moins frumentaires.

5.1.4 Discussions

5.1.4.1 Comportement à court terme (50 ans)

Chaque test de paramétrage est mis en parallèle avec la situation du territoire. Le premier paramétrage simule le comportement du territoire, si aucune indication n'est donnée aux viticulteurs quant aux attentes des œnologues et du service coopérateur de la coopérative, des organismes de gestion des AOC, des consommateurs, etc. Dans ce cas de figure qui pourrait représenter les années d'or du cru (1980), le viticulteur se retrouve livré à lui-même tout en ayant la "garantie" que son produit (le raisin) lui sera payé. Grâce à nos entretiens, nous savons que les viticulteurs ont tendance à maximiser leurs gains en cherchant à exploiter des parcelles moins pentues et plus proches du village. Ce type de comportement aboutit en 50 ans à des acidités totales moyennes qui restent dans la gamme acceptée par la coopérative (c.f. premier graphique de la figure 5.7), cela sans véritablement mettre en place une politique de territoire, mais les conséquences pourraient devenir plus facheuses à long terme. Pour éviter cela, la mise en place de politiques prospectives se réfléchit en amont (c.f. chap. 6).

Les parcelles abandonnées au bout de 50 ans sont les plus éloignées de la zone d'habitation, car le poids de la distance est trop important pour les viticulteurs qui préfèrent des parcelles moins pentues. Ce début de phénomène peut être qualifié, au regard de l'évolution historique des vignobles français, comme une inversion de terroir (HINNEWINKEL 2010) dûe à une recherche de simplification du travail et des tentatives de mécanisation. Phénomène qui, dans le cas de Banyuls, ne peut s'étendre par manque de terres propices à la mécanisation.

À partir du moment où la coopérative met en place un paiement différencié sous forme d'un *bonus/malus* sur l'acidité totale de la vendange liée aux parcelles, les comportements spatiaux des viticulteurs pour le choix des parcelles changent. Ce phénomène est accentué par la valeur du *bonus/malus*. En effet, ayant toujours pour objectif de maximiser leurs gains, l'ouverture d'un *bonus/malus* redistribue l'intérêt que portent les viticulteurs aux différentes parcelles.

En contexte ouvert (« open stratégie » sur les différents graphes), le nombre de parcelles augmente grâce aux primes attribuées aux viticulteurs (c.f. fig. 5.8), mais un plus grand nombre (par rapport aux conditions sans coopérative) est également abandonné (c.f. fig.

5.9). Cet abandon plus important a pour effet de fragmenter le paysage (c.f. fig. 5.10).

Pour une stratégie $\mu = 0$ (comportement binaire de la part de la coopérative), la prime (jusqu'à 3000 euros par parcelle) favorise une expansion très rapide du vignoble, avec, dans chacun de ces cas, très peu d'enrichissement (moins de 2% c.f. figure 5.9). À partir de 3000 euros de prime, la couverture viticole diminue (en 50 ans), et le nombre de friches augmente. Cela met en évidence un effet de seuil où le *malus* devient supérieur aux gains, ce qui compromet leur viabilité économique et entraîne une vague d'abandon, et ce quelle que soit la politique de redistribution de la coopérative.

Si l'on s'intéresse maintenant à la stratégie $\mu=0.5$ (qui favorise les acidités proches de celles demandées par la cave (c.f. figure 5.5)), nous constatons, là aussi, que plus la prime augmente plus les surfaces viticoles sont étendues au bout de 50 ans (figure 5.8). Toutefois, dans les valeurs paramétrées ici, nous n'atteignons jamais le taux de recouvrement autorisé dans le cas précédent, et nous conservons un taux d'enrichissement très stable (c.f. figure 5.9).

Enfin, pour les valeurs de μ comprises entre 1 et 1.5, nous notons que l'acidité moyenne totale sur les parcelles cultivées ne varie pas beaucoup suivant les valeurs de *bonus/malus*. Pour un μ de 1 (rétribution linéaire c.f. figure 5.5), les surfaces cultivées en vigne augmentent de manière continue avec l'augmentation du *bonus/malus* perçu par les agriculteurs. Le nombre de parcelles en friche diminue de la même manière avec l'augmentation de la prime, ce qui traduit le fait que l'acidité moyenne des parcelles cultivées (c.f. figure 5.7) soit supérieure à la valeur seuil demandée par la cave sur cette échelle de temps. Dans ces conditions, au vu du calcul linéaire proposé pour le paiement différencié, les parcelles qui ne répondent plus au critère d'acidité ne sont pas abandonnées pour autant. Comme précédemment, dans la mesure où les gains restent « acceptables » pour le viticulteur, ce dernier paiera un *malus* tant qu'il reste inférieur aux bénéfices.

Dans toutes ces situations de μ la variance de l'acidité (fig. 5.7) est acceptable tant que le *bonus* ne dépasse pas 2000 euros. Au-delà, des comportements aberrants de plantation de plus en plus hauts entraînant une fragmentation paysagère sont encouragés.

Il est intéressant de noter que le nombre de parcelles viticoles (dans les conditions de paramétrage du graphique 2 de la figure 5.8 pour un μ de 1.5) est plus élevé que dans les conditions de primes suivantes, tout en restant moins élevé que dans le cas de la simulation témoin (graphique 1). Dans les graphiques de la figure 5.9, nous observons exactement le même type de dynamique de manière inversée en ce qui concerne le pourcentage de parcelles en friche, ce qui se traduit ici par une surface agricole très stable et peu extensible. En effet, les parcelles qui ne sont pas viticoles par manque d'intérêt sont mises en friche, et l'extension territoriale est complètement tributaire du montant du *bonus* proposé par la cave. Les primes très hautes vont contraindre très fortement l'intérêt que pourra porter le viticulteur à une parcelle, et vont donc donner une orientation forte au territoire. Tandis

que, pour un *bonus/malus* bas, le viticulteur bénéficie de plus de flexibilité sur les parcelles qu'il souhaite mettre en culture tout en subissant, malgré tout, une contrainte.

En contexte borné, les stratégies μ comprises entre 1 et 1.5 sont gagnantes. Elles permettent de maintenir une acidité dans la fourchette attendue (fig. 5.7), tout en stimulant le nombre de parcelles cultivées (c.f. fig. 5.8) au-delà de ce qu'il est possible de faire dans un contexte ouvert et en limitent le nombre de friches au plus bas (fig. 5.9). Elles ont toutefois l'inconvénient de fragmenter beaucoup plus le paysage (fig. 5.10) et d'occasionner une variance de l'acidité moyenne plus forte sur le vignoble (fig. 5.7). L'observateur sera donc devant un paysage à dominante viticole, mais constitué d'une mosaïque de parcelles en vigne et en maquis. La cave devra, quant à elle, considérer sa période de vendange sur une fenêtre temporelle relativement étendue (de manière générale plus étendue qu'en situation de politique de redistribution ouverte).

5.1.4.2 Comportement à plus long terme (100 ans)

Comme nous l'évoquions déjà dans la partie 5.1.3.2, nous avons poussé l'exploration des résultats sur des échelles de temps plus long afin d'en comprendre les mécanismes (VARENNE 2011; THOM 2009). Les résultats ne peuvent en aucun cas être opérationnels. En effet, l'absence de capacité d'adaptation que nous allouons aux viticulteurs ou à la coopérative nécessiterait de complexifier les interactions.

Nous pouvons néanmoins explorer les implications du maintien d'une politique de cave sur le temps long pour pousser à son paroxysme les logiques de politiques territoriales qui peuvent être menées et maintenues sur un territoire. Ici, nous considérons le paysage comme la résultante des interactions et contraintes individuelles où chaque agent, à son niveau, est producteur de discontinuité (HINNEWINKEL 2010, p.176), de rupture d'unité, mais où la dynamique collective va structurer les grandes formes paysagères.

Si, à échéance 50 ans, deux stratégies se dégagent : dans un contexte politique ouvert, la plus propice au développement viticole est la stratégie binaire, avec $\mu = 0$ (au moins jusqu'à un *bonus* de 3000 euros. c.f. fig. 5.8). Dans un contexte de rétribution bornée, les cas de configurations mettant en scène un μ entre 1 et 1.5 permettent d'atteindre des surfaces viticoles supérieures, dans une configuration d'acidité meilleure (acidité moyenne et variance maîtrisée).

Il se trouve que sur le temps long la politique de rétribution bornée pourrait être préférée avec des valeurs de μ à 0.5 favorisant les acidités en proche des bornes. En effet, les résultats de la figure 5.11(a) montrent que les viticulteurs sont capables de fournir de la vendange avec une maturité dans la gamme attendue et sur une fenêtre temporelle très courte (peu de variances). Les surfaces viticoles ne sont pas aussi étendues que dans les stratégies avec un μ supérieur, ou avec le même μ dans un contexte ouvert, mais un

compromis semble avoir été trouvé, ce qui est corroboré par la très grande clusterisation des parcelles observée sur la figure 5.11(b).

Quand, pour une stratégie $\mu=1.5$ dans un contexte ouvert, les valeurs extrêmes d'acidité supérieures au seuil sont favorisées, il serait attendu que les viticulteurs "remontent la pente"¹⁶ pour trouver des parcelles extrêmement acides et ainsi maximiser leurs gains. Or, cette spirale positive n'arrive pas à s'initier par manque de capitaux. Pour optimiser les gains, il faudrait déplacer les exploitations sur les sommets de versant. Or, pendant un certain temps, il reste suffisamment acceptable de cultiver des parcelles proches du lieu d'habitation et de payer un *malus* faible. Néanmoins, quand arrive le moment où l'acidité basse entraîne un *malus* élevé, la parcelle est abandonnée, et le viticulteur n'a pas nécessairement les moyens d'acheter une parcelle plus élevée. Nous illustrons par là l'exemple même d'un système où le manque d'anticipation conduit à la ruine.

Le contexte borné permet aux viticulteurs de freiner les comportements extrêmes. La zone d'intérêt étant restreinte, et les « règles du jeu » étant suffisamment connues de tous, les comportements menant à la ruine sont moins présents.

5.1.4.3 Discussion générale

De manière plus générale, nous constatons que, quelles que soient les stratégies, celles-ci ont un effet direct sur le maintien d'une acidité totale de la vendange livrée à la cave. Nous pouvons donc imaginer que l'entité parcelle sur laquelle joue la coopérative est une résolution pertinente dans l'optique d'une gestion globale de la vendange en cave.

Cependant, se concentrer sur cet unique critère n'est pas suffisant. Le fait de privilégier l'extension du vignoble va engendrer une certaine fragmentation à court terme et amplifier la variance de l'acidité. Tandis que se concentrer sur le maintien de l'acidité et la réduction de la variance limite l'extension du vignoble (donc les revenus des viticulteurs).

Une fois ces considérations prises en compte, il semble malgré tout intéressant de préférer une politique de redistribution des gains sur le vignoble basée sur deux bornes dans le but de jouer sur l'anticipation et la stabilisation des dynamiques spatiales.

D'un point de vue opérationnel, nous proposons ici de nous attarder, avec une résolution à 50 ans, sur trois *scenarii* :

1. Si l'**objectif** est orienté vers la **production** : entre 1000 et 3000 euros par hectare de *bonus*, nous serons tentés de privilégier un μ de 0 dans le cadre d'une politique de redistribution ouverte. Cette « stratégie binaire » est efficace pour dynamiser l'extension viticole. Le résultat est déjà très intéressant avec un *bonus/malus* de 1000 qui permet d'augmenter les surfaces viticoles et de limiter le phénomène d'enfrichement (sur 50 ans) jusqu'à une valeur de *bonus* de 3000. Au-delà nous sommes

16. "La viticulture remonte la pente" était le titre du congrès du CERVIM qui s'est tenu à Lyon en 2012.

face à un effet de seuil. L'acidité reste relativement basse, mais sa variance bondit, obligeant la cave à proposer une fenêtre de vendange très large.

Cette même stratégie, mise en place dans le cadre d'une politique bornée, réduit l'acidité autour de $3 \text{ g} \times \text{L}^{-1}$ d'acide sulfurique et maintient également la variance très basse, mais constraint drastiquement le vignoble ;

2. **La solution intermédiaire** consiste à borner la politique de redistribution et à jouer sur des stratégies μ entre 1 et 1.5. Le territoire se place alors dans un contexte de grosse production avec des acidités légèrement plus hautes que celles attendues ; mais, par une limitation de la variance, la fenêtre de vendange est réduite, ce qui favorise une fragmentation du paysage ;
3. Si l'objectif est de **garder une dynamique** des paysages viticoles **maitrisée**, la *stratégie douce* avec un $\mu=0.5$ dans un contexte borné est sans doute plus appropriée. C'est une stratégie qui gagne sur le temps long (sur la figure 5.11(a)) en maintenant l'acidité et la variance de l'acidité dans les valeurs actuelles. Le couvert végétal se développe, mais reste moins dynamique que dans les stratégies 1 et 1.5 tout en n'handicapant pas son développement comme c'est le cas pour un μ de 0 dans ce contexte de redistribution. Enfin la fragmentation reste limitée ce qui permet de conserver la structure paysagère connue.

Conclusion

Ce travail apporte des éclaircissements à plusieurs niveaux. D'une part, de part sa dimension très localisée et appliquée au territoire de l'AOC Banyuls - Collioure, nous sommes en mesure de proposer des résultats opérationnels mobilisables en partie par les acteurs du territoire. La montagne peut être perçue comme l'une des voies possibles d'adaptation au changement climatique, car les températures moins élevées en « altitude » permettraient de conserver des dates de vendange traditionnelles. Les prises de décision et d'orientation ne se feront pas sans une prise de conscience au niveau des coopératives de leur intérêt dans la gestion du territoire. Or, la mise en place d'une politique de rémunération est un processus difficile (TOUZARD, J. F. DRAPERI *et al.* 2003) qui implique une démarche d'innovation et une conception claire des conséquences d'une orientation (CHIFFOLEAU 1998 ; TOUZARD, CHIFFOLEAU *et al.* 2008). Dans cette configuration, la coopérative est un acteur majeur du territoire puisqu'elle dispose théoriquement de leviers d'action particulièrement efficaces. Ces politiques sont également le résultat de consensus entre acteurs locaux, lesquels ne poursuivent pas nécessairement les mêmes buts même s'ils partagent le même outil de production (coopérative, AOC, etc.).

Grâce à l'exploration de ce modèle, nous pouvons mettre en évidence d'une part les contradictions qui émergent à notre niveau entre les contraintes sociales, individuelles, et

les volontés de sauvegarde paysagère. La coopérative se doit en effet de trouver un juste équilibre entre sa survie (conservation de son capital), la survie de ses coopérateurs (proposer une juste rémunération), et le maintien du paysage viticole sur lequel est bâtie une grande partie de son marketing, de celui de la région et de l'offre touristique (CONSTANS 2010 ; ALCARAZ 2001).

Ce paysage viticole, largement plurifactoriel (contraintes économiques, contraintes sociales, contraintes orographiques, contraintes physiologiques et climatiques...), commence à révéler quelques facettes de sa complexité. Entre paysage construit, paysage perçu et paysage vécu, nous avons mis en évidence les implications et la perméabilité des actions entre les différentes structures collectives et individuelles.

Or, la redistribution des intérêts des parcelles modifie le territoire perçu par les acteurs ce qui peut produire des tensions, car les nouvelles configurations peuvent être en contradiction avec les stratégies développées individuellement par les acteurs. La simulation nous permet, dans ce cas là, de nous mettre en capacité d'observer et comprendre de nouvelles formes paysagères issues de ces conflits pour pouvoir ensuite les explorer d'un point de vue géographique.

Dans cette section, nous nous sommes positionnés encore une fois à l'échelle meso, pour fournir des outils de compréhension relativement généraux aux acteurs/gestionnaires du territoire. Pour les viticulteurs qui pourraient être davantage préoccupés par des considérations à grande échelle, les résultats sont encore trop peu spécifiques. Nous allons donc effectuer un dernier saut spatial pour réfléchir à une problématique de gestion parasitaire à l'échelle de la parcelle pour les viticulteurs.

5.2 Le modèle CeLL : Confusion Landscape Lobesias ; entre paysage et dynamique de population

Le modèle *CeLL* —

Échelle spatiale : modèle pensé à l'échelle de quelques parcelles

Agents : sont mobilisés dans ce modèle, une grille de cellules, des agents *L. botrana*, et des pièges (diffuseurs de phéromones)

Question(s) :

- La confusion sexuelle a-t-elle un impact sur les populations d'eudémis simulées ?
- L'espace est-il un facteur influençant la dynamique de population du parasite ?
- Quelles sont les stratégies de lutte intégrée optimale pour lutter contre ce microlépidoptère ?
- Quelles sont les conséquences d'un passager clandestin dans la lutte intégrée ?

Les travaux autour de la question des parasites et de la modélisation des disséminations sont nombreux, abordant les dynamiques spatiales et temporelles à des résolutions très diverses. Dans cette section, nous nous inscrivons dans une démarche de réflexion résolument à l'échelle fine, dans un contexte viticole, en nous intéressant à *Lobesia botrana*, communément appelée eudémis. Nous proposons ici une approche de modélisation co-construite entre monde scientifique et monde technique. Ce travail a la double ambition i) de s'intégrer dans la démarche de théorisation entre les expériences de laboratoire et les expériences en plein champ en tant qu'étape de formalisation, ii) de proposer des clefs de compréhension mobilisables par les viticulteurs pour améliorer les stratégies de lutte intégrée par la connaissance des mécanismes en jeu.

Introduction

Lobesia botrana, communément appelée eudémis, est un microlépidoptère hétérocère, ravageur du vignoble européen dont les larves engendrent des dégâts directs en se nourrissant des organes reproducteurs de la plante, ou en favorisant les infections au niveau des baies de raisin par des pathogènes saprophytes.

Les premiers ravages de cette espèce sont décrits dans le courant du XIX^e siècle ou au début du XX^e siècle selon les régions (GALET 1982 ; BRIAND 2009). Aujourd'hui, elle se retrouve surtout sur les pourtours méditerranéens, au Proche-Orient et en Asie Mineure. L'eudémis avec la cochylis (*Eupoecilia ambiguella*) sont considérées comme les principaux ravageurs de la vigne cultivée depuis la crise du phylloxera (ROEHRICH *et al.* 2000). Nous

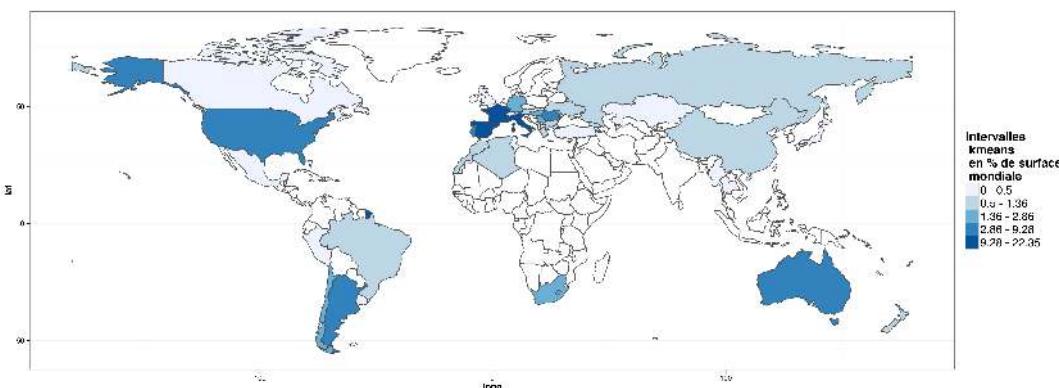


FIGURE 5.12 – La répartition des surfaces viticoles mondiales en 2010. Nous situons les pays producteurs et la proportion de la production mondiale (sources : Université d'Adélaïde)

comprendons bien la place qu'elle occupe dans la littérature quand nous constatons que plus de la moitié des vignobles mondiaux se situent dans cette zone (fig. 5.12¹⁷).

L. botrana est un ravageur polyphage qui accomplit son cycle sur un grand nombre de plantes hôtes. 40 espèces différentes (BALACHOWSKY et MESNIL 1935 ; TASIN *et al.* 2006) ont été répertoriées parmi lesquelles : *Vitis sp.*, *Cornus sp.*, *Lonicera sp.*, *Viburnum sp.*, *Ribes sp.*. Cette diversité de plantes hôtes rend la lutte contre ce ravageur particulièrement difficile à comprendre et à mobiliser.

Comme la plupart des espèces de l'ordre des *Lepidoptera*, l'accouplement des *L. botrana* est précédée d'une « parade » durant laquelle la femelle libère des phéromones ce qui déclenche sur les mâles un comportement de recherche de cette dernière (BRIAND 2009 ; SCHMITZ 1992). Le développement de *L. botrana* est largement lié aux températures, c'est pourquoi un certain nombre de travaux propose des modèles mathématiques permettant de « prédire » les dates des vols d'adultes (BOVEY 1966 ; J. A. LOGAN *et al.* 1976).

Si les dégâts peuvent être observés sur les jeunes pousses ou les organes de reproduction, c'est au moment de la véraison (au moment de la ponte de la troisième génération chez les eudémis) que les dégâts sont le plus dommageables pour les viticulteurs. En effet, une fois écloses, les larves vont percer la pédicule pour se nourrir de la pulpe, ce qui ouvre la porte aux maladies cryptogamiques (oïdium, mildiou, etc).

17. La carte a été réalisé à partir de l'inventaire ampélographique mondial proposé par l'Université d'Adélaïde. Les données sont accessible à l'adresse suivante : <http://www.adelaide.edu.au/wine-econ/databases/winegrapes/>, site consulté le 19 avril 2015.

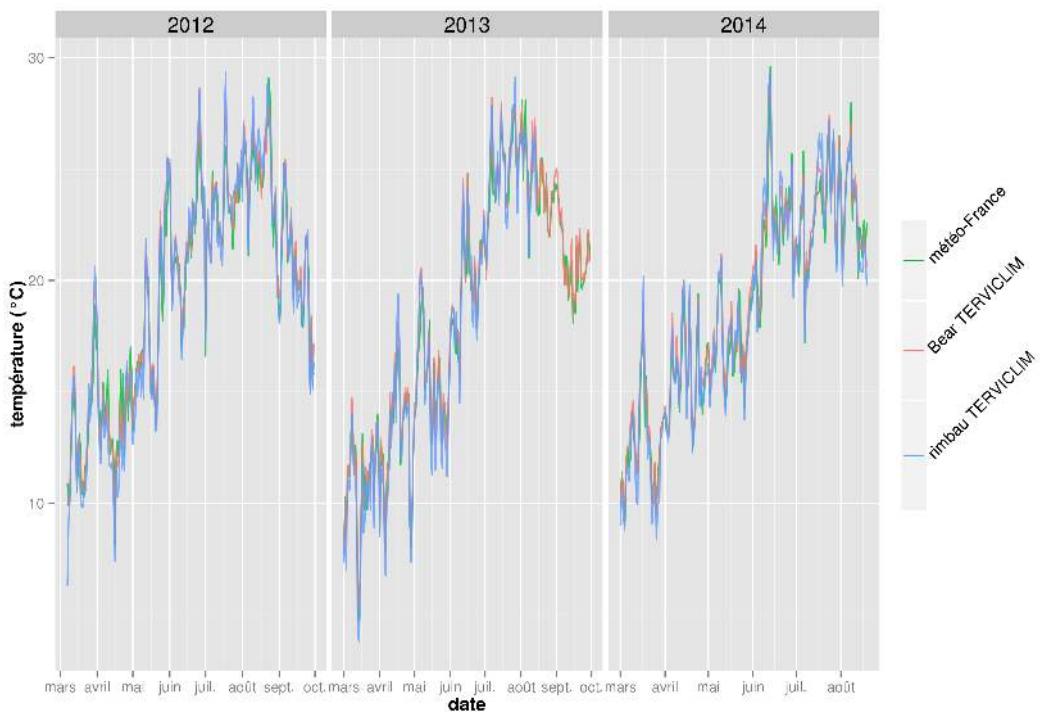


FIGURE 5.13 – Comparaison entre les données de température des capteurs TERVICLIM journalisées, et les moyennes des températures quotidiennes sur 24 mesures de Météo France

5.2.1 Le contexte particulier de la Côte Vermeille

Depuis 1999, le Groupement de Développement Agricole (GDA) du cru Banyuls et des Albères effectue un suivi de l’infestation par *L. botrana* sur des parcelles témoins, et, depuis 2013, effectue des expérimentations de lutte par confusion sexuelle sur des îlots de culture identifiés comme « problématiques ».

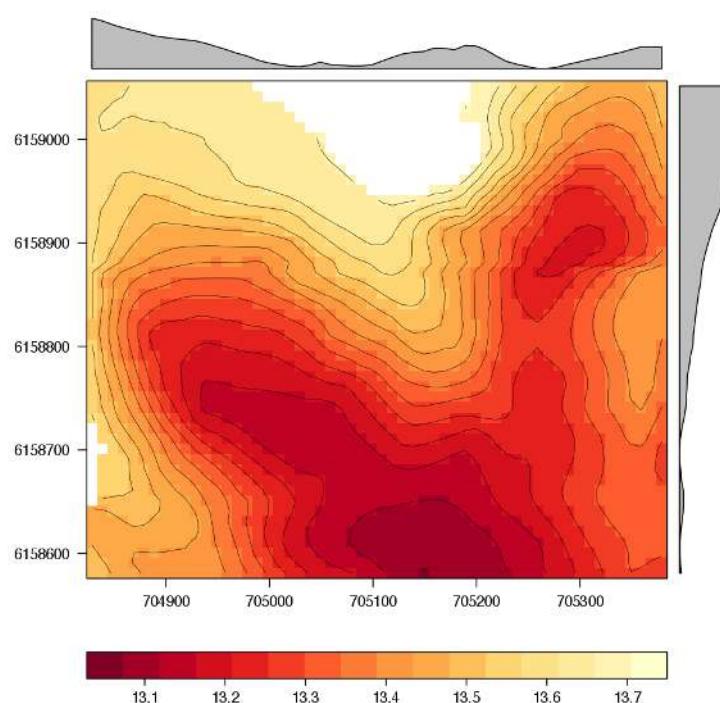
Par ailleurs depuis 2012, grâce à l’ANR TERVICLIM, le cru est doté d’un ensemble de capteurs de température effectuant des relevés toutes les 10 minutes (fig. 5.13). Ces données nous permettent, pour certaines journées (où les corrélations entre la température et l’orographie sont fortes), de proposer des cartes spatialisées de températures (c.f. fig. 5.2(a) pour le 15 août 2012 ou fig. 5.2(a) pour le 16 mars 2012).

Nous disposons donc, depuis 2012, de données de température journalisées et de comptages d’individus piégés (c.f. fig 5.15) ce qui ouvre la voie à l’étude détaillée des dynamiques de diffusion de *L. botrana*.

Les données de terrain nous permettent de constater une très grande variation dans les dynamiques de population sur notre parcelle témoin. Si 2011 (c.f. fig. 5.15) ressemble à une année typique avec, de manière assez bien identifiée, les trois générations de papillons (les pics étant autour de mi-mai, mi-juin et mi-août), 2012 et 2013 sont deux cas différents



(a)



(b)

FIGURE 5.14 – Carte de la zone d'étude. (a) localisation à petite échelle de la zone des parcelles confusées sur fond de carte OpenStreetMap (commune de Collioure), (b) variations de température moyenne annuelle sur la zone étudiée. Les graphiques dans les marges de la fig (b) sont les moyennes des températures en X et en Y.

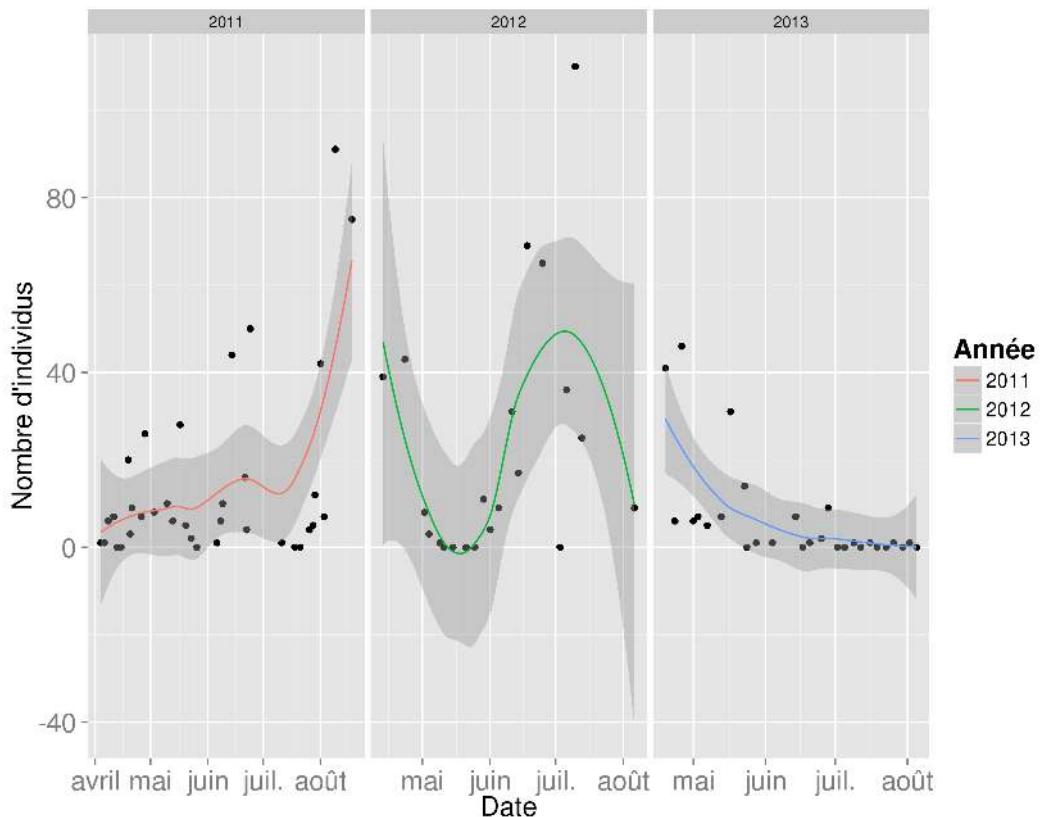


FIGURE 5.15 – Comptages des individus de *L. botrana* mâles sur la parcelle de "la Tourette" pour la période 2011 à 2013

d'« écroulement » de la population. De manière générale, nous observons sur l'AOC les vols de première génération aux environs du mois de mai (représentés sur la fig 5.15 pour 2011) ; cependant de grandes variations apparaissent entre les années et les régions en fonction des conditions climatiques.

Ce type de variations interannuelles nous interpelle. C'est à la recherche, la délimitation et la calibration des mécanismes qui entrent en jeu dans ces dynamiques de population que nous nous sommes intéressés.

5.2.2 Matériels et Méthodes : ODD

Le traitement des données issues de l'analyse de sensibilité a été réalisé avec le logiciel de statistique R (TEAM 2014). La formalisation de la description du modèle se conforme au protocole de description ODD (Overview, Design concept, Details)(GRIMM, U. BERGER, BASTIANSEN *et al.* 2006 ; GRIMM, U. BERGER, DEANGELIS *et al.* 2010 ; RAILSBACK et GRIMM 2011) en prenant en compte l'extension de l'ODD+D (+D pour Decision making)(B. MÜLLER *et al.* 2013).

5.2.2.1 Développement du modèle

Objectifs

Les études autour de *L. botrana* se sont multipliées depuis les années 80. Si leurs sujets et leurs formes sont diverses, il nous a semblé intéressant de continuer à explorer les sujets par l'intermédiaire des systèmes multi-agents pour tenter d'apporter un éclairage sur les processus et les ordonnancements qui entrent significativement en jeu dans les interactions entre le vignoble, l'espace, la plante, les parasites et les viticulteurs.

Ce modèle propose d'explorer :

- la place de l'espace dans la modélisation de l'infestation,
- une optimisation des techniques de lutte par phéromones,
- la place du contexte social et des passagers clandestins dans la lutte intégrée.

Entités, variables, et échelles

Dans CELL, nous avons implémenté trois types d'agents (fig. 5.16). Les agents eudémis (*L.botrana*) et la classe *patch* vont former l'environnement sous forme d'une grille de cellules. C'est l'unité spatiale de référence qui représente $2m^2$. Leur agrégation va constituer les parcelles viticoles (*vineyard_plot*) et le paysage (*landscape*). Enfin, dans certaines simulations, nous explorerons les méthodes de lutte par phéromones. Nous avons donc introduit le troisième type d'agents, les agents *trap*, lesquels vont diffuser des phéromones.

L. botrana est un lépidoptère qui va passer par quatre phases au cours de son existence (œuf, larve, chrysalide, adulte). Ces phases sont passées à l'agent dans *phase* et

phaseNumber. Chaque agent aura un âge en phase adulte et un sexe qui différenciera les comportements. La série d'attributs notée a, b ,c, t dans la figure 5.16 va permettre aux agents de se développer en fonction de leur environnement (c.f. sous modèles 5.2.2.3). Chaque agent connaîtra la *génération* à laquelle il appartient, et pour les femelles le nombre d'accouplements effectués (*nb-mating*). Ces dernières sont, par ailleurs, dotées d'un « drapeau » qui les empêche de s'accoupler quand elles sont en gestation (*reproductionFlag*) et d'un compteur de temps de gestation (*gestationTime*).

Les agents de classe *patch* sont des cellules carrées qui constituent la grille environnementale des agents. Ils ont comme attribut le fait d'être ou non viticoles, et le cépage qui est planté sur la parcelle (*variety*). Si le patch est confusé (*confuse*), il comportera le moment où arrivent la fleur de la vigne (*flower_time*), l'accumulation thermique (*terminalAcum*), le volume de phéromones issus des agents eudémis (*Ppheromone*), et le volume de phéromones qui sont dégagés par les agents *trap* (*Ppheromone-trap*). L'attribut *mixed-pheromone* va contenir le niveau de phéromone le plus important (issu des pièges ou des lépidoptères). Enfin *occupe* est un booléen qui permet de savoir si le patch est occupé par des agents *L.botrana*.

L'espace de modélisation se focalise sur une zone sur laquelle des comptages sont effectués depuis 1999 par le GDA¹⁸ du cru Banyuls et des Albères. Cette zone de 9 hectares en bordure occidentale de la Côte Vermeille (fig. 5.14(a)) fait partie, depuis 2013, du réseau d'expérimentation sur la confusion sexuelle menée par le GDA. L'espace sur lequel nous travaillons dans le modèle mesure 5 km² et contient la zone de confusion ainsi que les parcelles non confusées.

Depuis 2012, un capteur de température du réseau de l'ANR-JC TERVICLIM¹⁹ est installé sur la zone permettant d'avoir des relevés de température précis (infra-journaliers) sur la zone d'étude.

Dans ce modèle, nous cherchons à connaître les conséquences des mouvements des lépidoptères sur les possibilités d'accouplement. Nous avons décidé que chaque itération du modèle représentera une journée.

Processus et Ordonnancement

Les types de processus qui s'activent dans ce modèle concernent les patches, les agents *L.botrana*, et les diffuseurs de phéromones. Nous nous intéressons ici à l'enchaînement des processus. La description des sous-modèles sera traitée dans la partie 5.2.2.3.

- Processus liés aux patches
 - La température (n° 1 sur la fig. 5.17). Elle est mise à jour grâce aux relevés de terrain effectués avec le capteur de l'ANR-JC TERVICLIM présent sur la zone.

18. Groupement de Développement Agricole.

19. <http://terviclim.in2p3.fr/>, site consulté le 07 octobre 2014.

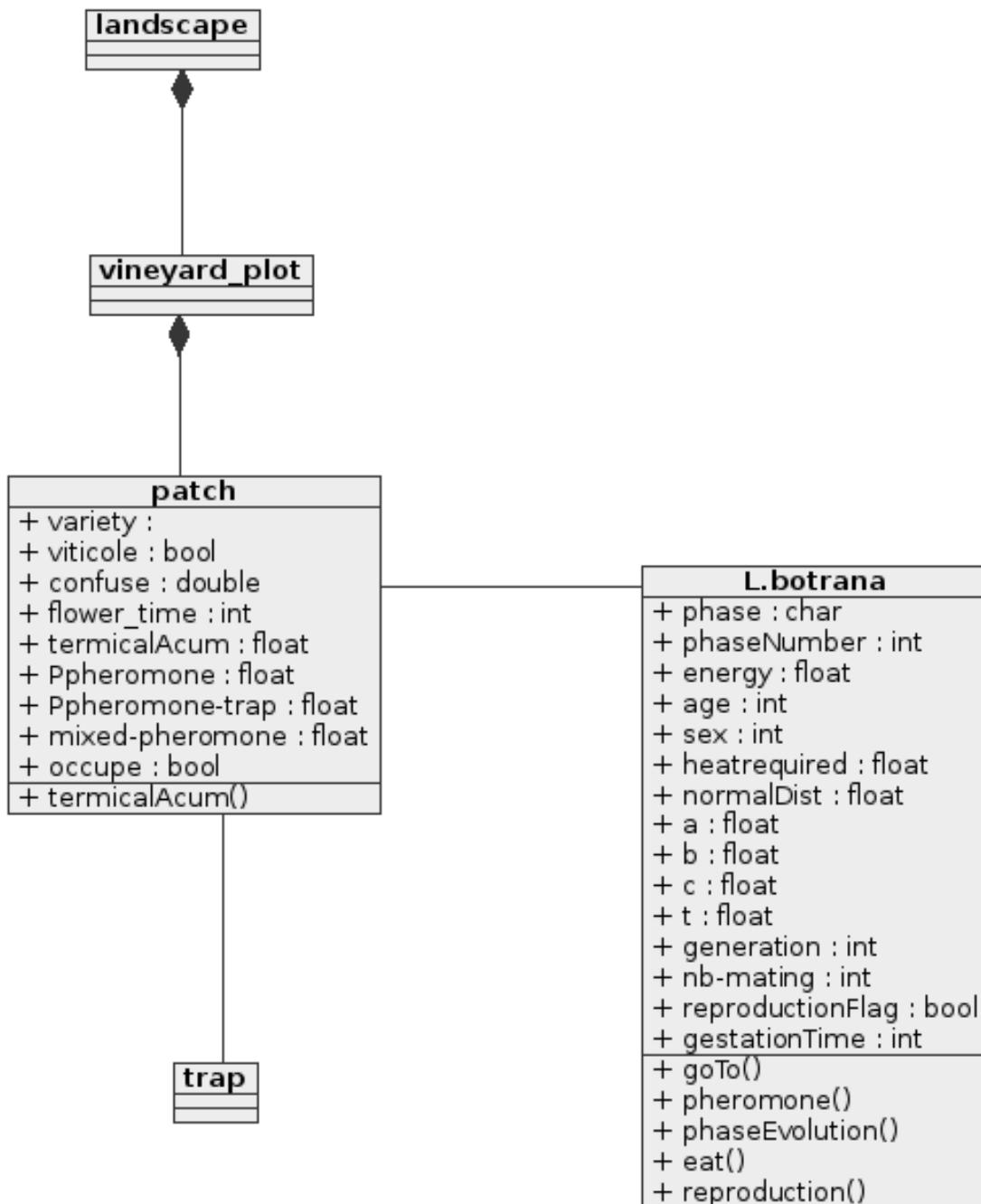


FIGURE 5.16 – Diagramme UML de classe pour le modèle CELL

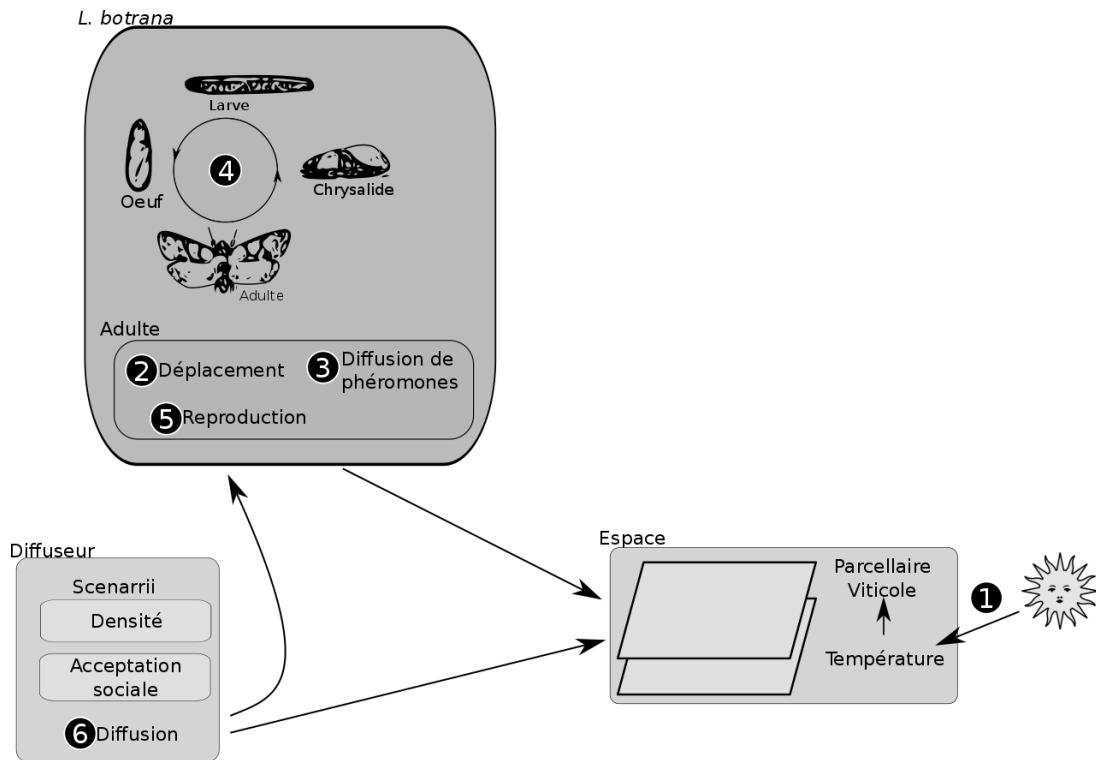


FIGURE 5.17 – Ordonnancement des processus du modèle CELL

- Processus liés aux agents lobesias
 - Le déplacement : si les agents sont en phase adulte, ils vont pouvoir se déplacer de 8 m, avec des objectifs différents si l'agent est un mâle ou une femelle (n° 2 sur la figure 5.17) ;
 - Les phéromones : les agents adultes femelles vont diffuser des phéromones sur les cellules rencontrées (n° 3 fig. 5.17) ;
 - La phase d'évolution : mise à jour des variables si les agents ont changé de phase ;
 - La développement physique : évolution entre les différents stades physiologiques des lobesias (numéro 4 sur la fig. 5.17) ;
 - eat : est le dégât lié aux larves sur les végétaux ;
 - La reproduction : fécondation et dépôt des œufs si les conditions sont réunies (n° 5 sur la fig. 5.17).
- Processus liés aux diffuseurs de phéromones
 - La diffusion des phéromones des pièges de proche en proche (n° 6).

5.2.2.2 Concepts d'élaboration

Contexte scientifique

Parmi l'abondante littérature sur la modélisation, une large proportion est dédiée à l'étude de l'impact des différentes variables sur l'évolution des populations (AMO-SALAS

et al. 2011 ; J. D. LOGAN *et al.* 2006 ; DAMOS et SAVOPOULOU-SOULTANI 2010 ; HE et AINSEBA 2014 ; AINSEBA *et al.* 2011). On constate que les processus de diffusion ou d'évolution dans l'espace n'interviennent que dans une plus petite proportion, et la plupart du temps à petite échelle sur des territoires de plusieurs centaines de kilomètres carrés (SÁENZ-DE-CABEZÓN *et al.* 2011 ; CAFFARRA *et al.* 2012).

Dans le monde des systèmes multi-agents, le cas de *L. botrana* n'est pas abordé spécifiquement, mais il existe des travaux cherchant à explorer des processus de diffusion de ravageurs (REBAUDO et DANGLES 2013), des espèces envahissantes (CACHO *et al.* 2010) ou des maladies (BANOS, CORSON *et al.* 2014).

Nous proposons donc, par l'intermédiaire de la modélisation à base d'agents, d'explorer les dynamiques de population en intégrant l'espace à une échelle fine. L'implémentation à l'échelle des individus des divers mécanismes a-spatialisés dans un modèle « agents » nous permet d'intégrer *de facto* l'espace, et de délimiter ainsi, par la formalisation, les limites des connaissances que nous avons pu implémenter dans le modèle.

Processus de décision

Parmi les six processus qui sont à l'œuvre dans la formalisation des agents lobesias, on pourra distinguer : i) ceux issus de la littérature, ii) de ceux résolus par une approche empirique de modélisation.

Parmi les premières, les phases d'évolution et de développement physique à l'échelle des populations (AINSEBA *et al.* 2011 ; DAMOS et SAVOPOULOU-SOULTANI 2010) ou des individus sont assez bien décrites. Nous nous sommes appuyés sur les caractéristiques thermosensibles des individus décrits par J. A. LOGAN *et al.* (1976) J. D. LOGAN *et al.* (2006), pour définir les étapes successives par lesquelles passent les agents et les conditions de *shifting*²⁰ entre les phases de développement.

La reproduction, souvent associée à l'étude de l'attractivité des phéromones, est également sujette à bon nombre de recherches (ARX *et al.* 2011 ; L. M. TORRES-VILA *et al.* 1995). Il nous est apparu complexe de formaliser ces descriptions pour les intégrer dans le modèle, car elles sont souvent réalisées en laboratoire, et impliquent un grand nombre d'interactions complémentaires qui rendent leur formalisation difficile en l'état. Néanmoins, nous avons retenu le délai de fécondation de la femelle proposé par L. TORRES-VILA *et al.* (2002), et nous nous sommes inspirés des modulations du vol observé par HURTREL et THIÉRY (1999).

En ce qui concerne le second type, nous avons privilégié l'approche empirique par simulation en supplément de la littérature, quand celle-ci ne nous permettait pas de formaliser et de calibrer clairement les mécanismes en jeu.

Ainsi les mécanismes de déplacement sont étudiés (HURTREL et THIÉRY 1999 ; AMO-

20. Le passage d'un stade de développement à l'autre.

Proportion de la population	Valeurs de h
0-5%	351
5-25%	374
25-50%	401
50-75%	442
75-95%	518
95-100%	600

Tableau 5.3 – Gamme des températures cumulées par les *L. botrana* suivant leur répartition dans la population (c.f. fig. 5.18)

SALAS *et al.* 2011 ; ARX *et al.* 2011), mais la distance absolue pouvant être parcourue par un papillon en une journée reste ouverte.

Les questions autour des plantes hôtes sont également très importantes dans le cadre de la lutte contre un ravageur (MASANTE-ROCA *et al.* 2007 ; TASIN *et al.* 2006), mais nous positionnons notre champ d’investigation dans une recherche autour de la lutte intégrée, ce qui n’implique pas l’éradication de lobesia, mais plutôt une optimisation entre les contraintes socio-économiques et les dynamiques de population de ravageurs.

Les expérimentations menées en plein champ apportent également des informations notamment sur la réponse des populations aux techniques de lutte et aux itinéraires de culture (VASSILIOU 2009 ; STOCKEL *et al.* 1994 ; DEGEN *et al.* 2005).

Par ailleurs le modèle a été calibré grâce à des données expérimentales issues des piégeages effectués par E. NOÉMIE pour le GDA du cru Banyuls et des Albères. Les comptages sont effectués dans les pièges à phéromones, par des relevés effectués à une fréquence variable en fonction de la pression opérée dans le vignoble, et ceci entre avril et août depuis 1999. Nous avons utilisé ces données de 2012 à 2014 (c.f. fig. 5.15), pour pouvoir les croiser avec les données de température issues des capteurs TERVICLIM et de météo-France sur la zone (c.f. fig. 5.13).

Réflexe aux conditions extérieures

Les agents lobesia en phase adulte se déplacent sur le territoire viticole. Si les femelles se déplacent de manière aléatoire, elles libèrent de phéromones qui vont permettre aux lobesias mâles de les suivre pour essayer de se reproduire. La distance à laquelle les mâles sont capables de percevoir les phéromones fait partie des tests que nous avons réalisés dans ce modèle.

Hétérogénéité

Les populations de *L. botrana* sont générées avec une hétérogénéité initiale qui va jouer

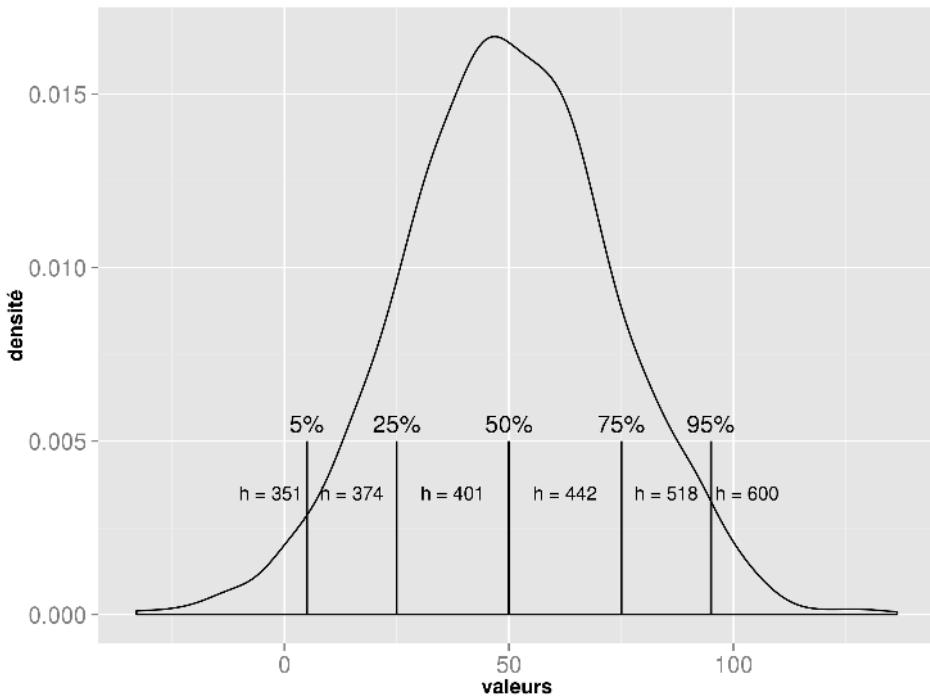


FIGURE 5.18 – Hétérogénéité de la population de lobesia : répartition du caractère h de thermophile entre les individus

sur les besoins individuels en chaleur nécessaires pour leur développement (h sur la figure 5.18 et dont les valeurs sont reprises dans le tableau 5.3). Ceci va générer des populations plus ou moins actives / hâties dans la saison. Cette hétérogénéité suit une distribution normale et elle est segmentée comme sur la figure 5.18.

Stochastique

Nous avons intégré une certaine stochastique dans l'angle que peuvent prendre les lobesia adultes femelles dans leur déplacement, mais également dans la probabilité d'accouplement entre lobesia quand un individu adulte mâle rencontre un individu adulte femelle.

Observations

Nous nous intéressons ici à quatorze indicateurs de sorties : le nombre total de lobesia, le nombre de lobesia de chaque phase d'évolution (œufs, larves, cristallisés, adultes), le nombre de générations (qui est incrémenté pour chaque individu suivant la génération de la mère), l'infestation des patches (qui compte le nombre de patches sur lesquels on retrouve un agent), la fécondité moyenne des femelles (le nombre d'accouplements moyens des femelles), le nombre de lobesa mâle et le nombre de lobesia femelle en phase adulte, la date de l'itération, et les sommes des écarts au carré entre les résultats de la simulation et

les relevés de terrain pour le temps et pour le nombre d'individus piégés dans les parcelles témoins.

Ce travail a été réalisé en trois étapes successives :

- Définition de la taille des échantillons des réplications ;
- Calibration du modèle par *inverse pattern* (GRIMM, REVILLA *et al.* 2005) ;
- Exploration des résultats du modèle par des moyens de lutte intégrée.

Pour effectuer ces analyses, nous avons cherché à définir le nombre de réplications nécessaires pour obtenir une certaine stabilité des résultats. Nous avons donc joué une simulation 10000 fois de suite. En constituant 10 groupes dans une démarche itérative, nous ajoutons 1 simulation à chaque groupe jusqu'à atteindre une stabilité des résultats (c.f. fig. 5.19) sur les paramètres observés. Ce premier travail nous a permis de définir un besoin de 30 simulations par paramétrage pour obtenir une stabilité des résultats (c.f. fig. 5.19(c)). Une fois le modèle paramétré, nous étudierons l'évolution des populations de *L. botrana* dans différentes configurations :

- Sans contrainte ;
- Dans des situations de lutte intégrée par phéromones :
 1. Dispersion aléatoire des diffuseurs de phéromones,
 2. Dispersion organisée des diffuseurs de phéromones à l'échelle de la parcelle,
 3. Dispersion organisée des diffuseurs de phéromones à l'échelle de la zone de lutte,
 4. Surface minimum pour obtenir une protection individuelle.

L'exploration de la surface minimum de lutte intégrée pour obtenir une bonne couverture posera également en filigrane la question de l'impact sur les voisins de passage clandestins ; c'est-à-dire d'une viticulture qui refuse d'émerger à la pratique collective et qui va, par là-même, profiter des pratiques des autres.

5.2.2.3 Détails

Initialisation

Un certain nombre de variables que nous utilisons dans la modélisation n'ont pas de valeur de calibration disponible dans la littérature. Même s'il existe des méthodes de résolution par « algorithme génétique »²¹, puisque notre modèle présente une très grande variabilité, nous avons dû opter pour une approche plus « classique » inspirée des travaux de GRIMM, REVILLA *et al.* (*ibid.*) qui consiste à définir la limite de l'aire de paramétrage en approchant au maximum des données de terrain.

Pour cela, nos données de terrain sont constituées des séries temporelles de comptage de

21. Par exemple, basé sur une sélection *steady-state* bi paramétrique (REUILLO, SCHMITT *et al.* 2014 ; SCHMITT *et al.* 2014).

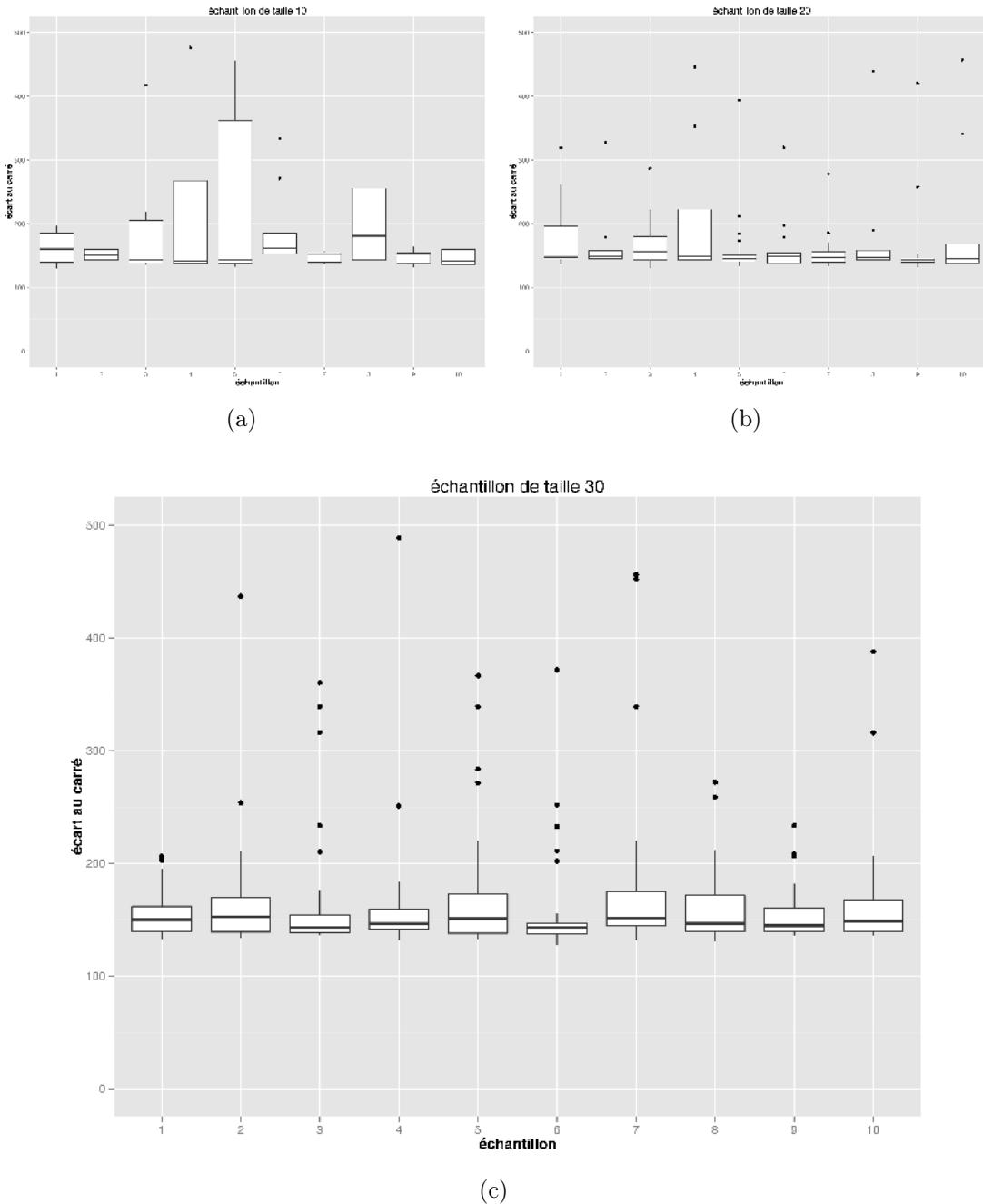


FIGURE 5.19 – Évolution des résultats de simulation par échantillon de 10 (a), 20 (b) et 30 (c) individus tirés aléatoirement parmi 10 000 simulations d'un même paramètre. Nous voyons bien qu'à partir de 30 simulations, nous atteignons une certaine stabilité du modèle

L. botrana effectuées par E. NOÉMIE²² (c.f. fig. 5.15). Nous avons approché ces données réelles en s'intéressant à la « distance » entre ces dernières et les résultats des simulations par la méthode des moindres carrés²³. Cela revient à résoudre l'équation 5.11 :

$$\chi^2(m) = \sum_i^n (y_i - m_i)^2 \quad (5.11)$$

où y_i est la mesure réelle et m_i la mesure simulée. L'objectif est de minimiser la différence de ce carré. Cette approche d'optimisation va permettre de réduire la « zone de validité » du modèle²⁴ à des gammes de paramétrages plus fines. La figure 5.20 nous permet, ainsi, de voir le comportement des populations au regard des deux paramètres d'optimisation (temps et nombre d'individus piégés). Nous avons initialisé le modèle avec 50 individus (25 mâles et 25 femelles).

Nous testons, dans un premier temps, l'effet de la densité spatiale (les graphiques en colonnes de 452 à 1810m²) et le paramètre du nombre d'œufs moyen (les graphiques en lignes de 20 à 30) qui minimisent les écarts à la moyenne sur le nombre d'individus (c.f. fig. 5.20(a)). Dans un second temps, nous nous attachons aux mêmes variables et à leurs effets sur la distance à la fin de simulation (c.f. fig 5.20(b)).

Ce premier niveau de lecture (sur la figure 5.20 et le tableau 5.4) nous permet de définir la taille de la zone initiale d'infection (SR sur le tab. 5.4). En effet, nous obtenons un comportement qui évolue tendanciellement dans le même sens vers des valeurs minorées quand la surface de dissémination initiale est de 1018m². Le choix du nombre d'œufs moyen par ponte est plus compliqué à estimer, car il semble lié à la distance de covisibilité des *L. botrana* (en ordonnée sur chaque graphe). Deux valeurs semblent au-dessus de la moyenne : 20 et 24 œufs²⁵. Le tableau 5.4 nous permet d'arbitrer entre ces deux valeurs. En effet, parmi les cinq jeux de paramètres qui permettent de minorer les valeurs LSQri et TS, les simulations du Rang 2 (20 œufs et une surface d'infestation de 1018m²) semblent remplir toutes les conditions. Le tableau 5.5 reprend les valeurs qui sont fournies au modèle à l'initialisation.

L. botrana est une espèce thermosensible. Son développement est largement lié aux températures locales, et varie entre les individus (nous en parlions dans la partie hétérogénéité et sur la figure 5.18). Nous chargeons donc à l'initialisation une couche d'informations contenant les températures spatialisées sur la zone (c.f. fig. 5.17) issues d'un SIG. Nous

22. GDA du cru Banyuls et des Albères.

23. Permet de comparer des données expérimentales, généralement entachées d'erreurs de mesures, à un modèle mathématique censé décrire ces données. Source : wikipedia http://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9thode_des_moindres_carr%C3%A9s, site consulté le 29 octobre 2014.

24. Sur le principe de la « théorie des catastrophes » de THOM (1989).

25. Ces valeurs sont inférieures aux valeurs proposées dans la littérature, c.f. L. TORRES-VILA *et al.* (2002).

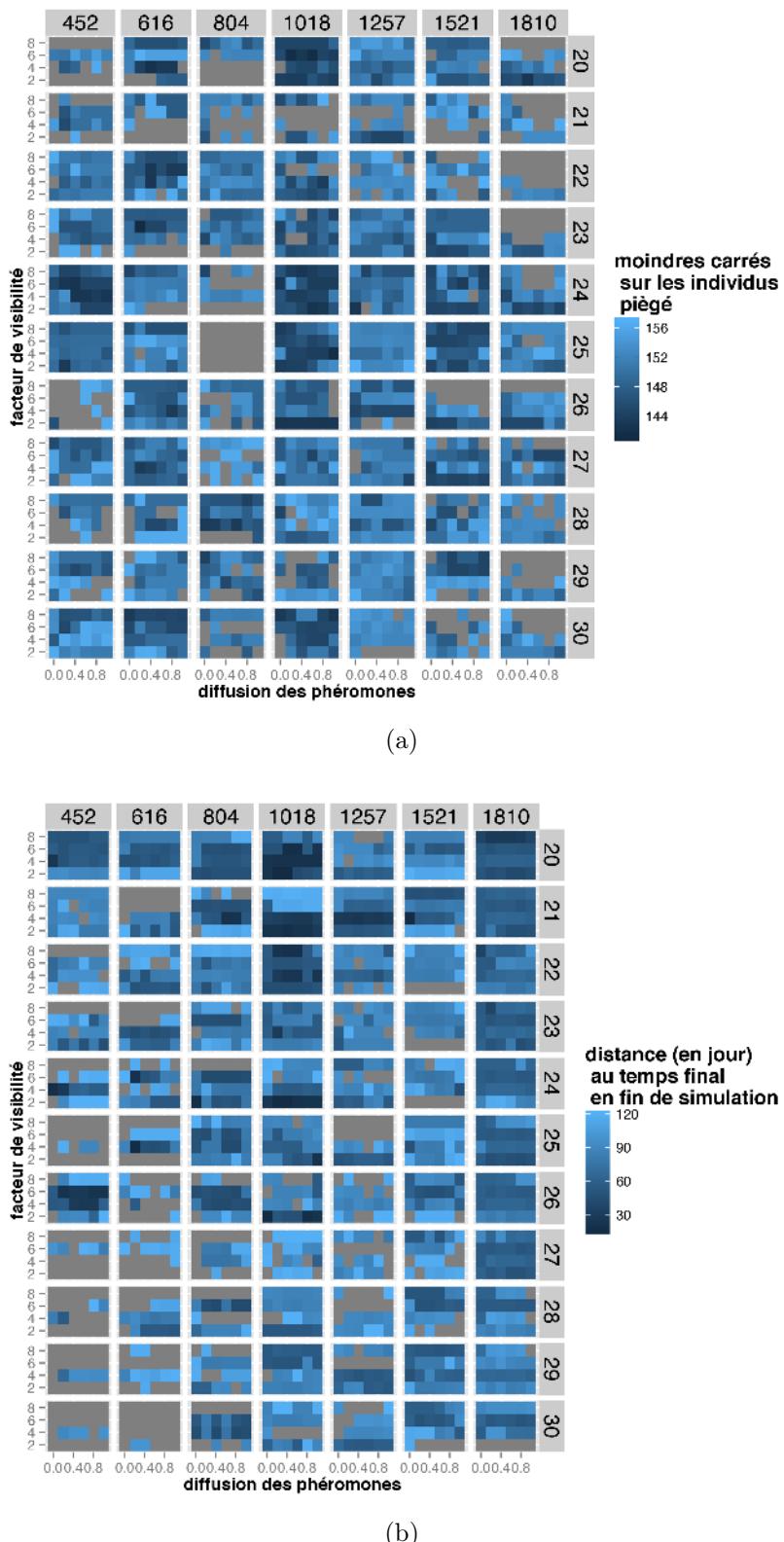


FIGURE 5.20 – Les comportements de la médiane des carrés aux écarts à la moyenne (a), et de la moyenne de la distance à la fin de la simulation (b). Les graphes en colonne représentent l'étendue de la zone d'infestation à l'initialisation, et les lignes correspondent au nombre d'œufs que peuvent pondre les femelles.

Rang	CD	NO	SR	DV	LSQr i	TS
1	0.20	23	616.00	6.00	141.07	149.85
2	0.60	20	1018.00	6.00	141.43	17.50
3	0.20	20	1018.00	6.00	141.43	47.46
4	1.00	25	1018.00	4.00	141.64	85.59
5	0.40	20	616.00	4.00	142.07	52.08

Tableau 5.4 – Cinq premiers paramètres permettant de minorer nos indicateurs. CD coefficient de diffusion des phéromones, NO nombre oeufs, SR surface d’infestation initiale, DV distance de visibilité, LSQr i la moyenne des écarts au carré entre le nombre d’individus piégés réel et le nombre d’individus piégés dans le modèle, TS Distance médiane à la date de fin de simulation

Description des variables	valeurs
Nombre initial de <i>L. botrana</i>	50
Distance reproduction	1 m
Phéromone laissée	100%
Réduction phéromone	2 %
Durée de vie	16 j
Surface initiale	1018m ²
Nombre d’œufs	20-24
Surface de couverture	314m ²
Nombre d’œufs	20
Angle max de rotation	180 °

Tableau 5.5 – Valeurs d’initialisation du modèle CeLL

intégrons également dans le modèle les parcelles viticoles sous forme de données SIG, ce qui nous permettra de discriminer les zones d'attraction pour *L.botrana* (le vignoble) et les zones neutres, où les femelles auront potentiellement moins tendance à pondre (non viticole). Nous n'avons pas tenu compte de potentielles espèces hôtes pour notre insecte (TASIN *et al.* 2006).

La disposition des diffuseurs de phéromones dans les *scenarii* correspondants se fait à l'initialisation de différentes façons :

1. La dispersion aléatoire est proposée sans tenir compte des zones de recouvrement des diffuseurs ;
2. La dispersion organisée à la parcelle propose de distribuer les diffuseurs de phéromones de manière organisée, mais à l'échelle des parcelles. Cela signifie qu'en bordure de parcelles les diffuseurs peuvent se chevaucher ;
3. La dispersion organisée à la zone propose la lutte organisée à l'échelle de la zone de lutte, ce qui permet d'optimiser le chevauchement des aires de diffusion de phéromones, mais nécessite une organisation concertée / centralisée de la lutte ;
4. La surface minimale de lutte propose des parcelles ou des portions de parcelles prises aléatoirement qui ne sont pas traitées par phéromones. Les parcelles installées en lutte intégrée le sont dans un contexte de dispersion organisée à la zone.

Variables de forçage

Le modèle est forcé avec les données de température journalisées issues du capteur TERVICLIM sur les années 2012 et 2013 (c.f. fig. 5.13).

Sous-modèles

Processus liés aux agents *L. botrana* :

Déplacement : il n'est possible que pour les individus adultes (stade papillon). Les agents, quels qu'ils soient, vont pouvoir se déplacer à 8 reprises pendant leur phase de déplacement, et leur comportement sera différent suivant le sexe :

- Pour les femelles : le déplacement est relativement aléatoire. Elles se déplacent dans une direction aléatoire entre 0 ° et 180 ° en face d'elles, puis se déplacent d'un pas et déposent leurs phéromones, pour ensuite recommencer l'opération. De cette manière, elles vont être capables de parcourir 8 pas (16 mètres) de manière linéaire, ou plus probablement en zigzag.
- Pour les mâles : ils vont s'orienter (faire face) vers la zone qui contient le plus de phéromones dans l'air circulaire de leurs champs de vision et se déplacent d'un pas, pour recommencer l'opération. Ils auront ainsi tendance à remonter la/les pistes de phéromones.

Stades	a	b	c
Œuf	0,297370	0,183374	0,187975
Lave	0,225958	0,195681	0,197009
Chrysalide	0,429051	0,211920	0,212915

Tableau 5.6 – Coefficient de l'équation 5.12 pour les différents stades de développement de *L. botrana*

Diffusion des phéromones : les agents femelles vont déposer dans l'espace une quantité de phéromone fixée arbitrairement à 100. Cette valeur est ensuite gérée par les cellules de la grille, qui vont transmettre à chaque itération la valeur reçue atténuée de 20%.

Développement : pour le calcul du développement individuel des insectes et le passage par les différentes phases (œuf \Rightarrow larve \Rightarrow chrysalide \Rightarrow adulte), nous avons utilisé le modèle développé par J. A. LOGAN *et al.* (1976)²⁶.

$$v(T) = a(e^{b(T-T_{inf})} - e^{b(T_{sup}-T_{inf})-c(T_{sup}-T)}) \quad (5.12)$$

Où :

- vT représente la vitesse de développement de l'individu en fonction de la température de l'air T . Dans ce modèle, nous introduisons l'approximation du taux de développement moyen journalisé comme étant liée à la vitesse de développement ;
- a , b , et c sont des coefficients qui ont été calculés à partir d'expériences en laboratoire sur l'évolution et le développement de *L. botrana* à température constante (RAPAGNANI *et al.* 1989). Ils sont repris dans le tableau 5.6 ;
- T_{sup} et T_{inf} sont les seuils thermiques de développement qui ont aussi été déterminés expérimentalement et qui sont respectivement 35 °C et 10 °C.

À chaque itération la valeur de $v(T)$ va augmenter pour chaque individu. Ainsi quand l'accumulation thermique enregistrée par l'agent est supérieure ou égale au l'accumulation thermique attendue par celui-ci et quand $v(T)$ sera supérieur ou égal à 1, l'agent pourra changer de stade et donc acquérir de nouvelles caractéristiques pour a , b et c .

Dégât : si les premières générations de cet insecte ne sont pas impactantes pour la plante, c'est généralement la troisième génération qui pose problème. En effet celle-ci va déposer ses œufs dans les baies et occasionner des dégâts.

Reproduction : Cette procédure s'adresse à la femelle adulte. Si celle-ci est capable de se reproduire (qu'elle n'a pas déjà été fécondée), elle va observer s'il y a un agent lobesia de sexe opposé en phase adulte. Si c'est le cas, elle aura une probabilité de se reproduire,

26. Ce modèle est repris par l'observatoire SardegnaArpa du Dipartamento specialistico regional idrometeoclimato de Sardaigne <http://www.sar.sardegna.it/pubblicazioni/notetecniche/nota3/pag019.asp> site consulté le 18 janvier 2015.

et cette probabilité va décroître avec le nombre d'accouplements (a_c) qu'elle aura déjà effectués. Pour calculer cette probabilité, un chiffre entre 1 et 100 est tiré au hasard, nous le nommerons m_a . Si l'équation 5.13 est vérifiée, l'accouplement a lieu. La femelle ne peut alors plus s'accoupler pendant 3 itérations, le temps de déposer ses œufs.

$$m_a <= \frac{100}{a_c + 1} \quad (5.13)$$

Les œufs sont créés par la femelle *L.botrana* qui leur transmet ses caractéristiques (sensibilisés à la chaleur). Le sexe est déterminé aléatoirement. Elle choisit dans son entourage (une distance de vol de $8m^2$) une zone avec le minimum d'autres individus pour limiter la concurrence pour la ressource et donc donner plus de chance de survie à sa progéniture.

Processus liés aux diffuseurs de phéromones (pièges) :

Diffusion des phéromones : que ce soit pour les diffuseurs de phéromone ou les insectes, la diffusion fonctionne de la même manière. Une quantité de phéromones est déposée à l'endroit où se situe le diffuseur ou le papillon femelle. La valeur laissée sur la cellule de la grille sera répartie entre les 8 cellules voisines à raison de $\frac{1}{8}$ de la quantité de phéromones laissée par la cellule voisine.

Processus liés à l'environnement :

Évolution de la température : La température est journalisée et forcée dans le modèle à chaque itération (jour par jour) grâce aux données TERVICILM.

5.2.3 Résultats

5.2.3.1 La lutte intégrée : efficience en condition simulée

Intéressons-nous tout d'abord aux résultats des simulations effectuées sans que soit installés les diffuseurs de phéromones. Ces résultats sont intéressants car ils nous permettent de définir l'état témoin duquel nous essaierons de nous éloigner. Nous pourrons, dès lors, comparer ces résultats à ceux produits par les *scenarii* qui nous intéressent (c.f. « observation »). Le tableau 5.7 reprend ses résultats. Nous attirons ici l'attention du lecteur sur le nombre d'œufs dans le système. En effet, les simulations s'arrêtent début août, au moment où la 2^e génération de papillons disparaît et où la 3^e génération commence. Ainsi le nombre d'œufs permet d'évaluer l'envolée à laquelle devra faire face la zone infestée.

En guise de point de repère, nous avons également fait fonctionner le modèle sans tenir compte du zonage, en disposant donc des pièges de manière homogène sur tout le territoire. L'information qui nous est alors accessible revient à évaluer l'impact de l'espace anisotrope sur les populations d'agents. On retrouve ces résultats dans le tableau 5.8. Nous pourrons retenir que :

variable	moyenne	médiane
Nombre de <i>L. botrana</i>	12155	1412
Fécondation	0.73	0.91
Nombre d'œufs	5791	0
Surface touchée	276m ²	500 m ²

Tableau 5.7 – Résultats des simulations d'évolutions des *L. botrana* sans piège. Le nombre de *L. botrana* reprend le nombre d'individus, tous stades de développement confondus. Fécondation permet d'évaluer la moyenne et la médiane du nombre moyen de fécondations que porte une femelle. Le nombre d'œufs est le nombre moyen et médian. Les surfaces touchées représentent la surface viticole atteinte par au moins un parasite

	4	12	20
moy lobesia	10749.06	15475.64	10610.55
med lobesia	1257.00	1766.50	809.00
moy Fec	0.89	0.83	0.68
med Fec	0.94	0.93	0.87
moy egg	2302.14	4006.38	2067.71
med egg	0.00	20.00	0.00
moy Infest	60.90	69.45	55.60
med Infest	48.00	54.00	35.00

Tableau 5.8 – Résultat de l'analyse de sensibilité effectuée dans un environnement homogène en piège. Les moyennes (moy) et les médianes (med) de chaque variable d'intérêt. En colonne nous retrouvons pour chaque variable d'intérêt sa valeur en fonction de la distance entre les diffuseurs de phéromones.

En comparant les tableaux 5.7 et 5.8 nous constatons que les valeurs médianes de chaque variable sont généralement moins élevées que les moyennes. De même, la distance entre les diffuseurs de phéromones semble jouer un rôle dans les résultats de simulation. La configuration où les pièges sont espacés de 20 mètres permettrait une meilleure gestion des populations d'eudémis, et ce quel que soit le stade (le nombre de lobesia et le nombre d'œufs sont réduits dans les deux cas).

Forts de ces deux repères, nous introduisons maintenant des données SIG (fig. 5.14). En travaillant sur les données issues du *scenario* où la lutte est pratiquée à l'échelle de toute la zone de manière homogène, nous souhaitons mettre en évidence les effets d'une lutte sur la diffusion du parasite (fig. 5.21). En comparant ces données à celles issues des tableaux 5.7 et 5.8, nous faisons le même constat que précédemment, les diffuseurs ont un effet sur la population d'insectes.

Avant d'entrer dans la description des résultats, nous avons réalisé quelques tests de corrélations par analyse de Variance (ANOVA). Nous trouvons la synthèse des résultats

variable	catégorie	P-value	Sign
Nombre de <i>L. botrana</i>	DP	1.803e-06	***
Fécondation	DP	5.585e-11	***
Nombre d'œufs	DP	3.583e-08	***
Surface touchée	DP	4.814e-05	***

Tableau 5.9 – Tableau synthétique des résultats de l'ANOVA pratiqués sur les résultats de simulation pour tester la corrélation entre la configuration spatiale des pièges installés à l'échelle du bassin versant (noté DP pour Distance entre les Pièges) et les différentes variables d'intérêt . Les étoiles (*) représentent la significativité de la p-value : ‘***’ 0.001 ***’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

dans le tableau 5.9. Pour les quatre variables qui vont nous intéresser, l'hypothèse H_0 est rejetée. Il semble donc exister une corrélation forte entre l'espacement des diffuseurs de phéromones et les quatre variables.

En entrant dans les détails des résultats de simulation en condition spatialement explicite, la figure 5.21(a) nous permet de visualiser l'effet de la densité des diffuseurs de phéromones sur le nombre de parasites (tous stades confondus). Nous constatons que le nombre d'individus diminue largement (d'un facteur 10) entre la situation sans piége (tab. 5.7) et celle où des pièges sont installés. En comparant les capteurs disposés de manière homogène sur tout l'espace (tab. 5.8), apparaît une réduction considérable du nombre médian d'agents lobesia quand l'espace est hétérogène. Dans la situation où les pièges sont espacés de 20 mètres, la réduction du nombre d'agents médian est de 88%, ce qui est entièrement imputable à l'existence de discontinuités spatiales. Enfin, nous l'avons noté précédemment, de manière assez surprenante, la pire des situations de lutte du point de vue du nombre d'individus est l'intermédiaire (distance entre les pièges de 12 mètres). Nous reviendrons un peu plus tard sur ce phénomène.

Sur la figure 5.21(b), nous pouvons noter l'effet significatif des pièges sur la population des parasites. Le nombre médian de fécondations subies par les femelles *L. botrana* est divisé par 4, voire 5 entre la situation avec et sans diffuseur. La différence entre les situations à 4-12 mètres et 20 mètres permet d'imaginer les effets du comportement différencié entre mâles et femelles (c.f. 5.2.4). Dans les deux situations extrêmes, la médiane des résultats est plus haute que dans le cas intermédiaire, et la variance plus réduite. En confrontant ces résultats aux tableaux 5.8, nous montrons que, là encore, l'hétérogénéité introduite par les données SIG influence le nombre moyen de reproductions par femelle. Ce dernier étant largement plus faible quand l'espace n'est pas entièrement couvert de diffuseurs.

La figure 5.21(c) nous donne à voir le nombre d'œufs début août. Là encore, la lutte par phéromones a réduit d'un facteur 10 le nombre d'œufs par rapport aux situations sans lutte (c.f. tab. 5.7). Nous imaginons bien que le grand nombre d'œufs, quand les

diffuseurs de phéromones sont espacés de 20 mètres, est dû à l'existence de zones moins chargées en phéromones qui permettent aux papillons mâles d'augmenter leur probabilité de trouver une femelle. Tandis que la situation à haute densité de pièges produit des rencontres aléatoires et réduit le nombre de pontes.

Enfin la figure 5.21(d), nous permet d'évaluer l'impact sur la vigne, dans la mesure où elle nous indique le nombre de mètres carrés concernés par un ou plusieurs papillons. Nous observons encore et toujours cette baisse radicale de la surface concernée par rapport à la situation sans diffuseur (c.f. tab 5.7). Nous notons que les surfaces médianes sont assez stables, mais que la variance est un peu moins étendue dans les situations avec une distance entre les pièges de 12 et 20 mètres.

Ce phénomène est également présent sur les exemples de simulations présentés sur la figure 5.22. La zone sur laquelle nous comptons au moins un insecte est plus étendue dans la situation 5.22(a) avec des pièges espacés de 4 mètres, que dans les situations où les pièges sont espacés de 12 et 20 mètres (respectivement fig. 5.22(b) et 5.22(c)). Par ailleurs, nous remarquons qu'une disposition à 4 mètres sature l'environnement de phéromones (fig. 5.22(a)). Les mâles sont incapables de trouver les femelles et restent à proximité immédiate des diffuseurs. La grande densité de phéromones permet aux femelles de tomber facilement sur un mâle et donc de se reproduire facilement. Le phénomène est accentué par l'effet de groupe des pontes autour des diffuseurs de phéromones.

Avec une distance de 12 mètres, l'environnement n'est pas saturé en phéromones (fig. 5.22(b)). Les mâles sont toujours attirés par les diffuseurs, ce qui transforme ceux-ci en epicentres d'infestations. Les pontes s'effectuent de manière concentrique autour d'eux, ce qui, petit à petit, au moment du passage à l'âge adulte, augmente la chance des mâles de trouver des femelles proches d'eux. Cette configuration bénéficie donc d'une densité assez forte de diffuseurs qui permettent aux femelles de tomber sur un mâle assez facilement, et ces mâles bénéficient de la non-saturation de l'environnement en phéromones après une phase de groupe qui favorise la rencontre avec une femelle avant d'être attirés par le diffuseur.

Enfin avec une distance de 20 mètres (fig. 5.22(c)), la distance entre les diffuseurs est suffisante pour réduire considérablement la probabilité qu'une femelle rencontre un mâle sur un diffuseur. Par ailleurs, l'environnement n'est pas saturé en phéromones ce qui permet aux mâles de trouver des femelles. Il est intéressant de noter que la chance d'accouplement est inversement proportionnelle à l'âge du papillon. En effet, plus le temps passe plus les mâles sont attirés par les diffuseurs. Tandis que dans la phase de groupe la distance qui sépare les individus nouvellement adultes est réduite et favorise accouplement.

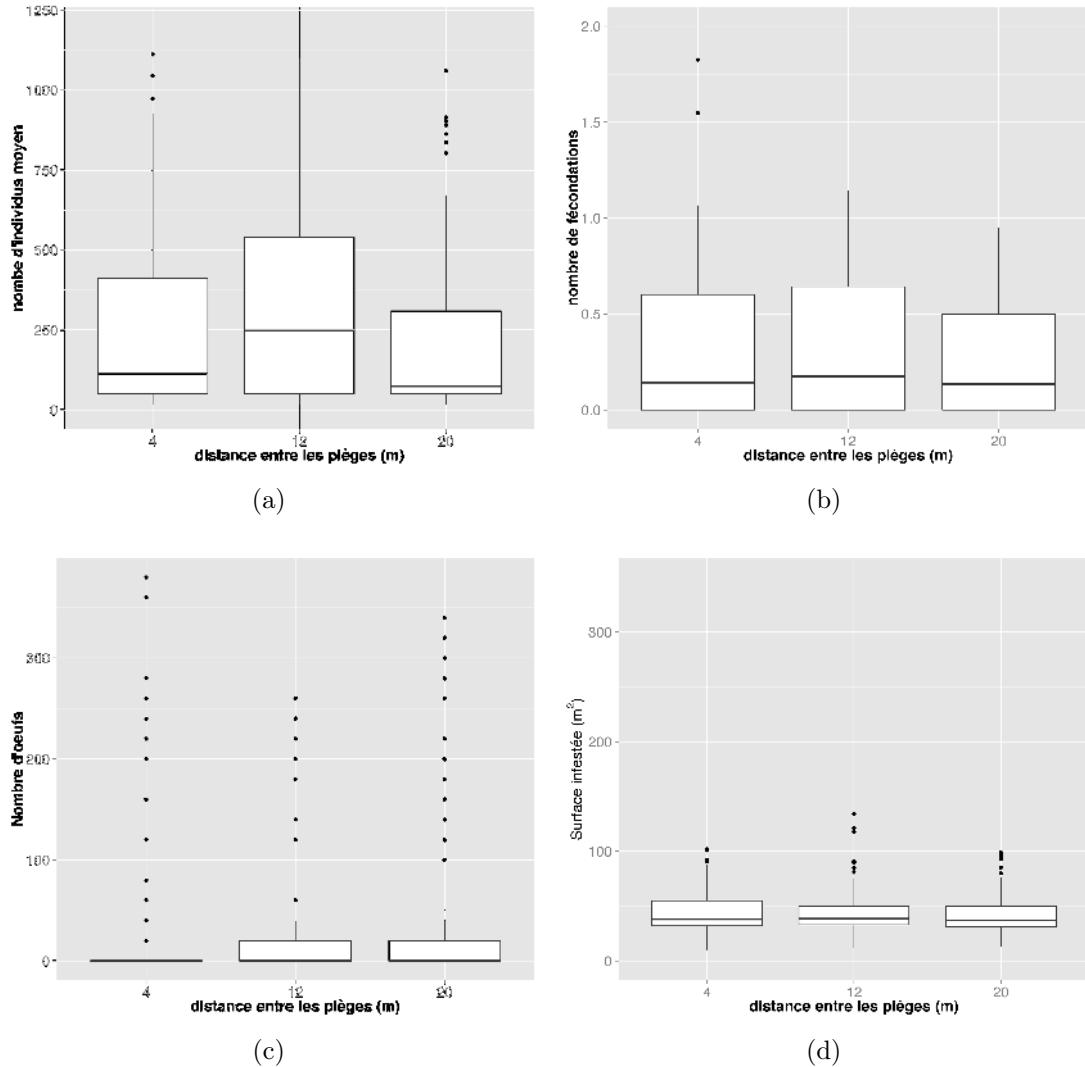


FIGURE 5.21 – Effet de la distance entre les pièges à phéromones sur la population de *L. botrana* en situation de lutte concertée au niveau du bassin versant. En (a) nous observons l'effet sur le nombre d'individus, en (b) sur la fécondité des femelles, en (c) sur le nombre d'œufs, et enfin en (d) sur les surfaces infestées par le parasite.

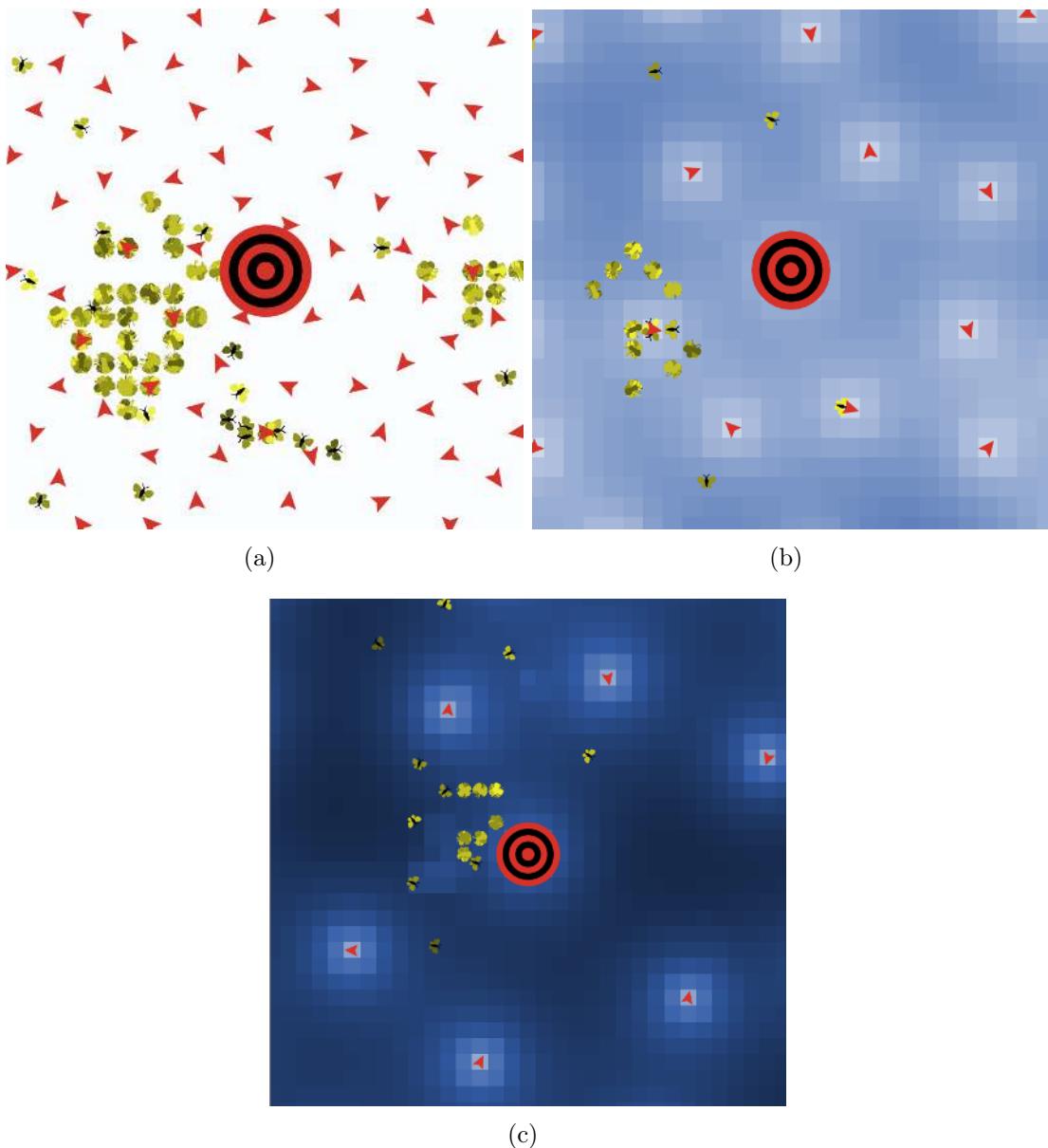


FIGURE 5.22 – L’effet de la densité de diffuseur de phéromones sur la distribution spatiale des *L. botrana*, en (a) avec une forte densité (4 mètres entre chaque diffuseur), en (b) avec une densité moyenne (12 mètres) et en (c), quand la densité est plus faible (20 mètres entre les diffuseurs). La concentration en phéromones est symbolisée par un dégradé du blanc (valeurs hautes), au noir (absence), en passant par toutes les valeurs de bleu pour les valeurs de présence de phéromones. La cible centrale donne l’échelle de l’image, elle est la même dans toutes les prises de vue.

Distance	rt2	rt3	diff
2	3569.51	3741.09	171.57
12	494.86	570.06	75.20
20	191.43	228.20	36.77

Tableau 5.10 – Nombre de pièges en fonction de l'échelle à laquelle est pensé le piégeage. Nous considérons rt2 comme la lutte à l'échelle du bassin versant, et rt3 la lutte à l'échelle de la parcelle. Les valeurs sont les moyennes du nombre de pièges par distance entre les pièges. Diff est la différence entre la situation rt3 et rt2

5.2.3.2 La lute intégrée : une échelle de réflexion

Quand il s'agit de procéder à de la lutte intégrée, l'échelle spatiale de réflexion entre en ligne de compte notamment quand l'objectif de la lutte s'applique à lutter contre un parasite mobile comme *L. botrana*. On est donc en droit de s'interroger sur la configuration spatiale de lutte la mieux adaptée pour protéger la production, tout en limitant les coûts de la méthode de lutte choisie.

Nous confrontons ici les résultats produits dans une configuration de lutte, réalisée à l'échelle d'un bassin versant (c.f. partie 5.2.3.1 et particulièrement, figure 5.21 et 5.22) avec des résultats produits dans une situation où chaque viticulteur pense la lutte à l'échelle de sa parcelle sans tenir compte de celle de ses voisins. La densité de diffuseurs entre les parcelles va donc être plus élevée qu'au centre de celles-ci.

Nous voyons dans le tableau 5.10 le nombre de diffuseurs de phéromones impliqués dans la lutte pour chaque échelle de réflexion. Plus la densité de pièges est forte par parcelle, plus le différentiel entre les deux situations de lutte est élevé, ce qui peut avoir des répercussions sur les capacités économiques des viticulteurs. Ceci est d'autant plus vrai dans les situations de viticulture de pente, où les exploitations doivent faire face à plus de difficultés (c.f. chap. 4).

Comme dans la partie précédente, nous avons effectué un test de corrélation basé sur une ANOVA et sur nos variables d'intérêt (tab. 5.11). Nous remarquons qu'il semble persister la corrélation déjà identifiée lors de l'ANOVA précédente (tab. 5.9). Ce lien semble moins fort concernant le nombre d'oeufs et la moyenne des fécondations, mais existe néanmoins. Nous allons donc étudier le comportement de ces variables.

La lutte à l'échelle de la parcelle permet une surabondance de pièges en limites de parcelles. Ce phénomène a pour effet de réduire légèrement la variabilité du nombre d'individus des différents groupes, mais également d'en augmenter la médiane (fig. 5.23(a)). Nous nous retrouvons donc, en fin de 2^e génération, avec plus de parasites tous stades confondus. Il apparaît également une variance toujours plus grande du nombre d'agents²⁷ pour une situation où les diffuseurs sont disposés tous les 12 mètres.

27. Phénomène que nous avons également relevé sur la figure 5.21.

variable	catégorie	P-value	Sign.
Nombre de <i>L. botrana</i>	DP	0.01165	*
Fécondation	DP	0.006948	**
Nombre d'œufs	DP	1.622e-12	***
Surface touchée	DP	1.977e-05	***

Tableau 5.11 – Tableau synthétique des résultats de l’ANOVA pratiqués sur les résultats de simulation pour tester la corrélation entre la configuration spatiale des pièges installés à l’échelle des parcelles, les différentes variables d’intérêt et la distance entre les pièges (noté DP). Les étoiles (*) représentent la significativité de la p-value : ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

En ce qui concerne le nombre moyen de fécondations par femelle (fig 5.23(b)), la variance de chaque groupe reste assez stable par rapport au résultat de la simulation en situation de lutte sur le bassin versant (fig. 5.21(b)). Par contre, la médiane évolue. Nous aurions donc légèrement plus de fécondations dans une situation à 4 mètres et moins dans un contexte à 20 mètres.

Le nombre d’œufs médian (fig. 5.23(c)), produisant potentiellement la 3^e génération d’insectes, est lui aussi très stable, mais la variance, elle, est plus élevée dans une situation de lutte à haute densité. Enfin, les surfaces peuplées d’eudémis sur lesquelles on retrouve de l’eudémis bondissent. La médiane est presque multipliée par deux, mais la variance intergroupe est également très forte. Les surfaces viticoles touchées par l’infestation (fig. 5.23(d)) sont dans ce cas plus élevées que dans une situation où la lutte est effectuée à l’échelle du bassin versant (fig. 5.21(d)). Nous nous retrouvons dans la situation évoquée sur la figure 5.22. En effet, le parcellaire de nos zones d’étude étant très éclaté, la surreprésentation des diffuseurs en limite de parcelle tend à s’approcher de la situation évoquée sur la figure 5.22(b). Les adules auront tendance à se masser en bordure de parcelles, ce qui augmentera la probabilité pour les femelles de rencontrer un mâle par hasard.

5.2.3.3 La lutte intégrée et le passager clandestin

La question du passager clandestin dans les campagnes de lutte épidémique interpelle de manière cyclique la société, et le monde viticole n’en est pas exempt²⁸. Or, en écoutant les bruissements de la société, il s’avère que la lutte intégrée nécessite l’adoption des pratiques par l’ensemble des viticulteurs. Mais le refus de participer à des pratiques de lutte collective fait-il appel à une question d’ordre sanitaire et/ou moral et/ou économique ?

28. L’affaire Giboulot en Côte-d’Or, refusant de traiter des vignes contre la flavescence dorée en est un exemple récent. Cf article sur le site du Monde http://www.lemonde.fr/planete/article/2014/02/24/le-viticulteur-bio-qui-refuse-de-traiter-ses-vignes-devant-le-tribunal_4372007_3244.html, site consulté le 26 février 2015.

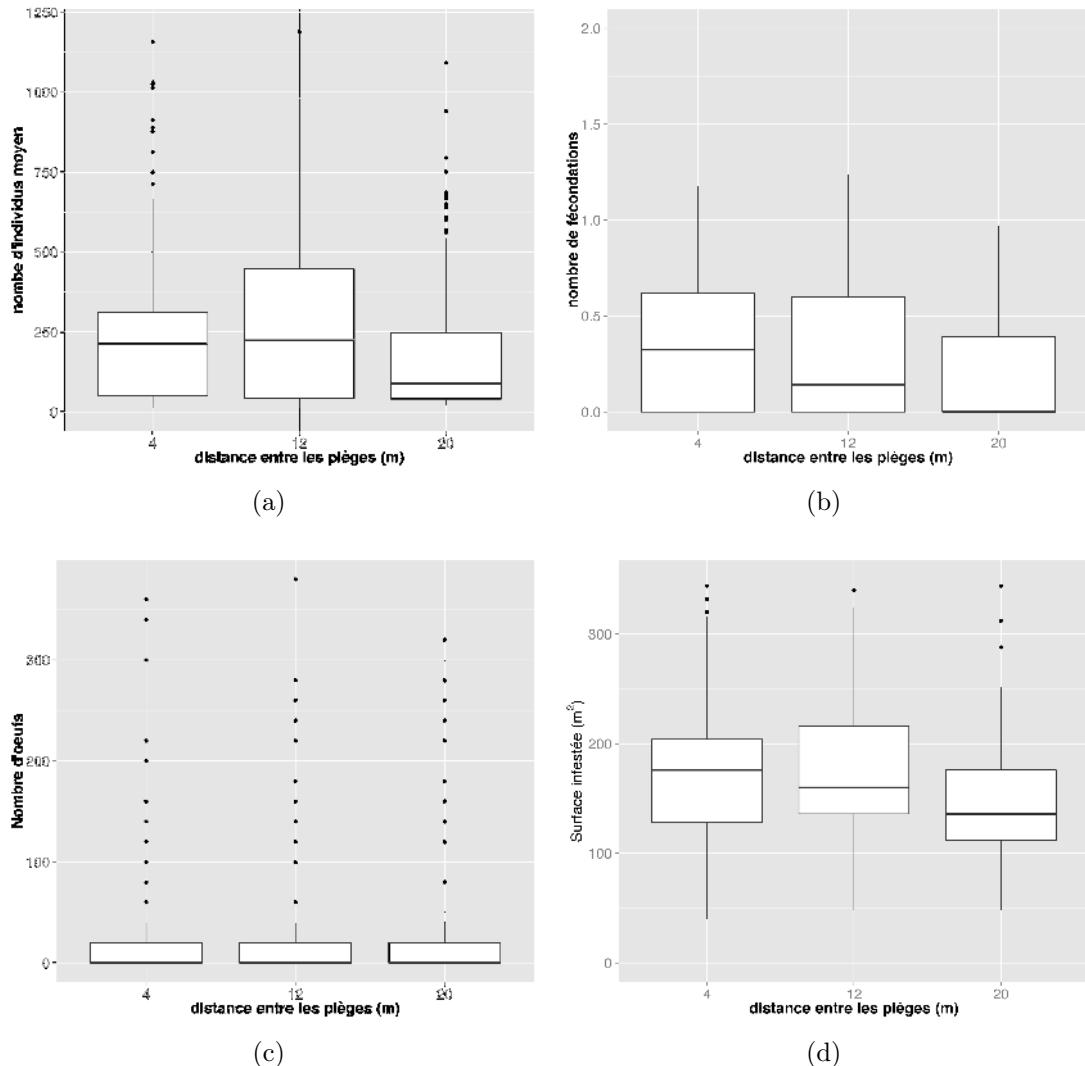


FIGURE 5.23 – Effet de la distance entre les pièges à phéromones sur la population de *L. botrana* en situation de lutte raisonnée à la parcelle. En (a) nous observons l'effet sur le nombre d'individus, en (b) sur la fécondité des femelles, en (c) sur le nombre d'œufs, et enfin en (d) sur les surfaces infestées par le parasite.

Dans le cas de *L.botrana*, nous avons exploré l'influence sur le système de l'existence de passagers clandestins. Nous avons pour cela introduit aléatoirement des passagers clandestins dans la simulation et reprenons les résultats sur la figure 5.24. Elle reprend la même logique que les précédentes, mais y figure une information supplémentaire : la distance au passager clandestin le plus proche sous la forme d'une classification. Nous retrouvons donc, dans chaque graphique, trois classes calculées selon la méthode des sauts naturels de Jenks²⁹. La première regroupe les résultats pour des clandestins situés entre 0 et 50 mètres de la zone d'infestation initiale, la seconde entre 50 et 120 mètres, et enfin la troisième regroupe des parcelles non confusées à une distance comprise entre 120 et 240 mètres.

Avant de nous lancer dans l'analyse, nous effectuons de nouveau une ANOVA (tab. 5.12). Nous nous apercevons que les corrélations sont faibles pour le nombre d'agents et le nombre d'œufs, et inexistantes en tant qu'influence sur le nombre moyen de fécondations et les surfaces concernées par les insectes. Nous soulignons ici que la seule corrélation qui persiste entre le tableau 5.9 et le tableau 5.12 vis-à-vis de la configuration spatiale est liée au nombre moyen de fécondations par femelle, qui lui, n'est pas corrélé à la distance du passager clandestin. Bien que les corrélations observées soient faibles entre la distance au clandestin, le nombre d'insectes et d'œufs, le nombre moyen de fécondations, les surfaces touchées et le nombre de clandestins, c'est à ces variables que nous nous intéresserons par la suite.

En procédant avec circonspection par rapport aux résultats des simulations, nous comparons rapidement la figure 5.24 et la figure 5.21 produites respectivement avec ou sans passagers clandestins, tous les autres paramètres restant inchangés. Nous constatons que la réponse du système n'est pas entièrement linéaire (fig 5.24(a) et (b)). Les résultats avec passagers clandestins, de manière contre-intuitive, sont souvent meilleurs que les résultats sans passager clandestin (nous y reviendrons dans la partie 5.2.4).

En effectuant une comparaison plus fine, nous observons que les profils des boxplots représentant les deux premières classes de populations avec un passager clandestin à moins de 120m (fig. 5.24(a)) ont un profil semblable à ceux de la figure 5.21(a), avec toutefois une légère hausse de population quand les pièges sont disposés à 12 mètres les uns des autres. Au regard des deux graphes 5.24(a) et (b), la situation la plus périlleuse pour la récolte semble être quand le passager clandestin est situé de 50 à 120 mètres du foyer d'infestation et quand les diffuseurs de phéromones sont espacés de 12 mètres les uns des autres.

Comme les résultats de l'ANOVA nous le laissent penser, il y a une corrélation faible

29. Méthode de clusterisation qui repose sur une optimisation de la déviation moyenne des classes. C'est une méthode de résolution itérative. C.f. http://en.wikipedia.org/wiki/Jenks_natural_breaks_optimization, site consulté le 25 février 2015.

variable	catégorie	P-value	Sign.
Nombre de <i>L. botrana</i>	CL	0.01537	*
	NC	0.881	
	DP	0.4948	
Fécondation	CL	0.1514	
	NC	0.01178	*
	DP	1.265e-05	***
Nombre d'œufs	CL	0.04278	*
	NC	0.5522	
	DP	0.6651	
Surface touchée	CL	0.2185	
	NC	0.03016	*
	DP	0.9074	

Tableau 5.12 – Tableau synthétique des résultats de l'ANOVA pratiquée sur les résultats de simulation en présence de passagers clandestins dans la zone de lutte. Nous testons ici la corrélation entre la classe de distance au clandestin (CL), la distance entre les pièges (noté DP), le nombre de passagers clandestins (NC) et les différentes variables d'intérêt. Les étoiles (*) représentent la significativité de la p-value : *** 0.001 ** 0.01 * 0.05 . 0.1 ‘ ’ 1

entre le nombre moyen de fécondations par femelle et le nombre de passagers clandestins (fig. 5.24(c)), ceci avec une légère hausse quand le nombre de passagers clandestins est de 6 plutôt que 2 ou 10. Cela laisse présager un fonctionnement complexe du système entre les zones confusées et les zones non confusées.

Enfin le graphe 5.24(d) met en regard les surfaces infestées par le parasite et le nombre de passagers clandestins. La variance intergroupe a tendance à augmenter avec le nombre de parcelles non confusées, ce qui est lié à la sélection aléatoire de ces dernières. À l'échelle du système, le problème de passager clandestin ne met pas en péril la production globale.

5.2.4 Discussions

Deux points nous paraissent importants à souligner dans cette discussion. Ils concernent en fait deux étapes différentes dans la démarche de modélisation, dans lesquelles l'usage de simulations offre de très grandes perspectives. Le premier point consiste à chercher des motifs et des dynamiques en œuvre dans la simulation, en explorant de manière systématique son espace de paramètres (le *pattern oriented design* des GRIMM, REVILLA *et al.* (2005)), et ses apports dans l'étude des mécanismes difficilement visibles en plein champ. Le second point concerne les apports spécifiques, dans notre modèle, à la compréhension plus générale des mécanismes responsables de la prolifération de l'eudémis.

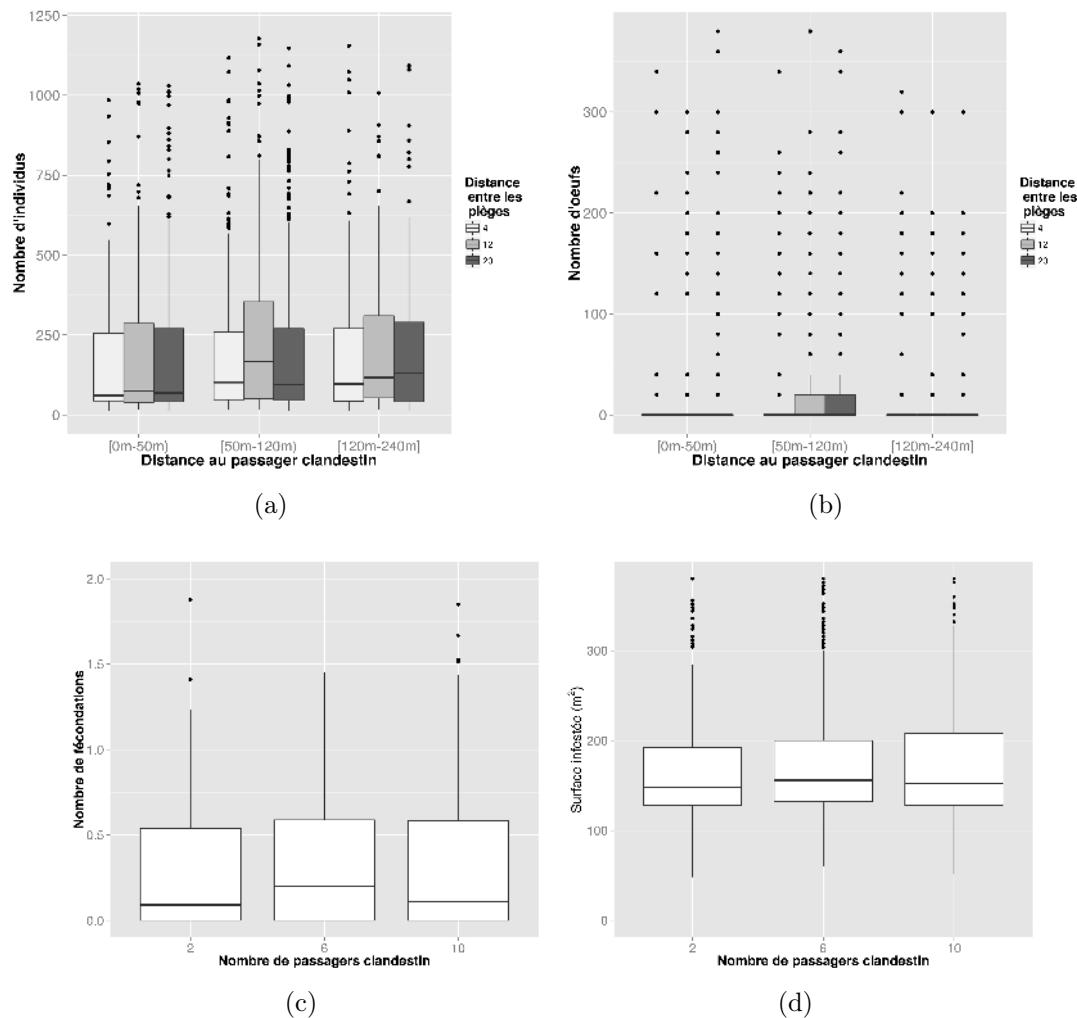


FIGURE 5.24 – Comportement des variables d'intérêt dans une situation avec passagers clandestins. En (a), est montré l'effet de la distance minimum du passager clandestin sur le nombre d'individus, en (b) celui de cette même variable sur le nombre d'œufs. Les graphes (c) et (d) reprennent respectivement le nombre moyen de fécondations par femelle et les surfaces infectées au regard du nombre de passagers clandestins sur la zone simulée.

5.2.4.1 L'exploration algorithmique des variables

Le premier constat à faire sur ce modèle relève de l'utilisation de la modélisation pour explorer la définition de variables et des formalismes utilisés (c.f. part 5.2.2.3). Ce travail de définition des variables par des méthodes algorithmiques permet de questionner des comportements largement documentés, mais également de prospecter le comportement de variables qui n'est pas / ou peu documenté dans la bibliographie (SCHMITT *et al.* 2014; REUILLOU, SCHMITT *et al.* 2014).

Ainsi, grâce aux résultats présentés notamment sur la figure 5.20 (qui représente, par la méthode des moindres carrés, les configurations qui permettent d'approcher au mieux des relevés de pleins champs), nous sommes capables de définir la taille de la zone d'infection pour qu'une population de parasites se développe (GRIMM, REVILLA *et al.* 2005). Nous avons également été capables d'affiner le nombre d'œufs pondus par les femelles à 20 ou 24 en condition de pleins champ, au lieu des 30 de moyenne en laboratoire proposés par L. TORRES-VILA *et al.* (2002).

5.2.4.2 Effet réel de confusion virtuelle ?

Malgré l'effort apporté à la paramétrisation, ce travail reste à considérer comme une étude de comportement plausible des *L. botrana* en plein champ. Les résultats relèvent davantage de tendances que de valeurs réellement mobilisables. Ils visent à questionner le modélisateur sur sa pratique et l'observateur de terrain sur les variables qu'il observe. Une fois ces précautions effectuées quant à l'utilisation qui pourrait être faite des résultats, nous pouvons nous intéresser aux phénomènes de confusion sexuelle par diffusion de phéromones dans notre monde virtuel. Elle endigue largement le développement des populations de *L. botrana* (c.f. tab. 5.7 et fig. 5.21), comme nous l'observons significativement en plein champ (DELBAC *et al.* 2010 ; STOCKEL *et al.* 1994).

Ce premier résultat, qui doit être considéré comme une « preuve du concept » des possibilités liées au portage de modèles statistiques vers des modèles agents, nous permet d'aborder les questions liées à l'espace qui sont bien souvent laissées de côté dans les travaux traditionnels de modélisation (AINSEBA *et al.* 2011). Ainsi, l'introduction de l'espace et l'analyse que nous proposons en comparant espace homogène et hétérogène soulignent l'importance de ce dernier. En effet, les résultats issus de véritables parcelles aux conditions locales propres (fig. 5.21) influencent considérablement les dynamiques de population par rapport aux conditions homogènes de disposition des diffuseurs (sec. 5.2.3.1).

Ce premier résultat conforte l'intérêt d'une modélisation à base d'agents, et offre la possibilité d'aller plus loin. En effet, comme DEGEN *et al.* (2005) et O. T. JONES (1998) le soulignent à l'envie, la lutte par confusion sexuelle « fait appel à divers mécanismes

hypothétiques ». Or, la modélisation à base d'agents peut être considérée comme une étape supplémentaire dans le processus de construction disponible entre le laboratoire (où sont testées les grandes hypothèses) et le champ des viticulteurs (où les hypothèses sont testées). Ainsi tous les travaux sur l'accouplement des *Lobesia* adultes (VASSILIOU 2009 ; L. TORRES-VILA *et al.* 2002 ; L. M. TORRES-VILA *et al.* 1995) ou sur l'influence des plantes hôtes pourraient être testés (TASIN *et al.* 2006).

De part son échelle de résolution, notre modèle et nos simulations ne sont pas concurrents des travaux effectués à plus grande échelle (AMO-SALAS *et al.* 2011) qui nécessiteraient de repenser les processus agrégatifs des individus ainsi qu'un certain nombre de contraintes jouant sur des échelles imbriquées (E. DELAY et VINATIER 2015).

Notre modélisation nous permet de tester différents agencements de diffuseurs (fig. 5.22) et d'en évaluer l'incidence sur la population de papillons (fig. 5.22). Ces résultats sont légitimes du point de vue des viticulteurs pour disqualifier certains comportements de lutte. Nous pouvons imaginer qu'un maillage du territoire viticole à 4 ou 12 mètre soit moins intéressant par rapport à celui à 20. La variance du nombre d'œufs étant la même (au moins entre 12 et 20 mètres), le risque pour la récolte n'est pas atténué alors que le coût de la couverture par les phéromones est plus élevé. En effet, à l'échelle du modèle, ce sont un peu plus de 38% de diffuseurs supplémentaires qui sont nécessaires pour couvrir la même surface (c.f. tab 5.10). De même, la mise place de la lutte à l'échelle des parcelles conduit à une surreprésentation des diffuseurs en limite de celles-ci, ce qui a un effet contre-productif sur les surfaces infestées même si la taille des populations reste faible.

Par ailleurs, DEGEN *et al.* (2005) soulignent quelques limites à la lutte intégrée par diffusion. Ils évoquent l'efficacité, le coût du travail (impliquant le prix des produits et le temps d'application), les impacts environnementaux et les effets sociaux. Pour nous, grâce à la confrontation des résultats des parties 5.2.3.1 et 5.2.3.2, l'efficacité de la lutte est quantifiable par la modélisation. De même, nous pouvons optimiser la méthode de lutte d'un point de vue économique en identifiant la configuration spatiale adaptée. Ce qui nous conduit à préférer une stratégie de lutte à l'échelle du bassin versant plutôt que de la parcelle. Or, dans ce contexte économique mais en tenant compte de variables sociales, la grande taille de la population viticole concernée par la lutte dans le cas particulier de nos territoires de pente pourrait être complexe à mobiliser et à animée. La lutte pourrait alors passer par l'outil de production majoritaire et présent sur les deux territoires : la coopérative. En effet, celle-ci semble avoir accès à une bonne échelle de réflexion spatiale, et pourrait, de plus, bénéficier de prix plus attractifs en centralisant les achats.

Proposer une prise en charge de la lutte à une échelle agrégée permet en plus de rationaliser la lutte, de contourner les problèmes d'hétérogénéité sociale que peut poser le renoncement de certains viticulteurs à la lutte par confusion (les passagers clandestins).

En effet, dans les simulations, nous avons montré que la diffusion des populations de papillons est relativement limitée dans l'espace (sans contrainte extérieure), ce qui n'encourage pas le viticulteur non touché à participer à la lutte. Inversement, les viticulteurs participant voient d'un mauvais œil le refus de traitement de leurs voisins qui deviennent alors des zones refuges pour le parasite (*ibid.*).

Conclusion

Le modèle CeLL est donc un exemple des possibilités offertes par les systèmes multi-agents dans la perspective de lutte contre le parasitisme. L'approche résolument orientée "agent" que nous avons abordée ici n'exclut en rien les autres méthodes d'approche statistique et/ou computationnelle qui peuvent être mises en place pour s'intéresser à d'autres aspects des dynamiques de *L. botrana* à cette échelle (AMO-SALAS *et al.* 2011 ; AINSEBA *et al.* 2011) ou à des échelles plus vastes (CAFFARRA *et al.* 2012).

Par ailleurs, le modèle s'inscrit également dans une réflexion plus vaste sur les recevabilités de l'utilisation des SMA pour comprendre et agir sur les mécanismes à l'œuvre dans les phénomènes de diffusion des ravageurs (REBAUDO et DANGLES 2013 ; CACHO *et al.* 2010). Il serait, par exemple, particulièrement intéressant d'adoindre à ce modèle un modèle de relation sociale tel que celui développé dans E. DELAY et MARCELIN (2014), car les phénomènes de passagers clandestins peuvent être considérés comme des phénomènes issus d'interactions sociales. Cette couche sociale d'interactions permettrait de pousser la réflexion sur la diffusion de l'information, et les capacités de surveillance passive du territoire par les viticulteurs à des échelles plus fines que celles proposées par CACHO *et al.* (2010).

Conclusion du chapitre

Dans ce dernier chapitre consacré à la description des modèles et de leurs résultats, nous avons abordé des questionnements caractérisés par leur formulation spécifique par les acteurs de terrain. Alors que les modèles présentés dans les chapitres 3 et 4 nous ont permis de mieux cerner les spécificités viticoles de nos territoires et de les confronter aux différentes réalités des acteurs locaux (WATZLAWICK 1984), les modèles *Acidity GIS* et CeLL nous ont amenés à rechercher les réponses à des questionnements locaux, dans une démarche explicitement *bottom-up* (BECU, PEREZ *et al.* 2003 ; SMAJGL et BARRETEAU 2013a).

Signe de notre temps et symptôme d'une agriculture possédant déjà une culture informatique, ces deux modèles n'ont trouvé de public que lorsqu'ils ont été construits sur des données réelles permettant aux viticulteurs de confronter leur vécu aux sorties de modèle.

Cet état de fait a nécessité de notre part un travail de récolte de données quantitatives et d'observations de terrain conséquentes dictées par l'échelle fine des mécanismes que nous avons voulu explorer.

Ces deux modèles largement *data-driven* nous ont permis de confirmer la place de l'espace en tant qu'objet hétérogène et facteur influençant les comportements locaux des agents : que ce soit dans *Acidity GIS* où les viticulteurs tirent rapidement partie des zones plates en haut de versant pour réduire les coûts de production, ou dans CeLL où ces mêmes viticulteurs tirent partie des zones non viticoles pour réduire les dégâts liés aux populations d'eudémis se développant sur leurs parcelles.

Chapitre 6 :

Éléments de prospective : les mutations possibles de la filière viticole et agricole de fortes pentes

« [...] Que nous importent les doctrines politiques qui prétendent épanouir les hommes, si nous ne connaissons d'abord quel type d'homme elles épanouiront. »

SAINT-EXUPÉRY (1939, p.159)

Il apparaît, au travers des différents modèles, que l'espace peut être considéré comme une production sociale (AURIAC 2000, p.174), et que celle-ci est robuste aux changements d'échelle. Le travail sur l'ontologie alliant terroirs et territoires (chap. 1) nous en laissait deviner l'existence et positionnait l'espace comme l'un des concepts majeurs de l'alignement ontologique.

Pour la suite du travail, nous essaierons de prendre du recul face aux modèles et aux territoires d'études pour percevoir les possibilités et les informations qui leurs sont inhérentes en effectuant ce changement d'échelle, permis par la robustesse de l'espace, et ainsi réfléchir aux territoires de fortes pentes de manière plus grande et moins ancrée.

Pour cela, nous pourrons garder à l'esprit qu'un système à base d'agents intégré dans une démarche empirique n'est pas un outil pour améliorer le travail de recherche, mais doit plutôt être pensé comme une manière de s'assurer de la robustesse d'un petit élément de la recherche (AGAR 2003). Dans notre cas, nous avons proposé ici six modèles qui nous ont permis de comparer des phénomènes observés et des résultats simulés à différentes échelles et de tester différents *micro-scenarii* pour nos territoires d'étude.

Notre réflexion se portera sur l'intégration et l'utilisation de ces modèles comme outils d'aide à la compréhension et à la décision pour les territoires viticoles de fortes pentes. Ce chapitre est divisé en deux grandes parties. Dans un premier temps, dans la section 6.1, nous reviendrons sur des notions de théorie prospective pour les mobiliser dans notre cadre de travail. Nous procéderons à une analyse des variables structurant nos territoires sur le plan des modèles puis sur celui des acteurs pour en évaluer les similitudes et les dissonances. Ce sera alors l'occasion de proposer une relecture des méthodes employées pour la construction et la validation de modèles en confrontant les résultats avec la manière dont les acteurs vivent leurs territoires.

Cela nous amènera, dans un second temps (section 6.1.5), à revisiter les résultats des méthodes prospective développées précédemment pour proposer des *scenarii* prospectifs pour les territoires viticoles de fortes pentes, pris dans leur généralité. Ceux-ci pourront servir de base de réflexion et d'orientation pour les politiques publiques à mettre en place à l'échelle de ces territoires.

6.1 Confrontation des analyses stratégiques des territoires viticoles de fortes pentes

« Le rêve ne s'oppose pas à la réalité, il la féconde et le projet animé par le désir est le moteur de l'action » GODET (2014b, p.5)

GODET (1985, p.25) définit la prospective en négatif, comme n'appartenant ni à la prévision¹, ni à la futurologie², mais comme « une réflexion pour l'action antifatalité qui donne une clef de compréhension et d'explication des crises ». Dans un contexte de crise, quasiment omniprésent aujourd'hui, les décisions doivent être prises rapidement, mais la réactivité de ces décisions n'est pas une fin en soi. Aussi faut-il développer une vision à long terme des problématiques qui peuvent survenir, et des situations qu'il serait souhaitable d'atteindre, les actions mises en place à court terme permettant alors d'y accéder.

Nous proposons dans cette section, après une mise en contexte théorique, d'ouvrir la réflexion prospective pour la viticulture de fortes pentes de manière plus générale. Cette réflexion s'est faite en trois étapes :

1. Nous avons isolé à partir des modèles présentés dans les chapitres 3, 4 et 5 les variables structurantes et le type d'interaction formalisée.
2. Nous avons travaillé avec des acteurs de la Côte Vermeille sur l'identification *ex nihilo* des variables qui sont pour eux structurantes.
3. Enfin nous avons confronté les deux types de représentation de la réalité.

6.1.1 Les apports des théories prospectivistes

Les théories prospectives sont directement issues du management en entreprise, avec les premières expériences de dissociation des responsabilités stratégiques (fixation des objectifs) et des tactiques (moyens pour y parvenir). L'objectif affiché était alors de construire les grandes orientations des entreprises pour leur permettre de traverser les crises. Il s'agit de proposer une vision à long terme des actions à mener pour ne pas se laisser perturber par les mille et un ajustements que nécessiterait l'actualité. Si la vision prospective est née du monde de l'entreprise, elle a évolué avec le temps vers différentes approches.

On retrouvera par exemple ceux qui, comme G. BERGER (1967), conçoivent la démarche prospective comme un état d'esprit. Puis, se sont développés des travaux essayant d'inscrire la prospective dans des cadres conceptuels en proposant des méthodes et des formalismes pour y arriver (GODET 1985 ; M. SEBILLOTTE et C. SEBILLOTTE 2002). D'autres,

1. La prévision est « d'une façon générale, la science de la description de l'avenir ». c.f. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Pr%C3%A9vision>, site consulté le 09 mars 2015.

2. La futurologie « étudie les différents scénarios possibles du futur », <http://fr.wiktionary.org/wiki/futurologie> site consulté le 09 mars 2015.

en intégrant des approches formelles, se sont plus intéressés aux prospectives liées aux décisions stratégiques (LESOURNE 1983), ou bien encore à la prospective appliquée aux territoires (GUIGOU *et al.* 2000 ; GOUX-BAUDIMENT 2000 ; GODET *et al.* 2010).

Par ailleurs, s'il est une chose que l'actualité nous apprend tous les jours, c'est que dès lors que des comportements individuels entrent en jeu, le monde ne se soumet pas aux règles économiques, sociologiques, etc., en vigueur dans les sciences plus exactes. La plupart des méthodes statistiques traditionnelles s'emploient à l'extrapolation de tendances³, et s'avèrent absolument impuissantes à prévoir les changements structurels (les crises) (GODET 1985, p.28). Malgré cela, la démarche prospective peine à s'installer, véhiculant des réticences quant à un certain flou persistant autour des méthodes, et donc un certain risque à l'instrumentalisation des résultats.

La démarche prospective admet qu'à tout instant l'avenir est multiple et résulte de la confrontation des différents acteurs, de leurs projets et des opportunités qu'ils savent saisir. « Ce n'est donc pas seulement le passé qui explique l'avenir, mais aussi l'image du futur qui s'imprime dans le présent » (ibid., p.29). Mais cette prospective n'a d'intérêt qu'à partir du moment où les acteurs s'en saisissent pour mener des projets et des actions sur le temps long (M. SEBILLOTTE, AIGRAIN *et al.* 2003, p.330).

On notera que l'assimilation est d'autant plus forte que ces derniers sont intégrés dans la démarche prospective (DE GEUS *et al.* 1996), une constatation que l'on retrouve dans la démarche de co-construction de modèles plébiscitée par la méthodologie ComMod (ETIENNE et COLLECTIF 2010). Le recours à la participation des acteurs est d'autant plus important quand les processus sont complexes, les faits incertains, les valeurs discutées et les enjeux élevés, ce qui de fait caractérise les sciences post-normales telles que les proposent FUNTOWICZ et RAVETZ (1993).

Le monde de la vigne et du vin n'est pas vierge de réflexion prospectiviste, loin s'en faut. Un certain nombre de travaux ont pour objet d'étude la prospective dans la filière viticole (HANNIN, BRUGIÈRE *et al.* 2010 ; COUDERC *et al.* 2007 ; AIGRAIN, HANNIN et VERT 2013). Et pour cause, le vin est un produit agricole transformé dont la production, selon l'OIV, place la France au 2nd et l'Italie au 3^e rang mondial en 2010 (fig. 1.8).

Pour les cultures occidentales, le vin est un produit précocement marchand⁴, psychotrope⁵, symbolique et sacrificiel⁶ etc., (AIGRAIN 2011 ; HANNIN, BRUGIÈRE *et al.* 2010). Le vin est un produit agricole transformé, car il n'est pas seulement défini par son état final, mais également par son processus d'obtention. Cette réalité sous-entend que la pro-

3. Faisant fi parfois de toute analyse de sensibilités et proposant alors des modèles absolument pas robustes et variant du tout au tout, si les données en entrée sont modifiées de manière infinitésimale.

4. Nous trouvons des traces de son commerce de manière assez généralisée sous l'Empire romain.

5. De la classe des « dépresseurs du système nerveux central » selon la classification de J. DELAY et DENIKER (1957), car contenant des molécules d'alcool.

6. Image largement véhiculée par la tradition judéo-chrétienne et le dernier repas du Christ.

duction de vin est dans le domaine agricole et non de l'agro-industrie (AIGRAIN 2011, 15'57")⁷. En Europe, c'est un produit agro-alimentaire à fort contenu d'image, plus généralement porté par l'appellation d'origine que par la marque, ce qui veut dire que la valeur ajoutée est très ancrée territorialement au niveau du lieu de production. Enfin la filière vitivinicole, à la différence des autres filières agricoles, bénéficie largement de possibilités de régulation de la production par les organismes interprofessionnels très structurés. Autrement dit, des mesures peuvent être prises de manière très territorialisée dès lors qu'une organisation interprofessionnelle est reconnue (*ibid.*, 20'40").

Si les territoires viticoles de fortes pentes sont soumis à ces tendances lourdes, nous n'avons pas trouvé de travaux prospectifs les considérant spécifiquement⁸. Pourtant ces spécificités, sur lesquelles nous avons largement travaillé dans les chapitres précédents, sont notables.

La principale raison tient à sa faible visibilité institutionnelle, car si le monde viticole est très largement influencé par les décisions de l'OIV, les régions viticoles ont un organe de réflexion commun avec l'AREV⁹. La viticulture de montagne étant une problématique transversale aux régions et aux états, le CERVIM¹⁰ devrait être le point d'entrée pour les questionnements spécifiques à la viticulture de fortes pentes. Toutefois, cette structure a des difficultés pour acquérir une visibilité aussi large, et ce malgré certains travaux essentiels proposés ces dernières années.

6.1.2 Analyse structurelle des variables clefs à partir de la modélisation

Plusieurs méthodologies se distinguent dans l'école française de prospective. En nous intéressant à deux d'entre elles, la méthodologie prospective proposée par GODET (1985) et celle proposée par M. SEBILLOTTE et C. SEBILLOTTE (2002), nous constatons un certain nombre de points communs. Les deux méthodes sont centrées sur une analyse des relations des variables structurelles dans un contexte systémique, cette analyse des relations étant largement sous-tendue par la théorie des graphes et les analyses matricielles. Les divergences apparaissent avec les procédés qui permettent d'isoler les variables et dans la manière d'établir des *scenarii* prospectifs.

7. Conférence vidéo de AIGRAIN (2011) lors du colloque sénatorial « Les droits de plantation et l'avenir de la réglementation européenne dans le secteur vitivinicole »

8. Ils sont vaguement cités pour exemple dans les travaux de MONTAIGNE *et al.* (2012) et MONTAIGNE *et al.* (2013), pour l'AREV.

9. L'AREV est l'Assemblée des Régions Européennes Viticoles. <http://www.arev.org>, site consulté le 9 mars 2015.

10. Centre d' Études et de valorisation de la Viticulture de Montagne et de fortes pentes. C.f. chap. 1 et <http://www.cervim.org>, site consulté le 9 mars 2015.

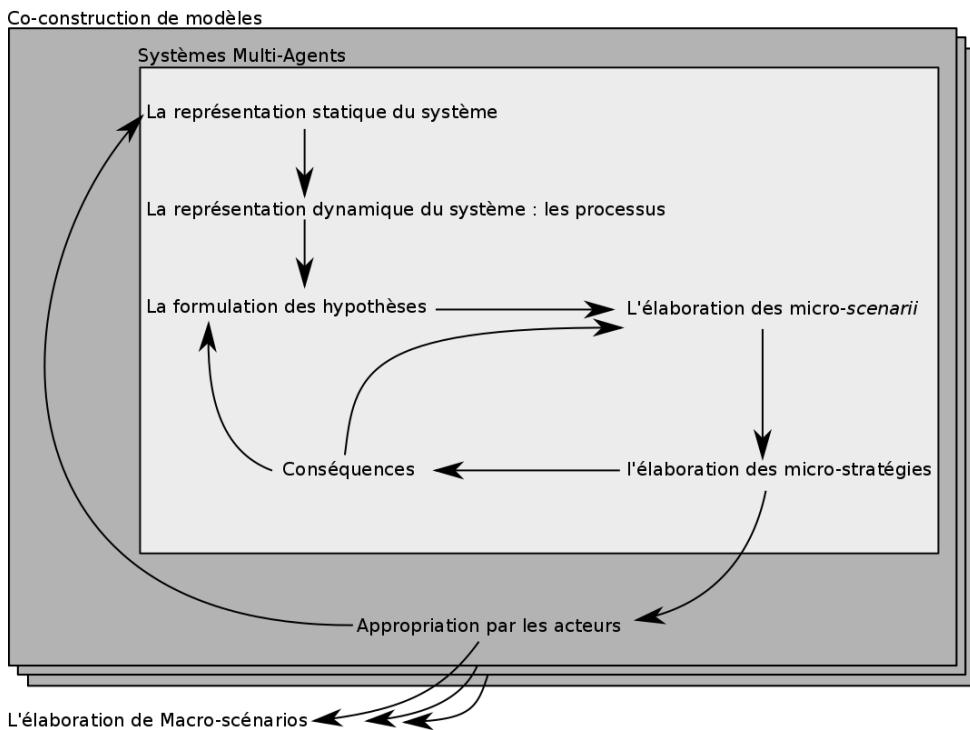


FIGURE 6.1 – Les étapes de la démarche SYSPATHMM proposée par M. SEBILLOTTE et C. SEBILLOTTE (2002) au regard de l'approche de modélisation

6.1.2.1 Le contexte théorique

Pour ancrer notre travail dans l'une de ces branches, il nous semble être plus proche de la méthode SYSPAHHM¹¹ qui propose de passer par un certain nombre d'étapes reprises sur la figure 6.1. Sur celle-là, le cadre « co-construction de modèles » rapproche dans un lien de compatibilité, l'approche de modélisation ComMod développée par ETIENNE et COLLECTIF (2010) et la méthodologie SYSPAHHM.

La démarche de prospective sort du cadre du modèle au moment du changement d'échelle et du passage des micro-stratégies appropriées par les acteurs à l'élaboration de *macro-scénarios* (hors du cadre Co-construction de modèle sur la figure 6.1). Nous proposons donc ici d'utiliser le travail de modélisation en l'intégrant complètement en l'amont de la méthodologie pour proposer l'élaboration de *macro-scénarios* pour isoler et regrouper les variables influençant la viticulture de montagne.

Que ce soit GODET (2014a) ou M. SEBILLOTTE et C. SEBILLOTTE (2002), les auteurs proposent de s'atteler aux problèmes prospectifs, en passant par un certain nombre de phases que nous avons mis en place dans notre approche de co-construction de modèle. Il semble en effet que, pour travailler avec une approche systémique, et ainsi comprendre

11. La méthode prospective SYSPAHHM (SYStème, Processus, Agrégats d'hypothèse, Micro et Macro-scénarios) développée par M. SEBILLOTTE et C. SEBILLOTTE (2002).

le tissu relationnel entre les éléments, le recours aux groupes de réflexion soit plébiscité avec pour ambition de construire de manière concertée une base analytique et historique crédible dans un contexte marqué par des enjeux forts et de grandes incertitudes (FUNTOWICZ et RAVETZ 1993).

6.1.2.2 Identification de variables structurelles

Une fois le système délimité, ce que nous avons proposé dans le chapitre 1, la construction de *macro-scenarii* passe, dans un premier temps, par la construction de *micro-scenarii* qui permettent d'explorer les variables structurelles du système (chap. 3 à 5). Une fois que ces variables sont identifiées, « l'analyse structurelle » peut être mobilisée. Celle-ci est complètement inspirée de la théorie des graphes (GODET 2014a ; GODET 1985) et consiste à définir une liste, la plus exhaustive possible, de variables caractérisant le système. Ces variables sont ensuite regroupées par agrégation et suppression pour obtenir une liste réduite et homogène.

HANNIN, BRUGIÈRE *et al.* (2010, p.227) ont procédé à ce genre d'exercice en relevant 50 traits spécifiques au secteur vigne & vin avec lesquels ils ont effectué différentes analyses prospectives. De notre côté, et dans un premier temps, nous avons établi une liste exhaustive des variables qui sont mobilisées dans les différentes simulations pour aboutir à une liste agrégée de variables s'inspirant de certains points évoqués par HANNIN, BRUGIÈRE *et al.* (*ibid.*). Autrement dit, la modélisation et la simulation couplées avec les différents processus de validation par les acteurs nous amènent à considérer ce travail comme un outil d'excavation des variables qui entrent en jeu se substituant aux groupes de réflexion de la démarche SYSPAHHM. Nous avons isolé 11 macro-variables résultant donc de l'agrégation des différents processus modélisés présentés dans les chapitres précédents (c.f. tab. 6.1)

A partir de ces variables et des jeux d'interactions formalisés dans les modèles, nous pouvons ensuite construire une matrice carrée des relations qui les sous-tendent (c.f. tab. 6.1). On lira en ligne les variables qui influenceront ces mêmes variables en colonne. GODET (2014a) propose de procéder à la qualification de l'intensité du lien qui lie nos variables. Par ailleurs, l'analyse peut aussi être faite sur une matrice booléenne¹².

En procédant ensuite sur ces variables, il convient de les considérer en relation. Dans la théorie, il faudra, à partir de la liste agrégée des 11 variables, construire le réseau de dépendances de celles-ci en ayant recours à la théorie des graphes. Ainsi, nous questionnerons le type de relation qui lie nos variables entre elles en utilisant la méthode « Matrice d'Impacts Croisé-Multiplication appliquée à un Classement » (Micmac)¹³.

12. Une matrice booléenne considère la présence ou l'absence de lien entre les variables.

13. La méthode Micmac a été mise au point au CEA entre 1972 et 1974 par M. GODET et J.-C. DUPERRIN.

		Variables	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Le marché (extérieur et intérieur)		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
2	L'orographie			T	T	T		T	T	T			
3	Le consentement à payer (qualité)	T	T		T	T	T				T	T	
4	Income		T				T	T			T	T	
5	Outcome							T			T	T	
6	Prix du foncier						T		T				
7	Structures sociales (coop, syndic)	T	T	T	T	T	T				T	T	
8	Climat				T	T				T			
9	Santé végétale				T	T						T	
10	Évolution des règles d'échange	T		T	T	T		T				T	
11	Évolution technique et technologique	T	T		T	T		T		T	T		

Tableau 6.1 – Matrice des relations entre les variables agrégées du système viticole de fortes pentes

GODET (ibid., p.169) la décrit comme s'appuyant sur les propriétés classiques des matrices booléennes. Ce qui veut dire que :

« Si une variable i influence directement la variable k et si k influence directement j , on aura le schéma suivant [fig. 6.2]. Dans ce cas, tout changement affectant i peut se répercuter sur la variable j . Il y a une relation indirecte entre i et j .

Il existe dans les matrices d'analyses structurelles de nombreuses relations indirectes de type $i \rightarrow j$ que le classement direct ne permet pas de prendre en considération. L'élévation au carré de la matrice met en évidence les relations d'ordre 2 entre i et j . En effet ,

$$A^2 = A \times A = (a_{ij}^2) \quad (6.1)$$

avec

$$a_{ij}^2 = \sum_k a_{ik}^1 \times a_{kj}^1 \quad (6.2)$$

Si a_{ij}^2 n'est pas nul, c'est qu'il existe au moins un k tel que $a_{ik}^1 \times a_{kj}^1 = 1$, c'est-à-dire qu'il existe au moins une variable intermédiaire k telle que la i agisse sur k (a_{ik}^1) et que la variable k agisse sur la variable j (a_{kj}^1))[...].

En calculant A^3, A^4, \dots, A^n , on obtient de la même façon le nombre de chemins d'influence (ou de boucles de rétroactions) d'ordre 3,4,...,n reliant les variables entre elles. »

On retrouve donc, en faisant la somme des lignes et des colonnes de notre matrice booléenne, le nombre d'interactions que subissent nos différentes variables, ce qui permet de les ordonner pour identifier leur ordre d'influence sur le système.

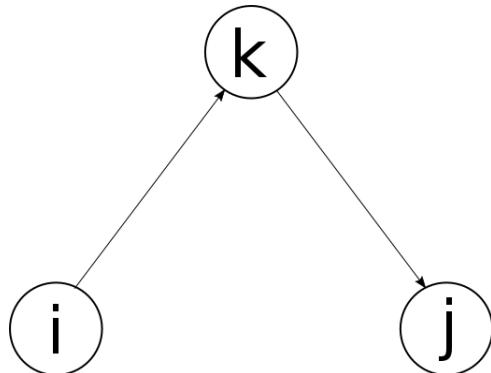


FIGURE 6.2 – Exemple de relations entre les variables i , k et j d'après GODET (2014a, p.169)

En travaillant l’organisation des variables définies dans le tableau 6.1, nous sommes capables de construire le réseau d’interaction des variables (fig. 6.3). Nous retrouvons sur cette figure l’intégralité des interactions formalisées grâce aux différents modèles. La suite du travail va consister à identifier les chaînes d’interdépendance entre les variables pour les hiérarchiser selon leurs caractères de motricité ou dépendance vis-à-vis du vignoble-système de fortes pentes.

6.1.2.3 La méthode MICMAC appliquée aux variables des modèles

À partir du tableau 6.1 ou de la figure 6.3, nous pouvons construire une matrice booléenne (c.f. matrice M) qui symbolisera l’existence ou l’absence de lien entre deux variables. À partir de calculs matriciels et en particulier en élevant de plusieurs puissances cette matrice, nous serons en capacité d’identifier les variables centrales du réseau et au contraire celles qui sont périphériques.

Pour bien comprendre la démarche, si nous nous intéressons aux matrices M et M^2 , nous constatons que l’ordre¹⁴ des variables obtenant les plus hauts scores évolue. GODET (2014a) propose de passer plusieurs ordres pour que les valeurs de liens se stabilisent. En élevant à différentes puissances la matrice M , nous prenons alors en compte les boucles de rétroactions qui sont visibles sur la figure 6.3. Avec cette matrice, la stabilisation de l’ordre des interactions se produit au 3^e ordre et nous obtenons l’organisation des variables motrices et dépendantes reprises dans la liste du tableau 6.2.

14. L’ordre est l’indice de l’exposant auquel nous enlevons la matrice.

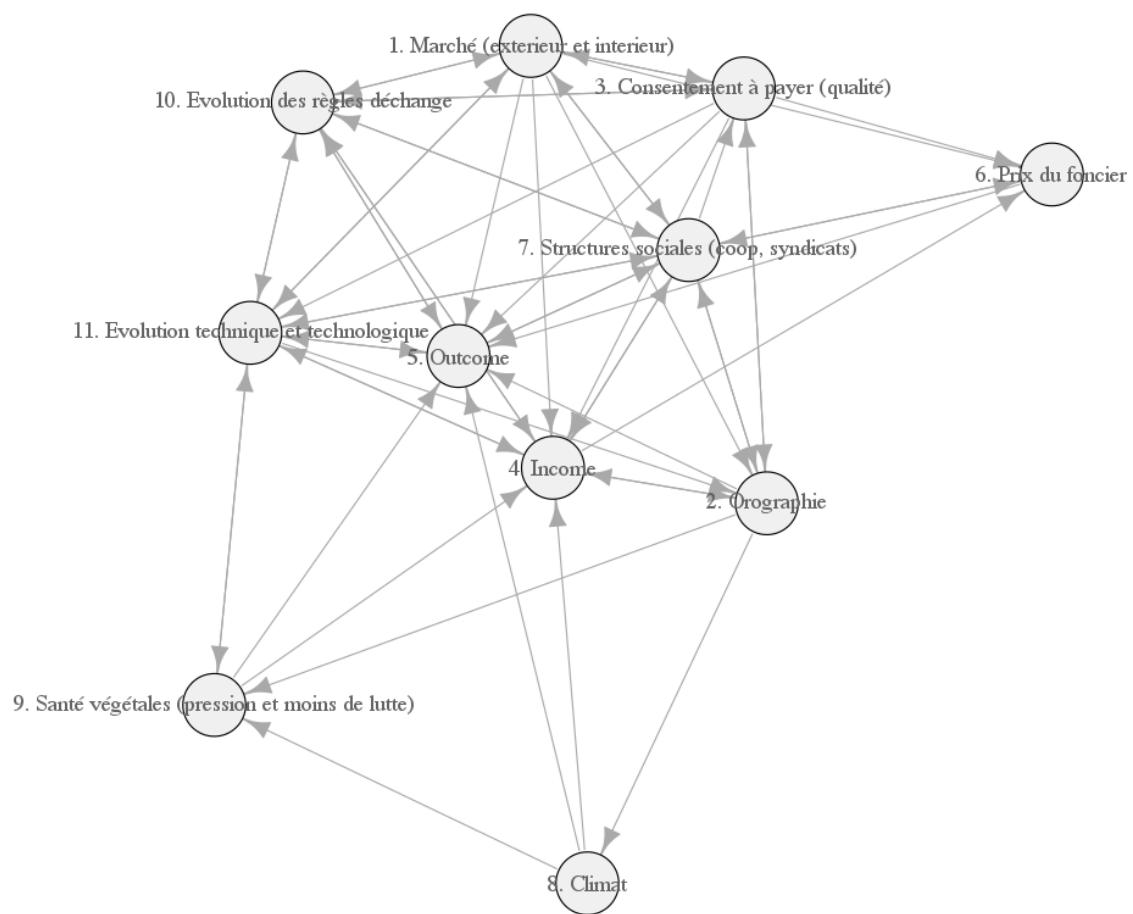


FIGURE 6.3 – Exemple de relation entre les variables structurelles de la viticulture de fortes pentes.

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 2 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 4 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 7 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 8 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 9 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 10 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 11 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} 8 \\ 6 \\ 7 \\ 5 \\ 3 \\ 2 \\ 8 \\ 3 \\ 3 \\ 6 \\ 7 \end{matrix}$$

$$M^2 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 \\ 1 & 4 & 4 & 3 & 5 & 6 & 3 & 6 & 1 & 2 & 5 & 5 \\ 2 & 2 & 3 & 1 & 4 & 4 & 3 & 2 & 0 & 1 & 4 & 5 \\ 3 & 2 & 3 & 3 & 4 & 5 & 2 & 7 & 1 & 2 & 4 & 4 \\ 4 & 3 & 2 & 3 & 4 & 5 & 1 & 4 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 5 & 3 & 2 & 2 & 3 & 3 & 1 & 2 & 0 & 1 & 2 & 2 \\ 6 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 2 & 2 \\ 7 & 3 & 4 & 3 & 5 & 6 & 3 & 7 & 1 & 2 & 5 & 5 \\ 8 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 2 & 0 & 0 & 2 & 3 \\ 9 & 1 & 2 & 0 & 1 & 1 & 1 & 3 & 0 & 1 & 3 & 2 \\ 10 & 3 & 5 & 2 & 4 & 4 & 4 & 4 & 0 & 1 & 6 & 5 \\ 11 & 2 & 3 & 4 & 5 & 5 & 3 & 5 & 1 & 1 & 4 & 6 \end{pmatrix} \begin{matrix} 44 \\ 29 \\ 37 \\ 29 \\ 21 \\ 11 \\ 44 \\ 11 \\ 15 \\ 38 \\ 39 \\ 24 \\ 30 \\ 22 \\ 37 \\ 41 \\ 23 \\ 43 \\ 5 \\ 13 \\ 39 \\ 41 \end{matrix}$$

Nous projetons sur un plan dépendance / motricité l'ordonnancement des variables de la matrice d'ordre 3 (fig. 6.4¹⁵). Cet type de projection nous permet de définir quatre secteurs regroupant les variables : autonomes, dépendantes, relais et motrices (GODET 1985, p.86).

- *Variables autonomes* : elles constituent des tendances lourdes ou peu connectées au système. Ces variables sont peu motrices, car elles disposent de synergies relativement autonomes. Ce sont des variables sur lesquelles il sera difficile d'influer. Dans

15. La figure 6.4 a été réalisée grâce au package igraph (Csardi et Nepusz 2006) du logiciel R (TEAM 2014)

Variables Motrices :	Variables Dépendantes :
<ul style="list-style-type: none"> — Structures sociales (coop, syndicats) — Marché (extérieur et intérieur) — Évolution technique et technologique — Évolution des règles d'échange — Consentement à payer (qualité) — <i>Income</i> du point de vue du viticulteur — Orographie — <i>Outcome</i> du point de vue du viticulteur — Santé végétale (pression et moins de lutte) — Prix du foncier — Climat 	<ul style="list-style-type: none"> — <i>Outcome</i> du point de vue du viticulteur — Structures sociales (coop, syndicats) — Évolution technique et technologique — <i>Income</i> du point de vue du viticulteur — Évolution des règles d'échange — Orographie — Marché (extérieur et intérieur) — Consentement à payer (qualité) — Prix du foncier — Santé végétale (pression et moins de lutte) — Climat

Tableau 6.2 – Organisation des variables motrices et dépendantes du système viticole de fortes pentes par la méthode micmac

notre système, nous retrouvons le climat qui fait partie des variables qui contraignent le système et sur lesquelles la viticulture a peu de leviers. À cela sont connectés la santé végétale, qui est largement tributaire des aléas du climat, et le prix du foncier qui a un comportement autonome en ce qu'il subit généralement des dynamiques extérieures (pression foncière à proximité des habitations, grands travaux territoriaux dans les zones enclavées, etc.).

- *Variables dépendantes* : ce sont des variables qui peuvent évoluer sous la pression d'autres interactions sur des variables des secteurs motricité et relais. Dans notre cas, nous y retrouvons les *outcomes*, c'est-à-dire les coûts de production pour les viticulteurs.
- *Variables relais* : elles sont à la fois motrices et dépendantes et doivent être traitées avec beaucoup d'attention. En effet, si elles permettent de véritablement peser sur le système elles sont également largement influencées par d'autres variables, car elles subissent un grand nombre d'interactions. Autrement dit, toute action sur celles-ci risque d'avoir des répercussions sur les autres variables du système. Dans notre cas, c'est le secteur le plus densément occupé, où y trouvons l'orographie qui si elle est dans l'absolu une contrainte, peut être dans certaines mesures contournée par des aménagements, les *incomes* qui sont les gains pour les viticulteurs. Égale-

ment, l'évolution des règles d'échange qui influence à la fois les revenus viticoles, mais est aussi largement influencée par le marché mondialisé par l'intermédiaire de l'OCM¹⁶ en Europe. Elle évolue de manière *bottom-up* grâce aux retours des interprofessions, et de manière *top-down* en fonction des négociations internationales. Ces règles ont des effets sur les *incomes* et *outcomes* des viticulteurs, leur imposant de manière individuelle le résultat de décisions communautaires qui leur échappent au niveau individuel. L'évolution des techniques et technologies est là aussi une variable duale, car influençant largement les revenus des viticulteurs par des changements de pratiques. De la même manière, cela impacte les structures sociales comme les coopératives, les syndicats interprofessionnels. Par un mouvement *bottom-up* cela pourrait avoir des effets sur les règles d'échanges et les marchés ou encore influencer et être influencé par le développement de nouvelles contraintes sanitaires pour la vigne. Enfin, la dernière variable de ce secteur représente les structures sociales sous toutes leurs formes (coopératives, syndicats de viticulteurs, etc.). Ce type de structure représente une agrégation d'individualités, ce qui lui confère une grande sensibilité aux évolutions des revenus des viticulteurs. Par ailleurs, elles peuvent être considérées comme un point d'entrée privilégié des innovations et évolutions techniques avec toutes les dépendances que cela implique. La structuration sociale des viticulteurs leur permet d'accéder à des marchés qui leur seraient inaccessibles individuellement, et participe dans bon nombre de configurations et de territoires à l'augmentation de la qualité de la production.

- *Variables motrices* : elles sont assez peu dépendantes d'autres variables. Ainsi les évolutions de la qualité et donc du consentement à payer sont difficiles à faire évoluer et représentent un investissement de long terme. De même, les comportements du marché sont aussi peu influençables à l'échelle de territoire et ont donc un effet de pression, sans pour autant être très influençables par les autres variables.

De manière générale, nous noterons également qu'une certaine organisation spatiale s'est mise en place. Le gradient de motricité et de dépendance à partir de l'origine peut être envisagé comme regroupant des variables à l'échelle de la parcelle, voire du cep de vigne, pour agréger ensuite des variables pesant à l'échelle de l'individu et enfin des territoires.

Nous avons procédé à ce même exercice consistant à identifier les variables structurelles lors d'une table ronde de prospective sur le vignoble de la Côte Vermeille réunissant des acteurs de terrain. Nous présentons donc, dans la partie suivante, le même exercice que celui que nous venons de développer, mais à partir des variables identifiées par les acteurs.

16. Pour rappel, les questions autour de l'influence de l'Organisation Commune des Marchés vitivinicoles sont abordées dans le chapitre 1.

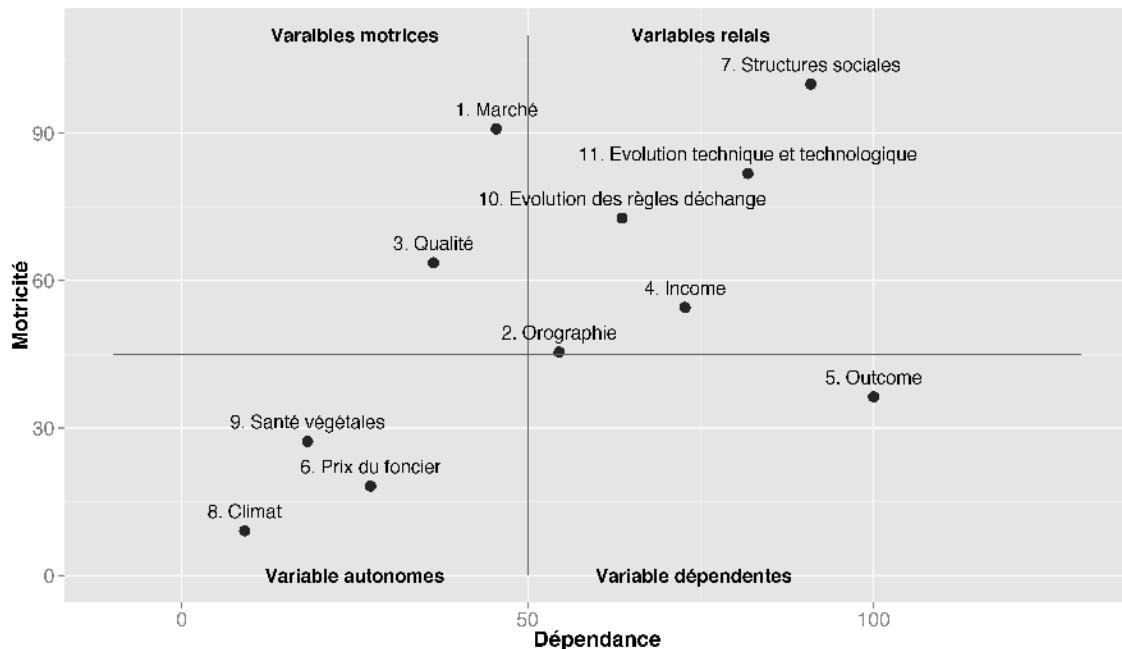


FIGURE 6.4 – Plan motricité / dépendance des variables structurelles pour le système viticole de fortes pentes

6.1.3 Analyse structurelle et des variables clefs par les acteurs

Lors d'une table ronde qui s'est tenue à Banyuls-sur-Mer le 18 mars 2015, en présence d'acteurs coopérateurs et vigneron indépendants, nous avons procédé *ex nihilo* à l'identification des variables structurelles qui influencent, selon eux, le territoire de fortes pentes. À l'issue de cette rencontre, les acteurs ont isolé, structuré et hiérarchisé un système de variables structurelles (fig. 6.5). Autrement dit, ces résultats nous amènent de manière collaborative à produire un système de variables en interaction que nous pouvons rapprocher du résultat de la partie 6.1.2.2. Quatre blocs de variables ont été identifiés : Global, Parcelles, Individus, Collectifs. Ces quatre blocs ont été hiérarchisés par ordre d'importance de 1 à 3 (les blocs Parcelles et Individus étant arrivés *ex aequo*). Les variables identifiées diffèrent légèrement de celles que nous avions déterminées dans la partie précédente. Nous y retrouvons :

1. Le marché ;
2. La qualité ;
3. Les lois ;
4. Le climat ;
5. Les rendements ;
6. Les *outcomes* ;

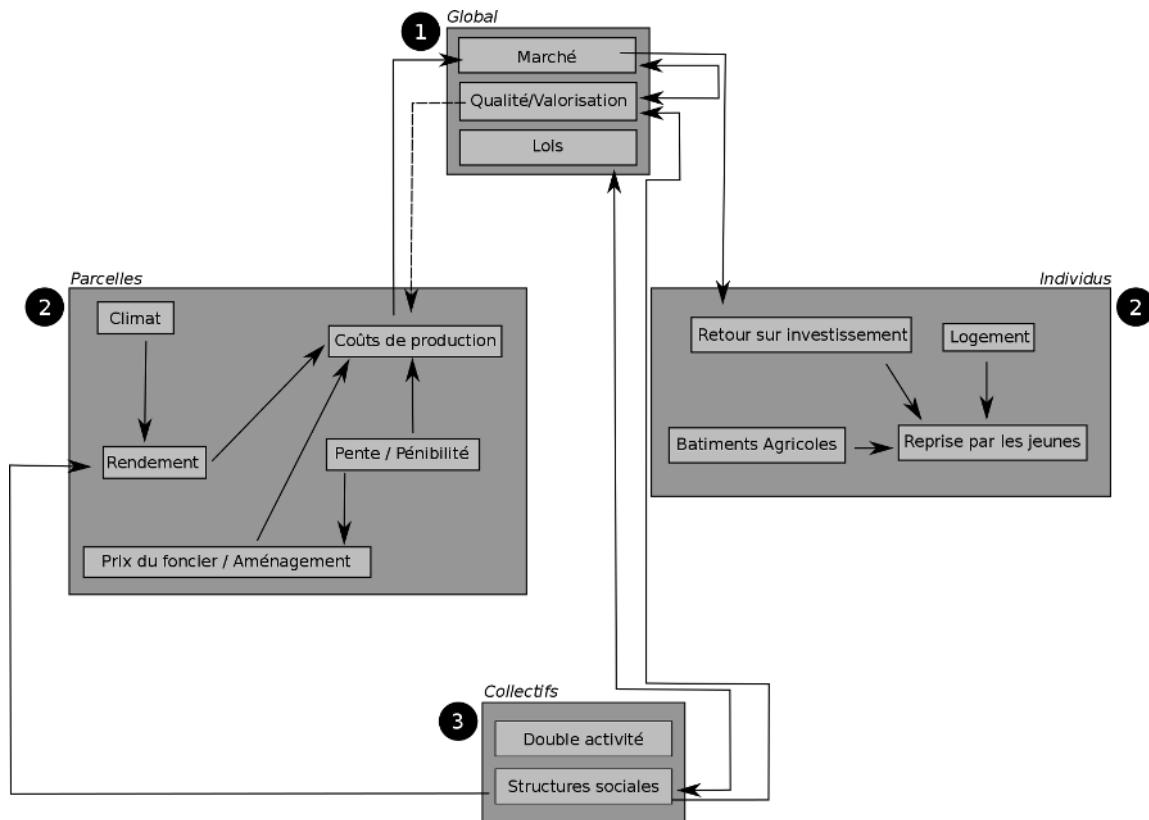


FIGURE 6.5 – Identification des variables structurant le système viticole des AOC Banyuls-Collioure par les acteurs vitivinicoles

7. L'orographie ;
8. Le prix du foncier ;
9. Les *incomes* ;
10. Le logement ;
11. La reprise par des jeunes ;
12. La double activité ;
13. Les structures sociales.

Ceci nous conduit à chercher les valeurs de motricité de la même manière que précédemment (c.f. part. 6.1.2). La matrice M_a est issue des interactions identifiées par les acteurs sur la figure 6.5. L'ordre des variables se stabilise au passage à M_a^4 .

$$M_a = \begin{pmatrix} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 13 \\ 1 & \left(\begin{array}{ccccccccc} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) & 2 \\ 2 & \left(\begin{array}{ccccccccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) & 3 \\ 3 & \left(\begin{array}{ccccccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right) & 1 \\ 4 & \left(\begin{array}{ccccccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) & 1 \\ 5 & \left(\begin{array}{ccccccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) & 1 \\ 6 & \left(\begin{array}{ccccccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) & 0 \\ M_a = & \left(\begin{array}{ccccccccc} 7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) & 2 \\ 8 & \left(\begin{array}{ccccccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) & 1 \\ 9 & \left(\begin{array}{ccccccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) & 1 \\ 10 & \left(\begin{array}{ccccccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) & 1 \\ 11 & \left(\begin{array}{ccccccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) & 0 \\ 12 & \left(\begin{array}{ccccccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) & 0 \\ 13 & \left(\begin{array}{ccccccccc} 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) & 3 \\ & 1 & 2 & 1 & 0 & 2 & 4 & 0 & 1 & 2 & 0 & 2 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$M_a^4 = \begin{pmatrix} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 13 \\ 1 & \left(\begin{array}{ccccccccc} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) & 3 \\ 2 & \left(\begin{array}{ccccccccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) & 4 \\ 3 & \left(\begin{array}{ccccccccc} 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 2 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{array} \right) & 9 \\ 4 & \left(\begin{array}{ccccccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) & 0 \\ 5 & \left(\begin{array}{ccccccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) & 0 \\ 6 & \left(\begin{array}{ccccccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) & 0 \\ M_a^4 = & \left(\begin{array}{ccccccccc} 7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) & 0 \\ 8 & \left(\begin{array}{ccccccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) & 0 \\ 9 & \left(\begin{array}{ccccccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) & 0 \\ 10 & \left(\begin{array}{ccccccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) & 0 \\ 11 & \left(\begin{array}{ccccccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) & 0 \\ 12 & \left(\begin{array}{ccccccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) & 0 \\ 13 & \left(\begin{array}{ccccccccc} 0 & 3 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) & 9 \\ & 3 & 4 & 1 & 0 & 1 & 4 & 0 & 0 & 6 & 0 & 5 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Ici, nous hiérarchisons les variables afin de les visualiser dans le plan motricité/dépendance sur la figure 6.6. Les résultats des sommes par ligne et colonne sont plus bas que dans le cas des matrices M et M^2 . Pour corroborer cela, un certain nombre de variables sont égales à 0 pour M_a^4 , ce qui reflète le nombre d'interrelations faibles entre les variables. Le système d'interaction proposé sur la figure 6.5 dans le contexte de la

construction avec les acteurs est donc moins complexe que celui que nous proposons avec les variables issues des modèles (fig. 6.3). Cela tient en partie à la contrainte temporelle de construction de ce second modèle, mais également à une conception partagée sur le cru qui hiérarchise les variables par ordre d'importance (fig. 6.5) : le niveau global, puis le niveau individuel (individus et parcelles), et enfin le niveau collectif. Huit variables se dégagent de la figure 6.6, que nous pouvons séparer en deux catégories :

- *Variables dépendantes* : qui sont, pour rappel, les variables qui évoluent sous la pression d'autres variables du système. Nous y rencontrons : les *outcomes* ou coûts de production qui sont très bien identifiés par les viticulteurs comme étant largement liés à la pente, mais aussi aux contraintes imposées par le cahier des charges AOC. Dans cette catégorie, se distinguent également les *incomes* ou retours sur investissements. Leur faiblesse dans les territoires de pente est considérée par les acteurs comme le résultat de toutes les difficultés du système sans pour autant être vraiment identifiée plus clairement par les viticulteurs. Certains évoquent « la crise économique et les campagnes anti-vin », d'autre le « manque de visibilité de la production sur le marché national ou international », d'autres enfin invoquent la stratégie « mortifère » de baisse des prix de certains commercialisateurs ayant un effet contre-productif sur la pédagogie nécessaire pour faire accepter le prix des vins de fortes pentes.

La **reprise par les jeunes** sort également du lot en tant que variable dépendante. Pour les acteurs, le manque d'attractivité, bien que tendanciellement faible pour l'agriculture en général qui voit sa population active vieillir, est lié au manque d'attractivité économique et au faible retour sur investissement de la viticulture de pente sur la Côte Vermeille. Ceci est identifié comme le résultat de coûts de production élevées et de la difficulté à écouler la production à un prix « juste » pour le viticulteur.

Enfin, la dernière variable de cette catégorie concerne les **rendements**. Ceux-ci sont maintenus à Banyuls entre 6.5 tonnes par hectare pour le Collioure¹⁷ et 6 tonnes par hectare pour le Banyuls¹⁸. Ils sont vécus indifféremment par les coopérateurs ou les viticulteurs conventionnels comme une contrainte dont dépend directement leur retour sur investissement (*outcomes*). Si ces rendements sont largement contraints sur le territoire par les pénuries d'eau durant les périodes végétatives, les viticulteurs regardent avec envie les territoires comme ceux du *Trentino* où la viticulture peut être irriguée, et/ou les rendements peuvent atteindre 12 tonnes par hectare dans le cas du *val di Cembra*.

17. Nous retrouvons ces informations dans les cahiers des charges des AOC sur le site de l'INAO, <http://unil.im/6kMSx>, site consulté le 29 mars 2015.

18. Également sur le site de l'INAO, <http://unil.im/mtTjz>, site consulté le 29 mars 2015.

Dans ce cadre-là, le Syndicat interprofessionnel, gestionnaire des appellations, véhicule une image duale entre une nécessité de définition de la qualité du produit agricole transformé, et une contrainte législative avec le bornage des rendements, ou la définition des pratiques de caves. Le temps d'élevage du Banyuls, par exemple, considéré trop long pour certains, a été évoqué à plusieurs reprises.

- *Variables relais*, qui sont à la fois motrices et dépendantes, sont au nombre de 4, et mettent en évidence des variables globales et collectives du système (c.f. fig. 6.5). Les **structures sociales** regroupant toutes les formes d'organisation collectives de la coopération, au Syndicat du cru en passant par les regroupements de caves particulières, peuvent entrer dans cette variable. Elles sont considérées par les acteurs comme particulièrement motrices, tout en étant les moins dépendantes des variables de cette catégorie. Cela souligne la conscience de l'importance qu'ils donnent à ces structures et du nécessaire investissement dans celles-ci.

Les **lois** arrivent en deuxième position. Leur plus grande dépendance et leur moindre motricité est liée aux interactions qui peuvent avoir lieu entre les structures sociales et la législation. Ces interactions se font, par exemple, au moment de la rédaction de nouveaux cahiers des charges pour les AOC ou dans le cadre de nouvelles lois comme éco-phyto 2018.

Le **marché** est perçu comme une variable relai qui dépend à la fois des comportements des autres acteurs de la filière viticole locale, mais qui s'insère aussi dans le marché globalisé. Cette position permet aux acteurs d'accéder à un bras de levier sur celui-ci. Toutefois, cet accès est largement tributaire du groupe, car les différentes stratégies de commercialisation entrée de gamme/ haut de gamme ont été critiquées tandis que tous les acteurs s'accordent sur le fait que la revalorisation des retours sur investissement passera par la production haut de gamme.

La **qualité** est la dernière variable de la catégorie considérée comme la moins motrice des quatre. Celle-ci est perçue comme tributaire de la demande. Une qualité moindre sur certains produits, et donc un prix très inférieur à la moyenne, est une nécessité pour les uns (la coopération) et considérée comme contre-productive pour les autres (les vigneron individuels). La dépendance de cette qualité aux variables sociales/collectives est donc largement comprise, et sujette à controverse.

Si nous nous sommes attachés ici à décrire le positionnement de ces variables et de leurs interactions d'après les acteurs, cela nous a permis de mettre en évidence les variables qui sont très bien identifiées par ces derniers et la manière dont ils les perçoivent. Il est maintenant intéressant de nous concentrer sur les différences entre le système de représentation issu de l'analyse *a posteriori* des modèles, confronté à celui réalisé par les acteurs.

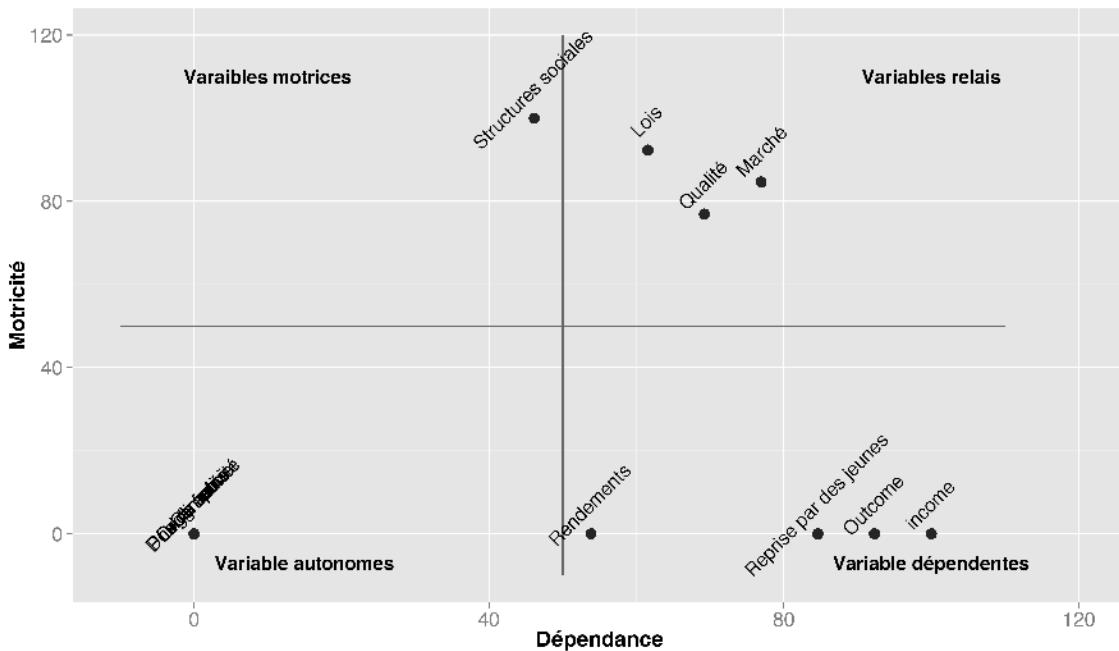


FIGURE 6.6 – Plan motricité / dépendance des variables structurelles pour le système viticole de fortes pentes construit par les acteurs

6.1.4 Distance et proximité entre les deux systèmes

Nous voulons ici mettre en lumière la distance qui existe entre les variables que nous avons identifiées dans la partie 6.1.2 et celles mises en avant par les acteurs dans la partie 6.1.3 dans l'espoir de mieux discerner les contraintes qui sont moins bien identifiées par les acteurs, mais également de nous éloigner de l'idéal type (WEBER 1904) qu'ils se sont construits durant les rencontres pour nous rapprocher d'une réalité plus objective des territoires.

Sur la figure 6.7, nous mettons en évidence le mouvement qui s'opère entre la construction des interactions construites par l'intermédiaire des modèles et celles construites par les acteurs.

6.1.4.1 Un repli de la motricité des variables

Le *climat*, *l'orographie*, et le *prix du foncier* sont considérés comme des contraintes brutes sur lesquelles le viticulteur n'a aucune prise. Elles sont généralement en entrée de réseau et pèsent sur quelques autres variables. Cette situation les projette donc sur le plan des motricités / dépendance à l'origine du graphique. Ce positionnement est caractéristique des difficultés des acteurs à concevoir ces variables comme de potentiels atouts dans le futur.

L'orographie a été surmontée dans le passé sur les territoires de fortes pentes par la

construction de terrasses (c.f. fig. 6.12), mais cela nécessite un rapport à la pente pensé de manière collective, en particulier sur la Côte Vermeille en ce qui concerne la gestion des eaux sur les pentes pour empêcher l'érosion des sols de maigre épaisseur. Or, aujourd'hui il est difficilement envisageable de lancer des travaux d'aménagement de nouvelles parcelles en partie du fait des coûts liés aux ouvrages hydrauliques¹⁹.

Le climat et en particulier les températures demandent là encore aux viticulteurs et aux structures collectives une capacité de projection dans le temps pour envisager de migrer petit à petit le vignoble dans des zones plus fraîches²⁰. Ces décisions se situent entre dynamiques individuelles, parce qu'elles concernent les pratiques de chaque vigneron du Cru, et acceptation collective, à cause d'ajustements du cahier des charges des AOC peut-être nécessaires ou des pratiques coopératives à revoir.

Enfin, il y a le *prix du foncier*, qui, pour les viticulteurs, comprend l'acquisition de vignes, les travaux d'aménagement des parcelles qui sont tributaires de l'orographie²¹, mais aussi la pression sur le foncier qu'exercent les extérieurs et les touristes sur la Côte Vermeille. Si les zones urbanisées ne s'étendent pas ou peu ces dernières années, les parcelles de « vigne avec vue sur la mer » sont très prisées par les particuliers et sont achetées pour leur cadre paysager. Pour faciliter l'accès au foncier agricole, le « collectif » des vignerons pourrait prendre position pour favoriser la reprise des parcelles à des prix maintenus artificiellement par un commun accord.

Les coûts de production (*outcomes*) et les retours sur investissement (*incomes*) ont un statut particulier car ils accusent une perte forte de motricité, mais conservent des valeurs hautes de dépendances. Dans le contexte de modélisation, nous les avons considérés comme empreint d'une certaine motricité, considérant les retours sur investissement comme pouvant servir à influencer un certain nombre de variables²² tout comme les coûts de production (fig. 6.3). Il semblerait que, pour les acteurs, celles-ci ne soit que la résultante des autres variables du système, les coûts de production et les retours sur investissement étant perdus pour le système. Ceci leur confère très peu de surface d'action pour faire évoluer, par ces variables, les conditions de production sur le cru.

19. Les derniers travaux de ce genre ont été réalisés au lieu dit "la Bannette" sur la commune de Banyuls-sur-Mer. L'investissement a largement été soutenu par les aides liées à la Défense de la Forêt Contre les Incendies (DFCI).

20. C.f. chapitre 5, ainsi que les travaux de CHAPOULART (2013) sur le cru Banyuls.

21. La mécanisation des aménagements requiert des outils spécifiques et coûteux comme la pelle-araignée.

22. Les retours sur investissement peuvent être réinvestis dans une certaine mesure sur les parcelles, et les coûts de productions peuvent quant à eux guider les choix individuels pour orienter les pratiques culturelles.

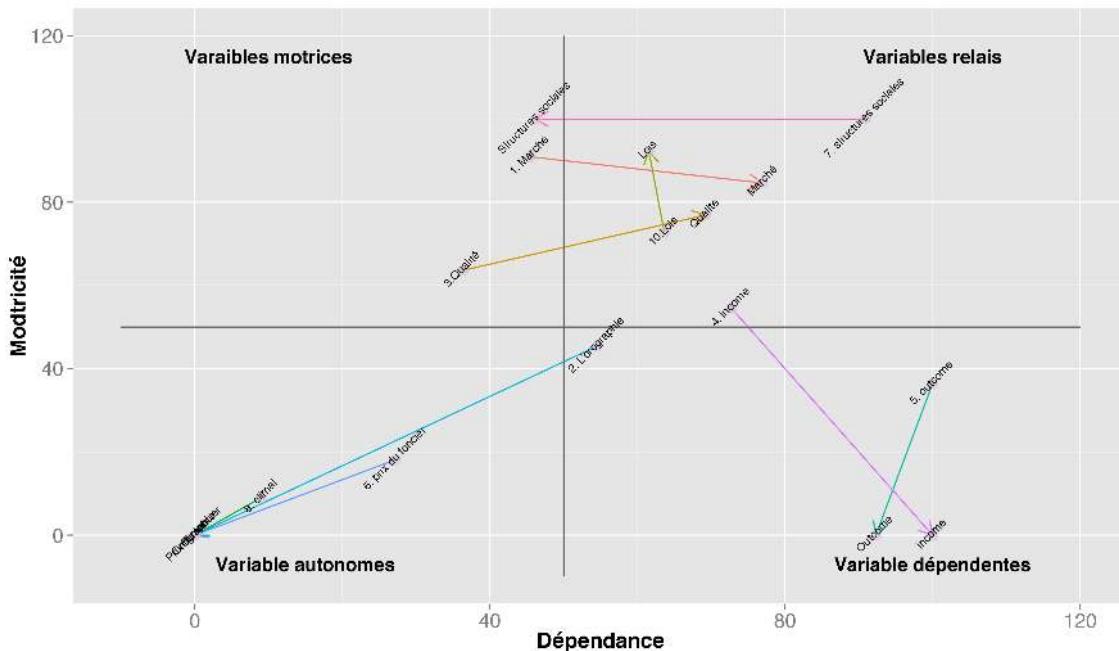


FIGURE 6.7 – Mouvement des variables sur le plan motricité et dépendance entre leur positionnement « modèle » et leur positionnement « acteur »

6.1.4.2 De motrice à relais, un difficile effet de levier

Ce mouvement qui attire les variables que sont le *marché*, la *qualité* et les *lois* vers la partie « relai » du plan de motricité dépendance met en évidence la perception de la difficulté d'accès à celles-là par les viticulteurs indépendants, les coopérateurs et les responsables de la coopérative. Des logiques différentes animent les indépendants et les responsables de la commercialisation des coopératives. À grand trait, les premiers sont généralement positionnés sur des vins en milieu voire haut de gamme de prix pour pouvoir vivre de leur production, tandis que les coopératives du fait des plus gros volumes à écouler sont généralement positionnées sur une gamme de prix plus large. Ceci crée des tensions sur les segments qui se recouvrent et ont tendance pour les viticulteurs indépendants à brouiller un message de qualité déjà suffisamment difficile à faire passer.

Cette complexité locale s'ajoute à la complexité du marché perçue par les viticulteurs, où dans le contexte national, la consommation de vin est en perte de vitesse et où il est nécessaire d'accéder à de nouveaux marchés. L'international serait sans doute plus accessible pour les coopératives, mais la situation de crise latente au GICB limite la marge de manœuvre, et encore une fois fait se chevaucher les marchés.

La *qualité* effectue, elle aussi, ce même mouvement de manière relativement parallèle à celui de la conception des marchés, car les liens sont assez évidents pour les viticulteurs. L'objectif communément admis serait d'augmenter la qualité pour positionner les produits

agricoles transformés sur les territoires de fortes pentes sur des gammes hautes, mais pour le collectif la réalité est beaucoup plus complexe pour les mêmes raisons que l'accès au marché. La plus grande dépendance est donc caractéristique ici d'un immobilisme face à un objet ressenti collectivement comme relativement simple, mais dont la décision collective est beaucoup plus complexe.

Dans une moindre mesure, les *lois* effectuent le même glissement vers plus de dépendance, mais elles sont perçues localement également comme plus motrices. Un consensus apparaît pour cette variable autour d'une nécessité de réponse collective aux problématiques soulevées par l'évolution des législations. Localement, la perception des évolutions législatives est donc perçue comme une variable qui permettrait de changer fortement le cru, mais sur laquelle agissent d'autres variables. Les viticulteurs n'ont donc pas forcément prise sur le changement. L'exemple le plus marquant est la directive éco-phyto qui interdira l'utilisation de désherbants en 2018. Or, dans le contexte actuel, l'abandon du désherbant implique une très grande chute des rendements qui ne pourra pas être amortie par une hausse des prix, ou un éclatement et une diversification des revenus.

6.1.4.3 De relais à motricité, le passage au social

La moindre dépendance et la plus grande motricité données aux variables englobant le collectif mettent en relief l'importance que ces dernières revêtent pour les viticulteurs. Ici le collectif s'applique aussi bien à l'interprofession qu'aux instances des coopératives qui travaillent dans le cru. De part leurs spécificités locales, les viticulteurs de la Côte Vermeille revendiquent depuis longtemps leur marginalité par rapport à la viticulture des Pyrénées-Orientales et plus largement du Languedoc Roussillon. Cela s'est manifesté par la création d'un ODG²³, qui fait aussi office d'organisme d'inspection sur le cru pour défendre au mieux les spécificités des appellations.

Cet organisme est vécu comme une nécessité par le viticulteur, mais aussi comme source de contraintes fortes dans la mesure où les prises de décision collectives sur les cahiers des charges vont leur laisser ou non une marge de manœuvre dans les pratiques culturelles et culturales autorisées. Aussi, lors des différentes réunions, la question des rendements trop faibles imposés par l'ODG est une source de frustration pour certains viticulteurs.

Par ailleurs, ils restent persuadés que les problématiques qui viendront s'imposer dans le cru, telle que la directive éco-phyto, seront dépassées par la pression du collectif.

23. Les ODG (Organisme de Défense et de Gestion) sont des structures collectives qui ont reçu un agrément de l'INAO (Institut National de l'origine et de la qualité). Ils ont pour mission de rédiger les cahiers des charges des appellations d'origine.

6.1.5 Du modèle aux acteurs, les éclairages de la démarche

La confrontation entre le système des variables issu des modèles et celui issu de la réunion « prospective » avec les acteurs met en évidence des différences de conceptions qui sous-tendent les différentes réalités. L'approche par modélisation que nous avons construite sur des questionnements spécifiques venant là aussi des acteurs et accompagnée de manière ponctuelle par ceux-là cherche à identifier des régularités macrosociales et macro-géographiques pour construire des théories dans un espoir de généralisation de l'*adéquation causale* (WEBER 1922). Les variables sont issues de modélisations « idéales » se référant aux sens postulés donnés par les acteurs et mis au regard des macro-comportements sur les territoires.

La construction du système de variables proposé par les viticulteurs (fig. 6.5) reflète l'*adéquation significative* (*ibid.*) de ces derniers. Nous constatons, grâce à la hiérarchie des variables issue de la table ronde, qu'ils sont conscients des implications du marché et des lois qui sont des variables globales du système (n° 1) sur leur activité, même si le marché reste une entité assez floue dans son fonctionnement. De manière étonnante, les variables qui sont ordonnées juste après sont celles ayant trait au choix individuel (n° 2) alors que les variables collectives arrivent en dernier (n° 3). Ce système intègre donc les réalités et régularités particulières au vignoble de la Côte Vermeille dans le modèle plus général des vignobles de fortes pentes.

Cette construction fait disparaître du plan de motricité des acteurs (fig. 6.6) le gradient spatial que nous pouvions identifier sur la figure 6.4 des variables influençant le cep de vigne (variables autonomes) aux variables influençant tout le système vignoble (variables relais). Ceci souligne peut-être encore une fois cette discontinuité dans la prise en compte de l'espace par les acteurs.

L'opposition de ces deux modèles souligne également l'actualité des difficultés de la théorisation en science sociale et en particulier le passage complexe d'une structure significative subjective (les modèles ancrés) à une théorie vérifiable objectivement (l'identification de variables) (BERTHELOT 2012, p.254).

La confrontation, et donc la mise à l'épreuve des modèles pris individuellement et des représentations des acteurs, peut devenir source d'incompréhensions. Autrement dit, du fait de l'écart entre les présupposés individuels issus de constructions des représentations et de la fragmentation de la réalité à laquelle nous avons procédé lors de la modélisation, les réalités ne sont pas perçues de la même façon.

Par ailleurs, l'un des postulats de base de la modélisation d'accompagnement qui positionne le modèle comme un outil de médiation pour « accompagner le processus de décision [et non pas] tenter de prédire l'état futur du système » (ETIENNE et COLLECTIF 2010, p.9) a du mal à être compris par les viticulteurs italiens et français que nous avons

rencontrés. Ceux-là sont souvent plus demandeurs de solutions mobilisables que d'un accompagnement réflexif pour une compréhension accrue de leurs systèmes.

Malgré tous ces résultats, le mouvement qui s'opère (fig. 6.7) sur les variables identifiées pas l'intermédiaire des différents modèles et celles identifiées par les acteurs, est à considérer avec circonspection. En effet, pour les premières, le réseau d'interactions est un travail de longue haleine construit de manière itérative au fil des questions qui se posaient aux territoires et des explorations que nous proposons avec les modèles l'objectif prospectif général n'ayant jamais été dévoilé aux acteurs. Tandis que le second réseau d'interactions a été, lui, construit suite à quelques rencontres de réflexion prospective sur les futurs du cru, avec un objectif clair de définition des contraintes à dépasser.

6.2 *Scenarii* prospectifs pour la viticulture de fortes pentes

À partir de l'analyse structurelle, nous proposons différents *scenarii* mettant en scène la viticulture de fortes pentes à une échéance de 30 ans, ce travail ayant pour objectif d'apporter une réflexion à moyen terme sur l'évolution possible de ces territoires viticoles. Il pourra servir de point de départ pour des travaux de concertation pour l'élaboration par les acteurs des territoires de stratégies de filière. L'enjeu ici est donc de dépasser à la fois les problématiques posées à chacun des modèles présentés dans les chapitres précédents, mais également de dépasser les problématiques locales des acteurs, pour apporter un éclairage re-mobilisable plus généralement sur les différents territoires viticoles de fortes pentes en Europe.

Avant de nous lancer à proprement parler dans la définition de *scenarii*, nous avons voulu brosser à grands traits un contexte général de la viticulture, en travaillant à partir de données statistiques françaises²⁴ et italiennes²⁵. Les résultats sont présentés sur la figure 6.8 et 6.9 pour la France, et sur les figures 6.10 et 6.11 pour l'Italie. L'une des difficultés à laquelle il faut faire face tient à la grande disparité des sources et des types de données, et ce dans un contexte national, mais également international, ce qui nous a conduit à proposer ici différentes représentations.

24. Les chiffres sont disponibles sur l'Agreste : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Gaf14p148-151.pdf>, site consulté le 09 mars 2015.

25. Les chiffres sont disponibles sur le service web istat. http://www.istat.it/it/files/2011/03/1425-12_Vol_VI_Cens_Agricoltura_INT_CD_1_Trimboxes_ipp.pdf en PDF et <http://www.istat.it/it/files/2011/03/Tavole-censAgric.zip> au format tableur. Le glossaire des termes utilisés est quant à lui disponible ici <http://www3.istat.it/servizi/studenti/binariodie/CORSOExcel/Glossario.htm>. Nous retrouverons également des chiffres intéressants dans le rapport MEDIOBANCA, disponible ici http://www.mbrese.it/sites/default/files/resources/download_it/Indagine_vini_2014.pdf, site consulté le 10 mars 2015.

6.2.1 Le contexte français

En France, ces trente dernières années, la tendance est à une baisse forte de la production de vin de table concomitante avec une baisse de sa consommation (fig. 6.8(a)). Dans la même période, la production AOC a eu tendance à augmenter, et ce, même si sur les douze dernières années celle-ci recule légèrement. La consommation de vins d'AOC, elle, a tendance à augmenter elle-aussi sur les trente dernières années, mais la courbe semble approcher de la limite supérieure ces dix dernières années, la progression de la consommation s'est donc réduite.

L'évolution des prix du vin en valeur constante laisserait penser de manière intuitive que les vins d'AOC s'attaquent à un marché aux prix plus élevés (fig. 6.8(b)). Si l'intuition est très vraie entre 1995 et 2005, le prix des vins de pays et vins de table ont aujourd'hui tendance à dépasser le prix des vins d'AOC. Ceux-ci ne sont donc plus forcément vécus comme le seul critère de qualité par les consommateurs.

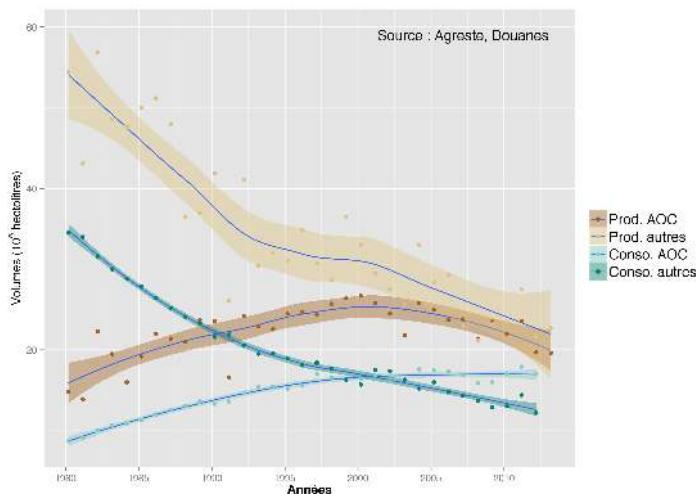
Enfin, les volumes d'importations et d'exportations de vin en France (fig. 6.8(c)) nous montrent un comportement relativement constant des importations depuis 1990, et une très large dominance des volumes à l'exportation. Mais si, entre 1970 et 2000, la croissance des volumes à l'exportation se portait bien, ces dix dernières années, la courbe semble elle-aussi approcher d'une limite supérieure²⁶. Cela rend difficile l'option de valorisation des produits à l'export dans un système qui, dans l'état actuel, semble avoir atteint un point de stabilisation.

Au sein du territoire national, nous nous interrogeons sur la territorialité du mouvement coopératif²⁷. En rapprochant la figure 6.9 des cartes de la figure 1.21 (chapitre 1, page 68), nous observons que certains départements sont plus largement coopérateurs que ce qui serait attendu, par exemple l'Aude ou la Drôme, et au contraire d'autres sont plus largement dominés par le négoce et les entreprises privées (les Charentes et la haute Garonne).

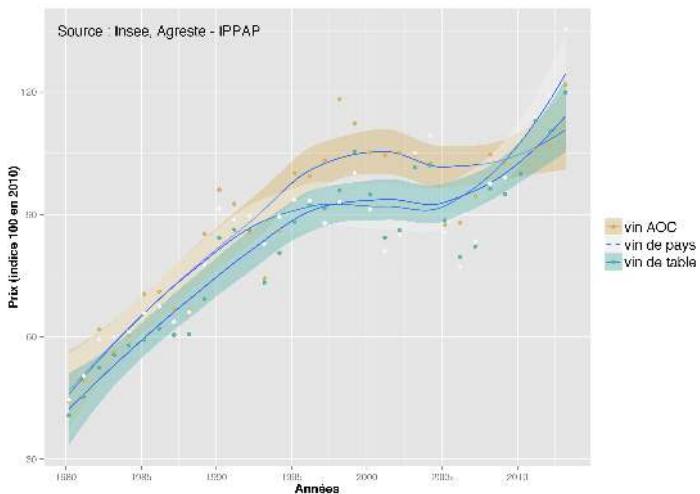
Nous noterons, par exemple, les territoires partenaires du CERVIM en France, qui sont la région Rhônes-Alpes (avec l'Isère ou l'Ardèche bien visible sur la figure 6.9(b)) et le vignoble de la Côte Vermeille, dans l'ensemble très bien dotés en coopératives par rapport au modèle linéaire (fig.6.9). Par ailleurs nous observons sur la figure 1.21 que tous les départements du Languedoc sur les contreforts du Massif central, où nous pourrions nous attendre à trouver une certaine pente, sont également très marqués par la coopération viticole. Ces observations sont corroborées par les résultats du modèle CiViSMe (partie 4.2, page 219) et les résultats des travaux proposés par E. DELAY et MARCELIN (2014) qui

26. Résultat de la politique d'arrachages massifs depuis 2008, qualifiée de « plan social » de la viticulture européenne par AIGRAIN et HANNIN (2008).

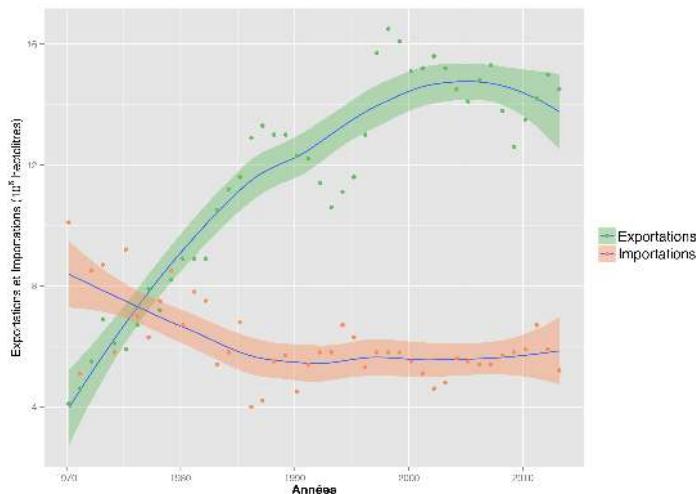
27. Les données à l'échelle de la France sont issues de l'Observatoire de la viticulture française, <http://www.observatoire-viti-france.com/>, site consulté le 12 mars 2015. Les scripts de traitement automatique sont disponibles sur github https://github.com/ElCep/bazaRd/tree/master/coop_viti.



(a)



(b)



(c)

FIGURE 6.8 – Évolution de 1980 à 2013 de la production et de la consommation de vin en France (a), de l'évolution du prix du vin (b), et de l'évolution des importations et exportations (en millions de litres)(c)

montrent que les conditions structurales difficiles facilitent la coopération et la diffusion d'innovations sur les territoires viticoles, tout en n'incluant pas son corollaire.

6.2.2 Le contexte italien

Pour l'Italie, des données sont disponibles concernant les surfaces plantées en vigne vis-à-vis de l'altimétrie (fig. 6.10(a)). Nous constatons donc que plus d'1/3 des surfaces est considéré en zone de colline ou de montagne²⁸ et donc potentiellement en situation de pente. Cependant, cette information reste sujette à discussion, car ces données s'intéressent davantage à l'altitude²⁹ qu'à la pente.

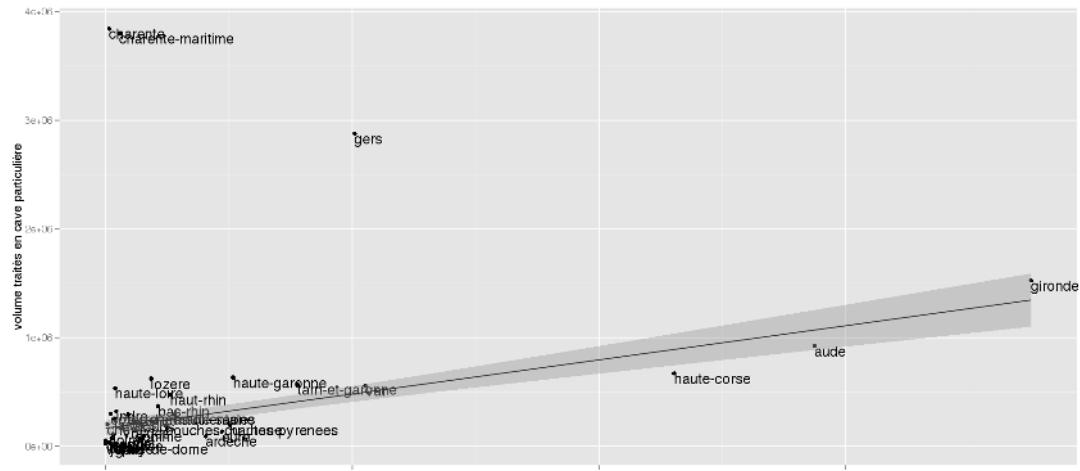
Si l'on évalue la dynamique des surfaces viticoles (fig. 6.11), nous reconnaissions la même tendance à la régression de la production que celle observée dans le contexte français, toutes productions confondues, c.f. fig. 6.8(a).

Les deux graphes de la figure 6.11 nous donnent pour 2013 les proportions de la production pour chaque catégorie dans le système coopératif et par des entreprises privées. Ces deux graphes nous permettent donc d'aborder la question de la coopération de l'autre côté des Alpes. Le graphe 6.11(a) montre la répartition des types de productions vinifiées par les structures coopératives, et le graphe 6.11 la proportion de la production vinifiée par des entreprises privées. Nous pouvons grâce à eux identifier les différents positionnements des deux types de producteurs. Ainsi la coopération semble se positionner sur un segment de qualité médian, investissant plutôt dans les DOC, DOCG et IGT tandis que les entreprises privées sont plus largement positionnées sur les extrémités de la gamme avec les grands vins et les vins communs, d'entrée de gamme. Enfin, toujours pour mieux saisir les nuances introduites par la différenciation coopérative - entreprise privée, nous pouvons nous référer au tableau 6.3. Nous y constatons que la coopérative a plutôt accès aux canaux de la grande distribution et aux grossistes tandis que les entreprises privées seraient plus dynamiques sur le secteur de la vente directe ou des vendeurs spécialisés (oenothèque et bar à vin).

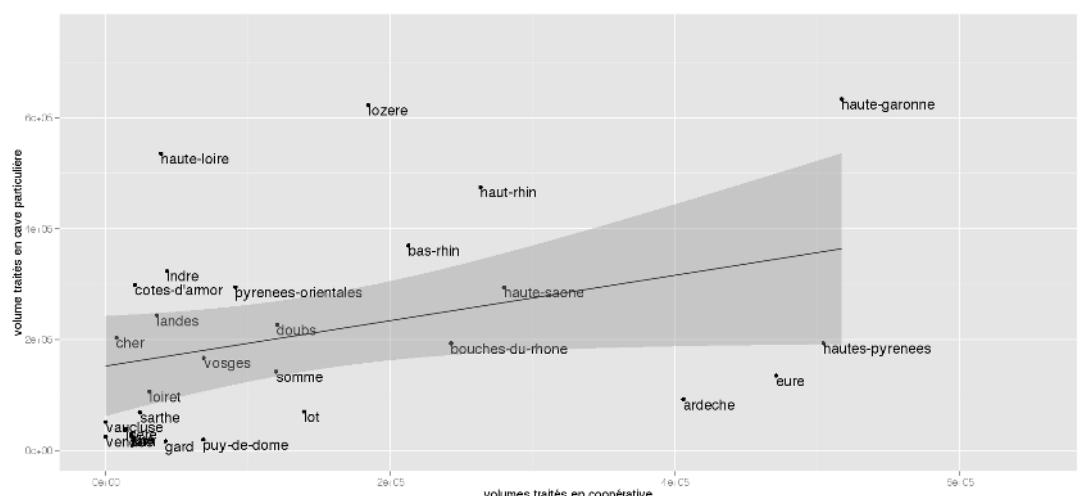
En travaillant à partir de cette mise en contexte et en nous appuyant bien entendu sur les résultats des chapitres 3, 4 et 5, et en particulier sur les interactions entre les variables que nous avons mises en lumière dans la section précédente (c.f. 6.1.2), nous proposons deux *macro-scenarii* d'évolution du contexte viticole en nous inspirant largement des

28. Respectivement *collina* et *Montagna* en Italien.

29. L'altitude pour la vigne est limitante en contexte de montagne +600m, et non en contexte collinéen 300-600m (FREGONI 1998, p.249). La pente, elle, est un critère beaucoup plus rapidement limitant. Or, si nous la retrouvons dans les zones de montagne, il existe également des zones d'altitude non pentues (le plateau de la *Mancha* Espagnol), ou des zones très pentues qui ne sont pas incluses dans l'étage montagnard (*Cinque terre* en Italie). C.f. discussion sur les critères de viticulture de pente du CERVIM dans le chapitre 1.

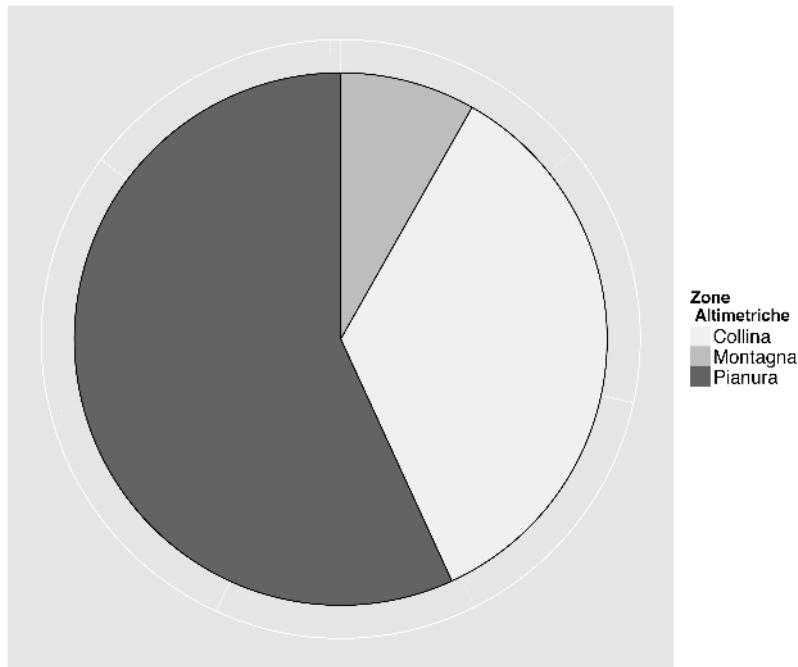


(a)

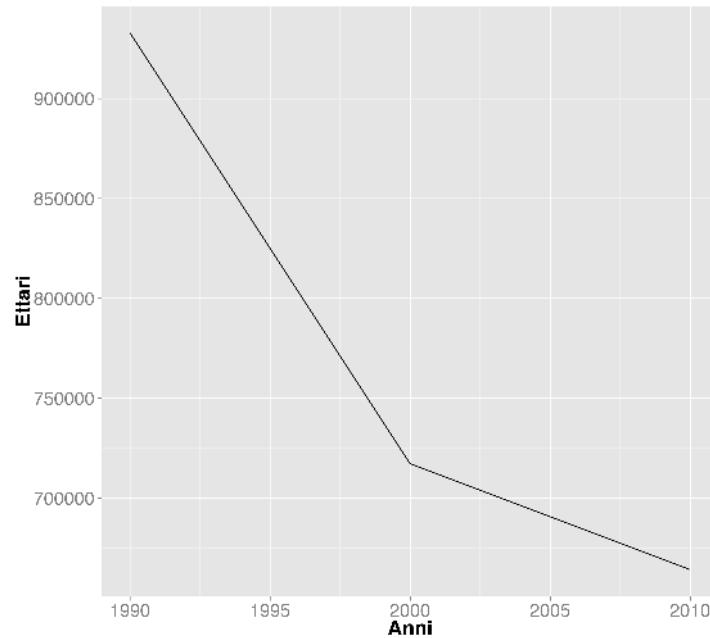


(b)

FIGURE 6.9 – Régression linéaire mettant en regard les volumes produits en coopérative et ceux produits en cave particulière par département en 2013. Graphique (a) : nous considérons tous les départements viticoles. Graphique (b) : nous nous concentrons sur les départements produisant moins de 7.5×10^5 hl



(a)



(b)

FIGURE 6.10 – Graphiques issus des données italiennes. En (a), la répartition des surfaces viticoles italiennes en fonction des zones altimétriques, et en (b) l'évolution des surfaces de productions viti-vinicoles entre 1990 et 2010

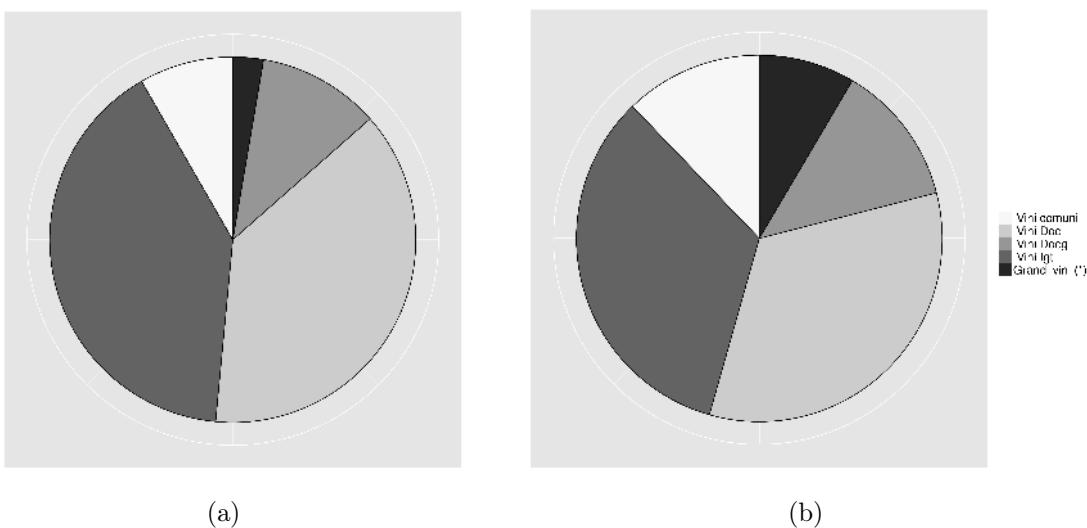


FIGURE 6.11 – Graphique issu du rapport MEDIOBANCA 2014 sur le secteur viticole italien. En (a), la proportion de chaque produit vinicole généré par le monde coopératif, en (b) par les entreprises privées.

travaux de M. SEBILLOTTE, AIGRAIN *et al.* (2003) et AIGRAIN et HANNIN (2008). Le premier s'intéresse à l'évolution du contexte coopératif, et le second à la libéralisation des échanges. Ces deux *scenarii* seront évalués sous contrainte de changement climatique.

Ces quelques informations sur le contexte économique de la viticulture franco-italienne nous permettent maintenant de proposer différents *scenarii* ancrés dans la conjoncture actuelle, mais également largement inspirés des résultats mis en évidence tout au long de ce travail.

6.2.3 Quelques *scenarii* prospectifs

Ce travail de scénarisation prospectif se base sur le positionnement des variables isolées par les acteurs et celles déterminées grâce aux différents modèles (fig. 6.7). À partir des variables considérées comme les plus motrices, nous proposons, dans cet exercice, de nous intéresser plus particulièrement à trois orientations différentes basées sur l'évolution de structures sociales, du marché et des lois. Ces trois grandes orientations aboutissent à quatre *scenarii* qui pourraient s'appliquer sur les territoires viticoles de fortes pentes. Parmi ces quatre *scenarii*, les deux premiers proposeront des évolutions possibles de la coopération, le troisième envisagera l'adaptation sociale (coopérative/interprofession) au changement climatique, et le dernier proposera d'envisager la déréglementation des droits de plantations.

		Totale	S.p.A. e s.r.l	Cooperative
Italia				
1	Vendita diretta	8.40	10.50	6.00
2	Grande distribuzione	42.20	38.30	51.90
3	Ho.Re.Ca.	18.60	23.20	8.50
4	Enoteche e wine bar	8.60	11.00	3.80
5	Grossista/Intermediario	16.30	13.40	22.10
6	Altri canali	5.90	3.60	7.70
7	Totale	100.00	100.00	100.00
Ester				
8	Rete propria	8.80	9.20	10.30
9	Intermediario importatore	83.10	82.20	80.90
10	Altri canali	8.10	8.60	8.80
11	Totale	100.00	100.00	100.00

Tableau 6.3 – Les canaux de distribution des entreprises de vinification italienne en 2013.
Ho.Re.Ca représente les Hôtels-Restaurants-Auberges

6.2.3.1 Évolution vers une fédération de coopératives

Contexte général

Dans un contexte de crise financière et économique et de montée des notions de Responsabilité Sociale Et Environnementale (RSEE) et de développement durable des entreprises, nous constatons que l'image *coopérative* est à nouveau très positive alors que beaucoup de coopératives s'en cachaient dans les années 1970-1980³⁰. La coopération peut donc jouer son rôle de réducteur d'entropie du vignoble-système (AURIAC 2000), rôle d'autant plus fort que nous nous situons en conditions structurales difficiles (E. DELAY et MARCELIN 2014). Par ailleurs le système coopératif, s'il accuse des retards dans l'innovation d'un point de vue marketing (malgré la campagne de Coop de France), est considéré comme en avance d'un point de vue technologique grâce à la nécessité d'industrialisation des procédés et des capacités économiques qui sont orientées vers la production du vin.

Le système coopératif s'attaque au segment économique de vins de milieu de gamme tout en proposant de manière épisodique quelques produits dans les extrémités du marché (tab. 6.3). La manœuvre pour permettre au coopérateur de vivre de leur travail est donc d'ouvrir des marchés et d'améliorer la communication pour espérer augmenter les revenus.

Contexte particulier

L'heure est à l'agrégation pour le système coopératif. Les petites structures villageoises se regroupent pour réduire les coûts de production. Ce regroupement prend la forme d'une fédération plaine-pente dans laquelle les territoires de montagne sont perçus comme

30. La campagne de communication de Coop de France, récompensée au Sommet international des coopératives de Québec en 2014, témoigne de ce nouvel engouement.

suffisamment différenciables pour continuer à exister dans ce contexte.

La montagne entre donc dans une stratégie coopérative de différenciation des produits pour la partie haute de la gamme proposée à l'agrégat, les sur-coûts de production liés à la pente étant alors supportés par des stratégies de réduction des coûts/volumes issus des parcelles de plaine sur d'autres territoires coopérateurs. Les territoires de plaine bénéficient de l'image de marque de la coopérative et celle-ci peut redistribuer équitablement les bénéfices aux territoires de montagne. La communication se fait au travers de deux facteurs, la marque de la coopérative et le territoire de production.

L'image construite à l'international par les exportations de la coopérative ouvre des marchés pour la viticulture individuelle, ce qui permet d'envisager un travail de valorisation territoriale pour favoriser le cercle vertueux.

Les variables touchées

- Les *incomes* (retour sur investissement) augmentent grâce à la stratégie plaine-pente. Le processus engendré est mis en évidence dans le modèle LAME (part 4.1 p. 188), ainsi quand les retours sur investissement sont plus élevés, les viticulteurs sont encouragés à cultiver la pente.
- Les structures sociales sont modifiées au niveau de la coopérative : le modèle Ci-VIsMe (part. 4.2 p. 219) présente les conséquences pour le territoire d'une revalorisation des *bonus* attribués aux viticulteurs coopérateurs.
- Le positionnement Qualité et Quantité de la coopérative permet de toucher différents segments de consommateurs.
- Les coûts de production diminuent sur les zones mécanisées de fond de vallée.
- Les rendements augmentent par la sortie de l'AOC des zones mécanisées. Le modèle LAME (part 4.1 p. 188) nous montrait déjà les avantages des zones peu pentues dans un contexte de rendements et de pratiques culturelles identiques. Le fait d'augmenter les rendements tout en introduisant de la mécanisation rendrait sans doute ces zones attractives pour d'autres populations de viticulteurs.

L'image en 2030

- Les vignobles de montagne peuvent conserver leur spécificité actuelle, zone refuge d'une viticulture familiale.
- Ces territoires restent attractifs pour le tourisme qui aime ces paysages jardinés, et bénéficient de l'image des produits exportés par la coopérative.
- Les territoires sont plus attractifs pour des populations cherchant un retour à la terre. Le phénomène est accentué par la présence d'une ville permettant une double activité individuelle ou dans le foyer.

Enjeux et conséquences du *scenario*

- Nécessite une gouvernance forte de la part de la direction et du conseil d'administration.
- Cette construction requiert une prise de conscience de populations de coopérateurs étrangères l'une à l'autre, de la nécessité du partage de l'outil de production dans une stratégie gagnant-gagnant, ce qui peut être compliqué du fait d'une redistribution des règles implicites des coopératives villageoises de départ.
- Nécessite la cohabitation en cave de produits différenciés et donc de procédures de vinifications différentes.
- Comment gérer l'implication des viticulteurs dans la coopérative en tant qu'ambassadeurs de la production quand l'agrégation ajoute de la distance entre le coopérateur et les prises de décisions ?
- Comment intégrer l'attractivité touristique territoriale à l'échelle de la coopérative ?

Professionnalisation locale des coopérateurs

Contexte particulier :

Nous placerons ce *scenario* dans le même contexte général favorable aux structures coopératives que le précédent, mais avec un territoire choisissant une orientation radicalement différente.

La viticulture de montagne cumule trop de spécificités pour pouvoir s'agréger avec des coopératives de plaines. Sa taille réduite limite ses possibilités d'exportations et de visibilités. Les choix de productions sont donc inévitablement faits en direction du segment haut du marché. La nécessité est de valoriser des produits de très haute qualité, ce qui constraint les coopérateurs à une plus grande maîtrise des itinéraires techniques et exclut *de facto* les coopérateurs moins exigeants.

Les conditions structurales difficiles et le haut niveau de technicité attendu rendent l'installation de jeunes agriculteurs difficile, ce qui demande une stratégie pro-active de la part des coopérateurs pour essayer de valoriser leurs actions et attirer de nouveaux venus. Cependant, cette professionnalisation facilite l'adoption de « bonnes pratiques » de la part des viticulteurs, ce qui facilite l'intégration des nouvelles règles européennes (plan écophyto notamment). Les zones de fortes pentes peuvent donc être des territoires tests de hautes pratiques environnementales, et valorisables par les produits obtenus.

Par ailleurs, les capacités d'investissement de la coopérative sont limitées par ses propres rapports d'activité, et les choix stratégiques d'orientations et/ou d'innovation de l'outil de productions et/ou des pratiques culturelles deviennent cruciaux.

Le zonage viticole est rationalisé pour réduire les coûts de production et permettre à tous de vivre décemment de leur travail. Les zones les plus difficiles sont abandonnées ou

utilisées pour un autre type d'agriculture. Le paysage viticole est donc plus fragmentaire et réduit l'influence que peut avoir le territoire sur les touristes qui le traversent.

Les variables touchées

- La coopérative perd beaucoup de ses coopérateurs du fait de la professionnalisation : ce comportement n'est pas pris en compte dans CiVIIsMe (part. 4.2 p. 219), mais nous pouvons considérer les résultats de LAME comme indicatifs des zones qui persisteraient. Autrement dit, la viticulture persisterait sur les zones plates ou peu pentues et accessibles.
- La qualité à grande échelle telle qu'elle est proposée dans le modèle *Dion still alive* (part. 3.1 p. 130) permet d'identifier les « zones » historiques de vigne, mais au sein des territoires, l'entretien d'une parcelle subit d'autres contraintes qui ne feront pas obligatoirement persister les plus anciennes (c.f. LAME, part 4.1 p. 188).
- Le retour sur investissement est impacté par les mesures prises par la coopérative et les gains en qualité promus par l'interprofession. Encore une fois, le modèle CiVIIsMe rend compte des équilibres subtils qui peuvent se jouer sur le territoire. La diversification agricole est envisagée dans ViCTOR (part. 3.2, p. 158) et permet là aussi de comprendre le type de concurrence spatiale qui peut se produire si la conversion est très (trop) bien réussie.

L'image en 2030

- Le nombre de viticulteurs s'est considérablement réduit et la viticulture est presque exclusivement professionnelle.
- Les îlots de production se sont stabilisés de manière à rationaliser les coûts de production, les formes paysagères viticoles sont fragmentaires. D'autre type d'agriculture peuvent se développer (herbes aromatiques, petit fruit).
- Les territoires viticoles de fortes pentes sont reconnus pour leurs grandes prises en compte de l'écologie et ceci de manière particulièrement innovante.

Enjeux et conséquence du *scénario*

- *Scénario* très sélectif. Les stratégies qui persistent sont à forte valeur ajoutée, et positionnées sur une clientèle fortunée.
- La professionnalisation oblige à penser la filière viticole et à valoriser les formations agricoles et viticoles sur le territoire.
- Contraint la coopérative à un gros travail d'accompagnement des viticulteurs non professionnels vers un plan social, et les professionnels vers une plus grande maîtrise des processus viticoles.

-
- *Quid* de l'attractivité touristique actuelle ? Est-ce que les îlots viticoles restants peuvent aussi être hautement valorisés du point de vue patrimonial ?

6.2.3.2 Le changement climatique et l'adaptation

Contexte général :

Dans son rapport de 2014, le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (Giec) a publié un rapport s'intéressant spécifiquement aux implications du changement climatique sous l'angle des adaptations et vulnérabilité des sociétés aux modifications à venir (FIELD *et al.* 2014). Le groupe d'experts insiste sur la possibilité que la condition climatique puisse devenir plus rapidement que prévu défavorable à de nombreux vignobles installés. Les travaux à l'échelle mondiale de HANNAH *et al.* (2013) vont d'ailleurs en ce sens.

Des solutions sont explorées afin d'atténuer ou d'éviter les effets préjudiciables ou d'en exploiter les effets bénéfiques³¹. Si, en situation de plaine, l'irrigation ou la désalcoolisation du vin sont des solutions qui deviennent crédibles, il est probable que la pente, jusqu'alors considérée comme une contrainte, devienne une opportunité pour les vignobles concernés pour continuer à produire du vin de manière « traditionnelle ».

Contexte particulier :

Les vignobles européens deviennent vulnérables aux conditions climatiques. Les changements structuraux imposent de nouvelles contraintes aux viticulteurs, et les aléas climatiques récurrents peuvent rendre les récoltes hasardeuses. Des solutions techniques sont trouvées pour adapter les vignobles aux conséquences du changement climatique : adaptation génétique, implantation de cépages existants plus résistants. Des efforts sont également faits du point de vue technologique pour lutter contre l'implantation de nouvelles maladies, ou réduire par des levures adaptées ou par désalcoolisation des degrés volumiques des vins.

Les vignobles de montagne arrivent à maintenir leur production d'un point de vue qualitatif sans changer leurs pratiques culturales en bénéficiant des températures plus fraîches en altitude. Cet atout permet au vignoble de pentes de se construire une image de marque dans la niche de vins naturels et traditionnels qui se développe parmi les classes moyennes mondiales.

Les variables touchées

- Le climat évoluant dans un contexte viticole, nous rapprochons cette situation du modèle *AcidityGIS* (part. 5.1, p. 251). Les conditions simulées mettent en évidence

31. Par exemple, dans la cadre du projet LACCAVE dirigé par N. OLLAT et J.-M. TOUZARD.

la complexité de la gestion de la maturation du raisin à l'échelle d'un petit vignoble. Il y aura nécessairement des adaptations des cahiers des charges et de la délimitation à imaginer.

- L'orographie peut dans ces conditions être perçue comme un atout en permettant de conserver les pratiques culturelles et continuer à proposer un produit stable aux consommateurs.
- Le positionnement Qualité devra être clair pour l'ensemble des viticulteurs, et nécessitera peut-être d'être porté par une structure sociale comme un syndicat interprofessionnel.
- Les *incomes* se maintiennent grâce à l'ouverture de nouveaux marchés sur les vins « traditionnels », sans désalcoolisation ni levure importée. Le modèle *Dion still alive* (part. 3.1 p. 130), malgré la grande échelle, montre les possibilités offertes au territoire d'avoir un marché bien identifié pour faire prospérer le vignoble.
- Les variables techniques et technologiques devront évoluer et continuer à être prises en compte, car les évolutions climatiques vont changer les équilibres et les variables influant sur les maladies et parasites de la vigne seront redistribuées. Dans ces conditions, et même si la question n'est pas, à proprement parler, abordée par CeLL (part.5.2, p. 282), nous comprenons bien l'importance des conditions locales dans le développement des populations de parasites.

L'image en 2030

- La viticulture s'est professionnalisée, les surfaces moyennes des exploitations viticoles ont augmenté, mais le nombre de viticulteurs s'est beaucoup réduit.
- Les surfaces se sont maintenues, mais les zones de plus basse altitude ont été délaissées. Le paysage viticole est plus morcelé, mais toujours présent et particulièrement visible du fait de son positionnement en hauteur.
- La vente de la production viti-vinicole entre dans une stratégie de marque, pour laquelle la pente joue le rôle d'un marqueur fort.

Enjeux et conséquence du *scenario*

- *Scenario* très sélectif à forte valeur ajoutée positionné sur une clientèle fortunée.
- Ne maintient que peu les populations viticoles et se concentre sur les formes paysagères.
- Est-ce que le vignoble traditionnel en micro terrasses et aménagements hydrauliques peut être maintenu ?
- Les zones de pentes sont des paysages recherchés. Est-ce que la viticulture s'intègre dans une démarche territoriale ?



FIGURE 6.12 – Persistance de la viticulture de fortes pentes dans différents régions d'Europe. (a), la vigne en terrasse conduite en pergola en vallée d'Aosta (IT), (b) la viticulture des contreforts du lac Léman à Lavaux (CH), (c) la viticulture sur les pentes de l'Étna en Sicile (IT), (d) dans la cluse de Chambéry en Savoie (FR),(e) vignoble au dessus de la *frazione* de *Groppi* sur la commune de *Riomaggiore* dans le *Cinque terre* (IT)

6.2.3.3 Libéralisation des échanges : le *scenario* de l'inacceptable ?

Contexte général :

La viticulture est un type d'agriculture peuplant qui nécessite une main-d'œuvre locale, et qui produit un impact fort sur les paysages (fig. 6.12). Cette culture influence aussi les facteurs environnementaux. Grâce à l'artificialisation des paysages par la construction de terrasses, la vigne participe au maintien des sols et à la gestion des l'écoulement de l'eau. Sa contribution aux dynamiques des territoires n'est donc plus à démontrer.

Or, dans le contexte des différentes Organisations Communes des Marchés (OCM) viticoles, les spécificités de la montagne n'ont été que peu prise en compte³². La libéralisation des droits de plantation dans les années à venir est donc un enjeu fort de la politique agricole commune, et fait courir des risques aux territoires viticoles de fortes pentes. En effet, comme le souligne l'AREV³³ ou encore MONTAIGNE *et al.* (2012), la modification du régime de droit de plantation risque de remettre en cause les zones en conditions structurales difficiles, même si MONTAIGNE *et al.* (2013, p.6) le soulignent, « ce ne sont pas les droits de plantation par eux-mêmes qui sont source de rigidité éventuelle, mais bien les règles complémentaires et mécanismes de mise en œuvre ».

Contexte particulier :

La libéralisation des droits de plantation change le rapport aux territoires de la viticulture. Le vin devient un produit agricole transformé, orienté marché plutôt qu'orienté produit (KOHLI et JAWORSKI 1990). Des vignes se plantent sans contrainte, dans toute l'Europe, sur les zones mécanisables, ce qui met en péril des territoires constitués et instaure une compétition territoriale forte en accroissant l'influence des inégalités.

Les variables touchées

- Les lois sont modifiées pour permettre la libération des droits de plantation.
- Cette libération modifie le marché. Les modèles *Dion still alive* (part. 3.1 p. 130) et VICTOR (part. 3.2, p. 158) nous renseignent sur le devenir des zones qui, du jour au lendemain, perdent l'accès au marché.
- La réduction ou la disparition du marché va réduire le retour sur investissement sur les zones de fortes pentes. Les modèles LAME (c.f. LAME, part 4.1 p. 188) et CiViMe (part. 4.2 p. 219) présentent une projection des conséquences de cette réduction.

32. Les états européens peuvent choisir de ne pas octroyer de primes à l'arrachage aux territoires de montagne

33. L'Assemblée des Régions Européennes Viticoles propose le 9 février 2015 un communiqué intitulé « Viticulture en fortes pentes – l'oubliée de la réforme », <http://unil.im/mX6Lu>, site consulté le 20 mars 2015.

-
- La disparition des structures coopératives qui n'auront pas pu s'adapter ne fera qu'amplifier la réduction des retours sur investissement. Là encore, les conséquences peuvent être examinées grâce à l'un des *scenario* de CiViIsMe.

L'image en 2030

- Les vignobles de montagne ne peuvent pas faire face à la modification du marché, ce qui se traduit par l'abandon d'un grand nombre de viticulteurs.
- Le paysage viticole est plus ou moins rapidement recolonisé par la végétation, et il ne reste que de petits îlots de culture.
- Les prix du vin sont largement réduits du fait du choc d'offre dans les zones de plaine, le retour sur investissement sur les zones de fortes pentes s'est trouvé très fortement impacté.

Enjeux et conséquences du *scenario*

- Cela questionne sur la destruction du capital social et environnemental des territoires, et leur mobilisation pour et par les touristes qui fréquentent ces zones.
- Cela nécessite une aide au maintien des vignobles de pentes, au moins au début des assouplissements des droits de plantation, pour amortir la transition et les pousser vers un saut qualitatif.

Nous pourrions continuer l'exercice de proposition de *scenarii*, mais la réussite de la réflexion prospective ne peut se juger par la réalisation d'un *scenario*. Nous proposons de prendre du recul vis-à-vis de la démarche pour en comprendre les avantages et les limites.

6.2.4 Utilité et limites de l'exercice : une question d'échelle ?

L'utilité de la réflexion prospective dépend très largement de la démarche et des processus de médiation mis en place avec les acteurs (ETIENNE et COLLECTIF 2010), mais aussi des objectifs poursuivis par ces derniers. Parmi ces objectifs GODET (1985, p.35) relève :

- les objectifs stratégiques, qui vont orienter les actions et baliser les futurs en identifiant les variables accessibles par les acteurs, et celles qu'ils peuvent attendre en bâtissant de manière pro-active des alliances et partenariats ;
- les objectifs tactiques qui, en jouant sur l'effet d'annonce, visent à faire prendre conscience aux communautés impliquées des enjeux pour s'orienter vers des situations voulues et s'éloigner des *scenarii* de l'inacceptable. L'objectif tactique peut aussi être envisagé comme la construction d'un raisonnement autour d'une prise de décision pour être en mesure de parer aux critiques qu'elle peut faire émerger.

Le type d'objectifs animant les acteurs dépend de leur positionnement dans le système. Les viticulteurs se positionnent plus volontiers dans un objectif stratégique visant à sauvegarder et améliorer leurs conditions, tandis que les acteurs « institutionnels », eux, poursuivront plus facilement des objectifs stratégiques. Compte tenu de l'immense variété des objectifs, la crédibilité de la démarche prospective n'entre pas en considération. Une bonne prévision n'est pas forcément réaliste, car la prospective n'est jamais neutre et commande de faire des paris (M. SERRES 2009).

Il ressort de la construction des modèles et des analyses structurelles que les acteurs ne sont pas disposés à réfléchir sur tous les types de sujets et à toutes les échelles. Par exemple, les viticulteurs sont particulièrement intéressés et dynamiques dans le cadre de modélisations de phénomènes très descriptifs, le plus souvent sur des problématiques particulières. Leur mobilisation et leur intérêt décroissent à mesure que nous leur proposons des réflexions basées sur de la modélisation de dynamiques stylisées d'interactions simplifiées (fig. 6.13). Au contraire, les acteurs institutionnels sont très sensibles aux modèles stylisés, tout en reconnaissant l'intérêt local des modèles plus ancrés, mais se déclarant souvent inaptes à leur construction et leur validation.

Ces réflexions valident, pour les territoires viticoles de fortes pentes, la persistance des « territoires de la stabilité » (FRÉMONT 1976). Dans le contexte de la globalisation et des mobilités accrues, les hommes et les femmes « compensent par la recherche d'une certaine stabilité, par des pratiques et des valeurs qui corrigent celles de l'économie et de la société dominante » (ibid., p.49). L'espace vécu par les acteurs accentue le phénomène d'insularisation du territoire par la déconnection des mezzo-échelles, ce qui accroît une certaine dualité entre les viticulteurs et les acteurs institutionnels.

Les premiers sont en prise directe avec les éléments, les aléas, etc., et doivent composer avec pour produire du raisin et du vin qui leur permettront de poursuivre leur activité. Nous les considérerons comme des éléments de « bas niveau »³⁴, permettent de comprendre des processus à un degré très avancé et de manière très fine.

Les seconds, qui peuvent être des techniciens agricoles, des aménageurs, des responsables interprofessionnels ou politiques *etc.* travaillent à des échelles spatiales et sociales plus abstraites et sont donc habitués à manipuler des informations plus stylisées. Nous les considérons comme des éléments de « haut niveau » qui ne possèdent pas les connaissances permettant de comprendre le détail des processus, mais qui sont toutefois capables d'apporter une compréhension générale du système et de ses fonctions.

Dans cette configuration, chaque type d'acteur s'attache donc à la formalisation des phénomènes qui lui semble essentielle. Dans une approche de « bas niveau » comme dans une approche de « haut niveau », la démarche de modélisation a donc besoin des deux

34. Dans une analogie assumée aux langages informatiques (c.f. wikipedia <http://unil.im/PHSgb>, site consulté le 25 mars 2015).

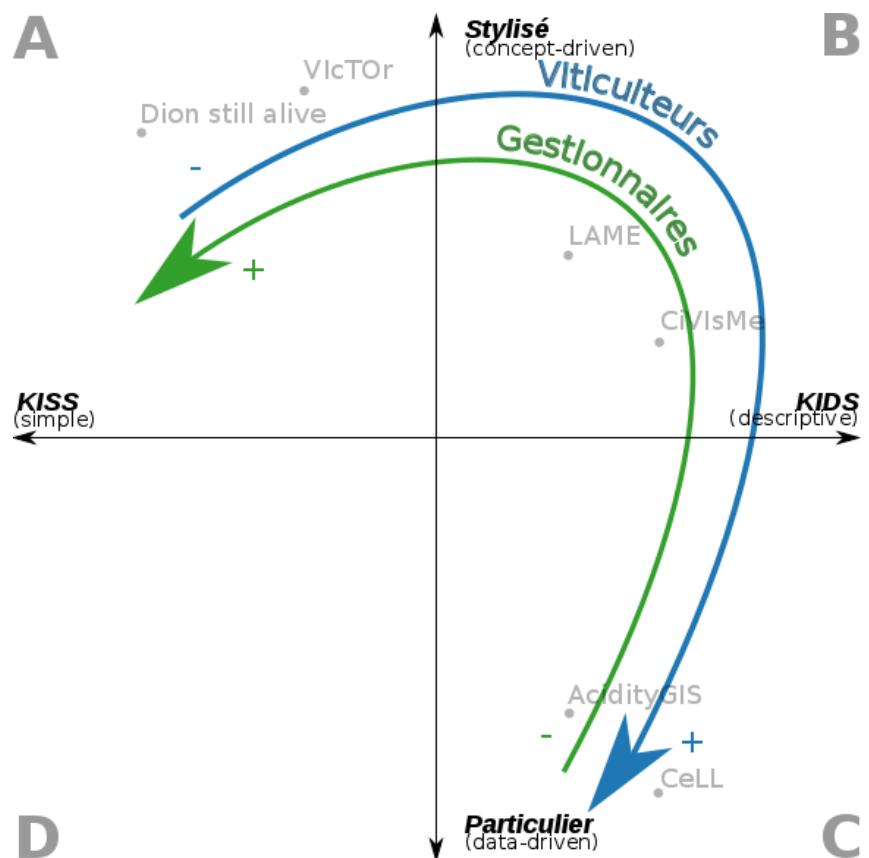


FIGURE 6.13 – Niveaux d'intérêt porté par les acteurs au modèle en fonction de leurs interactions sur le territoire projeté sur le diagramme proposé par BANOS et SANDERS (2013)

types d'acteurs, les premiers pour expliciter les processus en jeu et permettre de délimiter les variables clefs. Les résultats des réflexions à ce niveau permettent ensuite les approches agrégées et les démarches prospectives à plus grande échelle qui peuvent être à proposer aux acteurs de haut niveau comme support d'analyse prospective issu de la construction de bas niveau.

Dans ces deux cas, pour le géographe, « l'espace géographique » en tant que « produit social » (AURIAC 2000, p.174) acquiert toute sa pertinence. Il devient l'objet autour duquel les acteurs de bas niveau et de haut niveau sont appelés à réfléchir pour en enrichir la compréhension. Cette monté vers l'abstraction par la combinaison d'un espace potentialisé (*ibid.*, p.174), et conservant les processus de l'espace vécu (FRÉMONT 1976) nous permet de concevoir le « vignoble-système de fortes pentes » comme un espace cohérent avec ses propres dynamiques, mais s'intégrant dans celles du « vignoble-système » tel que proposé par AURIAC (2000).

Conclusion du chapitre

Le travail de prospective tel que nous l'avons présenté ici s'inscrit à plusieurs niveaux. Nous avons vu les apports de la modélisation dans la démarche d'accompagnement proposée dans *ComMod* (ETIENNE et COLLECTIF 2010 ; BECU, PEREZ *et al.* 2003 ; BECU, NEEF *et al.* 2008), et la démarche prospective proposée par GODET (1985) et M. SEBILLOTTE, AIGRAIN *et al.* (2003) ou encore HANNIN, COUDERC *et al.* (2010) et AIGRAIN, HANNIN et VERT (2013). Il nous semble, à l'aune de ce chapitre, que le couplage de la modélisation à base d'agents co-construite avec les acteurs et les approches de prospective, gagne en pertinence dans la mesure où ils sont mené conjointement dans le cadre de réflexions prospectives et stratégiques sur les territoires.

En effet, la modélisation à base d'agents est un médium efficace et mobilisable avec les acteurs. L'approche très interactive de la modélisation et les résultats graphiques en font un outil adapté à la résolution avec les acteurs de problèmes de bas niveau territorial dans la compréhension post-normale de problèmes complexes (FUNTOWICZ et RAVETZ 1993). Cependant cette complexité inhérente aux phénomènes socio-spatiaux modélisés rend difficile la construction de modèles à la fois généraux et descriptifs (BANOS et SANDERS 2013), d'autant plus quand la diversité de positionnements des acteurs est marquée.

Parallèlement, les démarches prospectives proposées par GODET (1985) et/ou M. SEBILLOTTE et C. SEBILLOTTE (2002) permettent d'accompagner la réflexion sur des questions à de très grandes échelles géographiques et sur des phénomènes assez stylisés pour aboutir à des propositions envisageables sur des territoires étendus en isolant des variables clefs. Ce type d'approche, d'après notre expérience sur la Côte Vermeille et dans le *val di Cembra*, est toutefois relativement inopérant avec les viticulteurs tout en étant

particulièrement adapté aux gestionnaires du territoire.

Le couplage de modélisation co-construite et de la prospective nous permet de réconcilier les viticulteurs et les gestionnaires du territoire en proposant aux uns et aux autres des *media* de réflexion adaptés aux problématiques et aux positionnements de chacun. Les hétérogénéités locales passées par les filtres de la modélisation puis de la prospective territoriale offrent au géographe de penser la viticulture de fortes pentes de manière intégrée au vignoble-système.

Conclusion générale

« Notre morale fut, pendant la durée de la conquête, un morale de soldats. Mais il nous faut, maintenant, coloniser. Il nous faut rendre vivante cette maison neuve [...]. La vérité, pour l'un, fut de bâtir, elle est, pour l'autre, d'habiter. »

SAINT-EXUPÉRY (1939, p.51)

La nature protéiforme des formes de la viticulture européenne combinée aux hétérogénéités locales sous contraintes de pentes rend la réalité de ces vignobles difficile à concevoir dans sa globalité. Cette première difficulté a été surmontée en abordant la question de l'évolution et de la prospective de ces paysages par l'intermédiaire de nos deux territoires d'étude : la Côte Vermeille et le *val di Cembra*.

La confrontation de ces réalités distinctes mises au regard des concepts de terroir et de territoire, aujourd'hui construits et mobilisés de manière pluridisciplinaire par les géographes (HINNEWINKEL et VELASCO-GRACIET 2005 ; PITTE 2010 ; ROUVELLAC 2013) et par toutes les sciences touchant à l'objet complexe qu'est la viticulture (MORLAT 1989 ; VAN LEEUWEN et SEGUIN 2006), nous ont aidés à définir une première délimitation des concepts et champs de la connaissance régulièrement invoqués dans les travaux sur la vigne, le vin et l'espace.

Pour réaliser cela, nous avons inscrit ce travail dans une démarche géographique et systémique dans la continuité des travaux d'AURIAC (1979) en remobilisant des concepts propres au vignoble-système. Cette conception systémique combinée au travail de terrain et à la rencontre avec les acteurs nous a permis de passer d'une géographe de la *mise à jour* (PUMAIN 1998) à l'élaboration d'un *construit formel*. Ce déplacement dans le champ théorique a été possible en tirant profit des filtres que peuvent représenter la modélisation à base d'agents (BOMMEL 2009), combinée à une approche systémique nous permettant de conserver une capacité de généralisation propice aux exercices de prospectives (M. SEBILLOTTE, AIGRAIN *et al.* 2003).

Nous avons donc abordé la problématique de l'évolution des paysages viticoles de fortes pentes par des approches de modélisation empirique (EDMONDS 2015 ; SMAJGL et BARRETEAU 2013b), au travers de modèles initiés par une grande diversité d'acteurs, en se concentrant sur des problématiques émergentes des territoires d'étude. Cela nous a conduit à proposer une galaxie de modèles fonctionnant de manière autonome pour répondre spécifiquement aux questions émergeant tout au long de notre travail. Ces modèles s'inscrivent tous, à différents degrés, dans les préceptes de la modélisation d'accompagnement *Com-Mod* (BECU, NEEF *et al.* 2008 ; ETIENNE et COLLECTIF 2010), afin de construire une compréhension globale et partagée des mécanismes complexes questionnés (FUNTOWICZ et RAVETZ 1993).

Les apports d'une compréhension plus fine des processus

La diversité des questions qui ont émergé durant notre travail sur le vignoble de la Côte Vermeille et sur celui du *val di Cembra* nous a permis d'identifier trois archétypes de processus socio-spatiaux s'intégrant dans la pensée du vignoble-système sur les territoires de fortes pentes.

Les marchés, grand architecte supra-territorial

L'intuition de la prépondérance du marché sur la structuration du vignoble s'est très tôt manifestée dans l'histoire agronomique des territoires viticoles. Ainsi O. d. SERRES (1600) en soulignait déjà l'importance, et DION (1952) dans une démarche de *mise à jour* des processus géo-historiques s'inscrivait dans ses pas. Loin de démentir ces travaux, il est apparu que les acteurs territoriaux (les communautés villageoises, et villes disposant d'une « place de marché »), s'ils subissent l'influence du marché, sont capables de s'organiser localement pour tirer profit des conditions les plus avantageuses ou encore de modifier celles-ci pour les rendre plus favorables tant que le marché les soutient.

Dans ce contexte de réflexion à grande échelle, nous avons pu explorer les conditions d'émergence de la hiérarchisation des qualités des vins (*ibid.*). Il apparaît que celle-ci peut être interprétée, par plausibilité de principe³⁵ (VARENNE 2011), comme une fonction temporelle liée au soin que prodiguent les agents aux parcelles historiques³⁶. Ainsi, la hiérarchisation des indications géographiques, aujourd'hui considérées comme l'un des marqueurs hédoniques forts, et qui sont souvent envisagées comme résultat de processus très complexes. Or nous montrons que cette hiérarchie est approchable à grande échelle, grâce à un ensemble d'hypothèses simples, basées sur un faisceau d'interaction mêlant local et global.

Enfin, en explorant les types de formes produites par la mise en concurrence de la viticulture et d'une culture de subsistance, nous montrons les conséquences de l'application de contraintes économiques sur l'utilisation de l'espace et plus spécifiquement sur les comportements socio-spatiaux qui peuvent se mettre en place sur les territoires.

En travaillant à ce niveau d'agrégation, nous pouvons souligner l'avantage structural de la pente pour la production de vins de qualité, mais cet état est lié en partie aux contraintes économiques. Ainsi les vignobles qui n'arrivent pas à se positionner ou se repositionner dans un marché en constante évolution périclitent. Par ailleurs, toujours à ce niveau de granularité, les conditions structurales difficiles peuvent être considérées

35. La plausibilité de principe similaire à la justification par la « raison suffisante » telle que la décrit POPPER (1998, p.49).

36. Ce que les récents travaux de AY et LE GALLO (2015) tendent à conforter.

comme avantageuses quand les conditions économiques globales deviennent défavorables au vignoble. En effet, les zones de pentes sont généralement plus difficiles à reconvertis dans un autre type d'agriculture, y perdure donc une viticulture à petite échelle, garante de la conservation des pratiques, du matériel végétal, etc³⁷. De manière générale, l'enjeu, à cette échelle, consiste à s'interroger sur le maintien des vignobles de pentes comme marqueur culturel autant que zone de production agricole par les pouvoirs publics. L'objectif pourrait alors être de renforcer l'image de qualité de ces vignobles pour leur donner ou redonner accès au marché.

Les sociétés comme recours au « possibilisme »

Si nos premières réflexions nous ont conduits à aborder les processus en jeu sur les territoires viticoles de pente à mezzo-échelle, la nécessité de prendre en compte les individus pour espérer délimiter les contours des processus en actions s'est rapidement imposée. En effet, pour AURIAC (2000, p.174), c'est la combinaison des « activités extérieures » au système-vignoble et des interactions des « petites exploitations » qui donne la cohésion spatiale au système. Cela conduit à considérer l'espace géographique de nos territoires en temps que production sociale. Les terroirs ne sont alors qu'une résultante de cette production (HINNEWINKEL 2004 ; E. DELAY 2013).

Cette considération, déjà esquissée lors de l'identification de processus permettant l'émergence d'une hiérarchisation qualitative, se déploie au moment où nous commençons à nous intéresser aux interactions individuelles. Le travail effectué sur les dynamiques socio-spatiales des territoires de pente et plus spécifiquement sur les AOC Collioure et Banyuls mettent en évidence les critères qui entrent en jeu dans les choix d'implantation ou de reprise de parcelles par les viticulteurs. La complexité introduite par une double échelle spatiale de choix intégrant les conditions locales et globales montre la nécessité des interactions sociales pour mobiliser un paysage tout à la fois homogène du point de vue de la couverture et dispersé du point de vue des exploitations viticoles.

Par ailleurs, la coopération est une composante majeure du maintien de la viticulture en condition de fortes pentes, mais joue également un rôle dans la diffusion de l'innovation sur ces territoires (E. DELAY et MARCELIN 2014). En confrontant le contexte italien du *val di Cembra* et celui français de la Côte Vermeille, nous identifions un certain nombre d'invariants, mais se dégagent également de grandes différences.

Parmi ces invariants, la coopérative apparaît comme un « réducteur d'entropie »³⁸ sur

37. Les inventaires du Centre d'Ampélographie Alpine basé à Montmeillant (73) le démontrent chaque année. En effet, depuis 2011, de nombreux cépages ont été redécouverts : Corbeau, Persant, de nombreux clones de Mondeuse Noire

38. Pour AURIAC (2000, p.121-123) les caves coopératives en Languedoc Roussillon, en rassemblant une très grande majorité de viticulteurs par un maillage régulier du territoire participe à « une entropie sociale » et « spatiale » minimisée.

ces territoires, propice au maintien d'une petite viticulture. Nous participons donc à une généralisation à une échelle plus fine des travaux d'AURIAC (2000) effectués à l'échelle du Languedoc Roussillon. Pour autant celle-ci ne doit pas être considérée comme une revanche des petits apportants sur les gros, car les classes sociales se maintiennent en contexte coopératif (TOUZARD, J. F. DRAPERI *et al.* 2003).

En outre, les territoires sont soumis à leurs propres dynamiques socio-historiques, ce qui a pour effet de complexifier le rapport des individus avec l'outil de production. Nous sommes alors en capacité de lire différents niveaux de complexité. Le premier niveau se référant à l'hétérogénéité individuelle, celle-ci permet d'évaluer les motifs spatiaux se développant. Le second niveau fait lui référence à la diversité des territoires et donc à la diversité des contextes sociaux. Il autorise alors une vision agrégée au territoire et un changement d'échelle dans le cas d'une généralisation à l'ensemble des territoires de fortes pentes.

En considérant ces différents résultats, à l'échelle des viticulteurs, nous soulignons tout à la fois la part d'adaptation qui leur est permise face aux choix locaux dans leurs stratégies de développement économique et spatial, et ainsi contredire le possibilisme vidalien. Toutefois, du point de vue des motifs généraux produits à une échelle agrégée, nous identifions également une certaine persistance de ce possibilisme. La spatialité et la pertinence du résultat restent une question d'échelle de réflexion.

Les parcelles, les individus et la notion de spatialité

La dernière marche à franchir consiste encore une fois en un changement d'échelle. La portion de territoire considéré se réduit et l'influence des conditions locales propre à chaque agent prend encore de l'importance. Parallèlement, à mesure que l'on gagne en détail et que la modélisation perd son caractère stylisé, il devient de plus en plus difficile d'en exporter les résultats. Comme corolaire, les acteurs locaux que nous avons définis comme agents de « bas niveau » se sentent d'autant plus facilement investis dans la démarche de modélisation que sa faisabilité leur semble alors plus immédiate.

Dans le contexte très particulier du changement climatique, VAN LEEUWEN, SCHULTZ *et al.* (2013) soulignent l'importance non négligeable de l'adaptation individuelle aux nouvelles contraintes qui se déclinent. Les résultats de nos explorations tendent à montrer que ce qui est vrai pour le changement climatique est également généralisable pour une très grande variété de problèmes qui peuvent se poser aux communautés agricoles.

Mais ne dit-on pas que « Le diable est dans les détails » ? En effet, la dernière série de modèles que nous proposons termine le voyage géographique dans les emboîtements d'échelle, et est largement plus guidée par les données que les autres modèles présentés. Si les résultats sont plus facilement assimilables par les acteurs, ils finissent de démontrer la nécessité d'une approche post-normale des questions de recherche (FUNTOWICZ et RA-

VETZ 1993). Ces modèles soulignent également qu'il n'existe plus de réponses vraies, mais des réponses adaptées à la réalité que nous, chercheurs, acteurs, souhaitons comprendre et explorer (WATZLAWICK 1984).

Retour sur la démarche et perspective

Il est possible, et nous avons déjà défendu cette position, de proposer une approche prospective par l'intermédiaire de la modélisation à base d'agents : nous défendons aussi dans ce travail les apports d'une utilisation conjointe de modèles pour proposer une lecture prospective des territoires. Nous revenons ici sur ces deux approches porteuses l'une comme l'autre de clefs d'interprétations des évolutions du système.

Construction et co-construction de modèles

Dans l'article intitulé « *Code is law* », de LESSIG (2000) décrit les mutations sociales en cours et lance un signal d'alarme pour souligner la place prépondérante que prend le code dans la cyber-société en construction. Au même moment, les systèmes multi-agents sont en plein essor, mais restent confinés dans les laboratoires. La modélisation d'accompagnement peut alors être regardée comme une réponse élégante trouvée par les modélisateurs pour construire et explorer des situations complexes tout en redonnant aux acteurs l'accès sinon au code mais au moins au processus de création de modèles. Par ailleurs, ouvrir la boîte noire du modèle aux acteurs permet de faire entrer le chercheur dans une démarche itérative particulièrement enrichissante dans laquelle il accepte de ne plus être le seul détenteur du savoir.

C'est le type de démarche que nous avons choisi de mobiliser de manière graduelle tout au long de ce travail, ce qui lui a permis de trouver un écho très intéressant chez les parties prenantes du projet. Chaque modèle a donc été développé pour donner suite à des questionnements des acteurs locaux ou de la communauté scientifique, et ils ont tous bénéficié de nombreux aller-retour pour justifier ou infirmer les choix méthodologiques.

Deux constats émergent de ces mouvements entre territoire et modèle. L'implication des acteurs dépend du type de représentation qui est choisi dans la modélisation, et une distinction très nette se matérialise entre les acteurs aptes à manipuler des formes abstraites et agrégées (que nous avons appelés les acteurs de « haut niveau »), et ceux qui sont plus à même de valider des comportements concrets à des échelles fines (les acteurs de « bas niveau »).

Quand le contexte s'y prête, il est d'usage de développer un modèle par type d'acteurs et ensuite de confronter ces derniers aux différentes visions présentes sur le territoire. Ceci est possible quand la modélisation traite d'un territoire donné. Or, i) la confrontation du

contexte français et italien, ii) notre volonté affirmée de concilier une approche systémique et théorique des territoires et une approche ancrée spatialement pour permettre aux acteurs de réfléchir sur leurs pratiques, nous ont conduits à proposer cette galaxie de modèles.

Cet écosystème de simulation représentent la multitude de points de vue, de questions et d'échelles de résolution à laquelle les acteurs font appel. De même, l'ensemble de ces modèles et leur chronologie révèle la progression de notre réflexion et les échelles spatiales et ontologiques auxquelles nous nous intéressons. Enfin, cette progression traduit l'évolution des relations de confiance que nous avons instaurées avec les acteurs des territoires (viticulteurs et techniciens), et leur intérêt croissant pour la modélisation.

La prospective et les apports des acteurs

Chaque modèle apporte donc individuellement son lot de résultats et de possibilités de prospective, mais nous il manquait encore un moyen de rassembler tous les résultats pour essayer de proposer une vision prospective unifiée. C'est là que l'inventaire des variables et de leurs interactions, identifiées avec les acteurs durant la construction des modèles, combinés à des méthodes de prospectives a puisé son intérêt. Cela nous a permis de construire une vision simplifiée des variables structurales essentielles au système.

Parallèlement, nous avons également proposé aux viticulteurs de la Côte Vermeille l'exercice de détermination des variables structurelles qui selon eux pèsent sur leur système. La confrontation des variables isolées lors de la réunion de travail et celles isolées à partir des modèles met à jour la différence entre la réalité qu'ils ont l'impression de percevoir face à la complexité d'un système monolithique et celle qu'ils perçoivent réellement quand les problématiques sont fragmentées.

L'ensemble de ces informations nous amène à proposer des *scenarii* prospectifs. Ce travail d'agrégation des variables et de problématisation nous fait alors remonter dans l'abstraction des territoires viticoles de fortes pentes pour penser les problèmes en réduisant le localisme. L'une des limites des *scenarii* proposés réside dans notre volonté effective de nous abstraire des particularismes. Or, s'ils ont le mérite de forcer la réflexion, ils exigent également une réappropriation par les acteurs mobilisés pour tirer leur système-vignoble vers les situations voulues, ce que HINNEWINKEL (2007) les exhorte à faire pour envisager pleinement l'« avenir du terroir ». Le travail d'accompagnement pourrait donc se poursuivre afin d'évaluer la réflexivité des apport de ce travail sur les prises de décisions locales.

Demain se construit aujourd’hui

Si bien des questions sur les dynamiques géographiques des vignobles attendent encore aujourd’hui d’être explorées ou réexplorées sous le prisme des systèmes complexes et par l’intermédiaire des systèmes multi-agents, ces années de thèse, en plus des apports disciplinaires sur la géographie du vin, nous ont permis d’enrichir nos compétences en modélisation. La lecture de ce travail rend assez peu compte du travail sous terrain de construction algorithmique, de calculs informatiques et d’analyses statistiques nécessaires.

Cette expertise est aujourd’hui remobilisée dans deux projets de modélisation. Le premier est un programme de recherche porté par le Laboratoire Archéologie et Territoire (LAT, UMR 7324 CITERES) à Tours intitulé *vitiTerroir*³⁹. Il vise à étudier les processus en jeux dans les dynamiques spatiales et sociales sur le temps long par l’intermédiaire de la modélisation à base d’agents. Ce programme de recherche est construit de manière interdisciplinaire et a pour ambition de construire un ensemble de modèles disciplinaires interdépendants. Une part de la complexité inhérente à ce travail réside dans la correspondance entre les objets au court du temps. En effet, les processus sociaux et spatiaux ne sont pas restés « locaux, loyaux et constants » au court du temps. Dans ce cas, la modélisation est à considérer comme *medium* interdisciplinaire d’enrichissement des connaissances viticole sur le temps long.

Le second projet est né d’une demande de la Confédération des caves Coopérative Viticole de France (CCVF) dont nous avons rencontré des membres en septembre 2015⁴⁰. La confédération est aujourd’hui confrontée à deux perceptions différentes de la réalité. D’un côté, les directeurs de caves coopératives et les membres des conseils d’administration sont demandeurs d’un assouplissement des contraintes imposées par les statuts coopératifs (gestion du statut, durée d’engagement, prix moyen, apport total, etc.), et de l’autre la CCVF est persuadée de l’importance de ces statuts, et les considère comme garants de la bonne marche sociale des territoires.

Dans un premier temps, lors un processus interne au laboratoire⁴¹, nous avons élaboré un projet de recherche construit sur deux axes. Le premier explorera les conséquences des statuts sur la structure coopérative en tant qu’entreprise de l’économie sociale et solidaire, tandis que le second étudiera les répercussions de la modification de ces statuts sur la structure sociale et spatiale des territoires. Dans les deux cas, la modélisation à base d’agents est conçue comme un *medium*, tantôt dirigé pour le monde professionnel afin de les aider à comprendre les implications des modifications dans les statuts, tantôt

39. Porté par Samuel LETURCQ et Adrien LAMMOGLIA.

40. Réunion avec le groupe « Vie coopérative » animée par Lucie SUCHET

41. Avec Marius CHEVALLIER, et Éric ROUVELLAC (GEOLAB, Université de Limoges).

à destination des chercheurs pour leur permettre de comprendre et de dissocier la réalité vécue par les membres des conseils d'administration des structures coopératives de celle effectivement perçue par eux.

Le second temps, consistera à ouvrir le processus de recherche en directions des pairs comme des acteurs, dans les pas des travaux de TOUZARD, J. F. DRAPERI *et al.* (2003). Pour cela, et afin d'ancrer notre démarche dans une approche de co-construction, nous avons proposé à la CCVF d'accompagner un groupe de réflexions par la modélisation pour faire émerger le système de valeurs qui sous-tend la mise en place des statuts coopératifs.

Bibliographie

Bibliographie

- ACEVEDO-OPAZO, C., B. TISSEYRE, J. A. TAYLOR, H. OJEDA et S. GUILLAUME (2010). « A model for the spatial prediction of water status in vines (*Vitis vinifera L.*) using high resolution ancillary information ». In : 11.4, p. 358–378.
- AGAR, M. (2003). « My Kingdom for a Function : Modeling Misadventures of the Innumerate ». In : *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 6.3.
- AIGRAIN, P. (2011). « Les droits de plantation et l'avenir de la réglementation européenne dans le secteur vitivinicole ». Sénat. Paris.
- AIGRAIN, P. et H. HANNIN (2008). « La prospective stratégique : application à la filière française Vignes-Vins ». In : *3rd International Wine Business Conference*. 3rd International Wine Business Conference. Montpellier, France.
- AIGRAIN, P., H. HANNIN et J. VERT (2013). « Perspectives d'évolution de la filière vitivinicole dans la région Languedoc-Roussillon à l'horizon 2025 ». In : *Centre d'études et de prospective*. Analyse 55, p. 4.
- AINSEBA, B., D. PICART et D. THIÉRY (2011). « An innovative multistage, physiologically structured, population model to understand the European grapevine moth dynamics ». In : *Journal of Mathematical Analysis and Applications* 382.1, p. 34–46. ISSN : 0022-247X. DOI : 10.1016/j.jmaa.2011.04.021.
- ALCARAZ, F. (1999). « Les terrasses méditerranéennes, entre terroirs et paysages (nord-ouest du bassin méditerranéen) ». Thèse de doct. Toulouse 2.
- (2001). « L'utilisation publicitaire des paysages de terrasses ». In : 157, p. 195–209.
- ALLAIRE, G. (2002). « L'économie de la qualité, en ses secteurs, ses territoires et ses mythes ». In : 4.2, p. 155–180. ISSN : 1295-926X.
- AMBLARD, F. (2010). « Construire des sociétés artificielles pour comprendre les phénomènes sociaux réels ». In : *Nouvelles perspectives en sciences sociales : Revue internationale de systémique complexe et d'études relationnelles* 5.2.
- AMBROISE, R., P. FRAPA et S. GIORGIS (1993). *Paysages de terrasses*. Edisud. ISBN : 9782857444497.
- AMO-SALAS, M., V. ORTEGA-LÓPEZ, R. HARMAN et A. ALONSO-GONZÁLEZ (2011). « A new model for predicting the flight activity of *Lobesia botrana* (Lepidoptera : Tortricidae) ». In : *Crop Protection* 30.12, p. 1586–1593. ISSN : 0261-2194. DOI : 10.1016/j.cropro.2011.09.003.
- AN, L. (2012). « Modeling human decisions in coupled human and natural systems : Review of agent-based models ». In : *Ecological Modelling*. Modeling Human Decisions 229, p. 25–36. ISSN : 0304-3800. DOI : 10.1016/j.ecolmodel.2011.07.010.

-
- ANDERSEN, H. (2001). « The history of reductionism versus holistic approaches to scientific research ». In : 25.4, p. 153–156. ISSN : 0160-9327. DOI : 10.1016/S0160-9327(00)01387-9.
- ANDERSON, J. R., L. M. REDER et H. A. SIMON (1999). *Applications and misapplications of cognitive psychology to mathematics education*. ERIC Clearinghouse.
- ARX, M. von, D. SCHMIDT-BÜSSER et P. M. GUERIN (2011). « Host plant volatiles induce oriented flight behaviour in male European grapevine moths, *Lobesia botrana* ». In : *Journal of Insect Physiology* 57.10, p. 1323–1331. ISSN : 0022-1910. DOI : 10.1016/j.jinsphys.2011.06.010.
- ASSELIN, c., R. MORLAT, A. PUSSANT, H. LÉON et M. REMOUE (1981). « Quelques aspects de l'influence du milieu édaphique sur l'enracinement de la vigne, conséquences sur la qualité du vin ». In : *Science du sol* 2.
- AURIAC, F. (1979). « Système économique et espace Un exemple en Languedoc ». Thèse de doctorat. Montpellier, France : université Paul Valéry.
- (2000). *Système économique et espace : le vignoble languedocien*. Paris : Economica. 221 p. ISBN : 9782717806168.
- AXELROD, R. M. (1997). *The complexity of cooperation : Agent-based models of competition and collaboration*. Princeton University Press.
- AXELROD, R. et M. D. COHEN (2001). *Harnessing Complexity*. Édition : Reprint. New York : Basic Books. 208 p. ISBN : 9780465005505.
- AXTELL, R. L., J. M. EPSTEIN, J. S. DEAN, G. J. GUMERMAN, A. C. SWEDLUND, J. HARBURGER, S. CHAKRAVARTY, R. HAMMOND, J. PARKER et M. PARKER (2002). « Population growth and collapse in a multiagent model of the Kayenta Anasazi in Long House Valley ». In : *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99 (suppl 3), p. 7275–7279. ISSN : 0027-8424, 1091-6490. DOI : 10.1073/pnas.092080799.
- AY, J.-S. et J. LE GALLO (2015). « Unobserved terroir effects and the hedonics of geographical indications : Evidence from vineyard sales in Burgundy (France) ». séminaire EFIP de l'ESG Management School. Paris.
- AYDALOT, P. (1984). *Crise & espace*. Paris (France) : Economica.
- AYMARD, M. (1973). « Andrea Caizzi, Terra, vigneto e uomini nelle colline novaresi durante l'ultimo secolo. » In : 51.1, p. 139–140.
- BAEZA, P., P. SÁNCHEZ-DE-MIGUEL, A. CENTENO, P. JUNQUERA, R. LINARES et J. R. LISSARRAGUE (2007). « Water relations between leaf water potential, photosynthesis and agronomic vine response as a tool for establishing thresholds in irrigation scheduling ». In : 114.3, p. 151–158. ISSN : 0304-4238. DOI : 10.1016/j.scienta.2007.06.012.
- BALACHOWSKY, A. S. et L. MESNIL (1935). *Les insectes nuisibles à la vigne*. Dans : *Les Insectes nuisibles aux Plantes Cultivées*. L. Méry. Paris, France. 1138 p.

- BANKS, J. (1999). « Introduction to simulation ». In : *Simulation Conference Proceedings, 1999 Winter*. T. 1. New York : ACM Press, p. 7–13. ISBN : 0780357809. DOI : 10.1145/324138.324142.
- BANOS, A. (2010). « La simulation à base d’agents en sciences sociales : une béquille pour l’esprit humain ? » In : *Nouvelles perspectives en sciences sociales : Revue internationale de systémique complexe et d’études relationnelles* 5.2, p. 91–100.
- (2013). « Pour des pratiques de modélisation et de simulation libérées en géographie et SHS. » Habilitation à diriger des recherches. Paris (France) : Universite De Paris I–Pantheon-Sorbonne. 106 p.
- BANOS, A., N. CORSON, B. GAUDOU, V. LAPÉRRIÈRE et S. REY COYREHOURCQ (2014). « MicMac, épidémie dans un réseau de villes, systèmes d’équations différentielles et réseaux ». In : *Recueil de fiches pédagogiques du réseau MAPS - Modélisation multi-Agents appliquée aux Phénomènes Spatialisés - 2009 - 2014*. Sous la dir. de C. MAPS. Collectif MAPS, p. 107–135.
- BANOS, A., D. MORENO, C. PIVANO et P. TAILLANDIER (2011). « Christaller, toujours vivant ! » In : *Cybergeo : European Journal of Geography*. ISSN : 1278-3366.
- BANOS, A. et L. SANDERS (2013). « Modéliser et simuler les systèmes spatiaux en géographie ». In : *Modéliser & simuler*. Sous la dir. de F. VARENNE et M. SILBERSTEIN. Edition Matériologiques. T. 2. 2 t. Collection Sciences & Philosophie. Paris (France), p. 839–869. ISBN : 9782919694389.
- BARRETEAU, O. (2003a). « Our Companion Modelling Approach ». In : *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 6.1.
- (2003b). « Our Companion Modelling Approach ». In : *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 6.1.
- BARTOLI, P. (1989). « Dynamique et régulation de la sphère agro-alimentaire : l’exemple viticole ». Thèse de doct. Montpellier 1.
- BEAUDE, B. (2012). *Internet, changer l'espace, changer la société : Les logiques contemporaines de synchorisation*. Limoges, France : FYP éditions. 256 p. ISBN : 9782916571690.
- BECATTINI, G. (1979). « Dal settore industriale al distretto industriale. Alcune considerazioni sull’unità di indagine dell’economia industriale ». In : *Rivista di economia e politica industriale* 1.1, p. 8.
- (2004). *Industrial districts : a new approach to industrial change*. Northampton, MA : Edward Elgar. ISBN : 1843763257 9781843763253.
- BECATTINI, G. (1992). « Le district marshallien : une notion économique ». In : *Les régions qui gagnent*. Paris : PUF, p. 35–55.
- BECU, N., A. NEEF, P. SCHREINEMACHERS et C. SANGKAPITUX (2008). « Participatory computer simulation to support collective decision-making : potential and limits of stakeholder involvement ». In : *Land Use Policy* 25.4, p. 498–509.

-
- BECU, N., P. PEREZ, A. WALKER, O. BARRETEAU et C. L. PAGE (2003). « Agent based simulation of a small catchment water management in northern Thailand : description of the CATCHSCAPE model ». In : *Ecological Modelling* 170.2, p. 319–331.
- BECU, N., C. RAIMOND, E. GARINE, M. DECONCHAT et K. KOKOU (2014). « Coupling Environmental and Social Processes to Simulate the Emergence of a Savannah Landscape Mosaic Under Shifting Cultivation and Assess its Sustainability ». In : *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 17.1, p. 1. ISSN : 1460-7425.
- BÉRARD, L. et P. MARCHENAY (2007). *Produits de terroir - Comprendre et agir*. CNRS. Ressources des terroirs.
- BERGER, G. (1967). « L'attitude prospective ». In : *Etapes de la prospective*. Sous la dir. de G. BERGER et J. DARDET. Paris (France) : PUF, p. 27–34.
- BERNARD, C. et F. DAGOGNET (1865). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. réédition Flammarion 2013. Paris : J.B. Baillière et Fils. ISBN : 9782081307582.
- BERQUE, A. (1995). « Espace, milieu, paysage, environnement ». In : *Encyclopédie de géographie*. ed. Economica. Paris, p. 349–367.
- (1999). « Géogrammes, pour une ontologie des faits géographiques ». In : *Espace géographique* 28.4, p. 320–326.
- (2005). « La forclusion du travail médial ». In : *L'Espace géographique* 34.1, p. 81–90. ISSN : 0046-2497.
- BERTALANFFY, L. V. (2012). *Théorie générale des systèmes*. Paris : Dunod. 328 p. ISBN : 9782100583003.
- BERTHELOT, J.-M., éd. (2012). *Epistémologie des sciences sociales*. Paris : Presses Universitaires de France - PUF. 594 p. ISBN : 9782130607243.
- BERTRAND, C. et G. BERTRAND (2002). *Une géographie traversière : l'environnement à travers territoires et temporalités*. Paris : Editions Arguments. 311 p. ISBN : 2909109275.
- BERTRAND, G. et C. BERTRAND (1995). « La géographie et les sciences de la nature ». In : *Encyclopédie de géographie*. ed. Economica. Paris, p. 91–109.
- BESNIER, J.-M. et J. PERRIAULT (2013). « Introduction générale ». In : *Hermès, La revue* 3.67.
- BIRCHALL, J. et L. H. KETILSON (2009). *Resilience of the Cooperative Business Model in Times of Crisis*. Also published in Italian, Mizo, and Greek. Geneva : International Labour Organisation.
- BIVAND, R., T. KEITT et B. ROWLINGSON (2013). *rgdal : Bindings for the Geospatial Data Abstraction Library*. R package version 0.8-10.
- BLANCHARD, R. (1930). « La répartition de la vigne dans les Alpes françaises ». In : *Revue de géographie alpine* 18.2, p. 219–260. ISSN : 0035-1121.
- BOIS, B. (2007). « Cartographie agroclimatique à méso-échelle : méthodologie et application à la variabilité spatiale du climat en Gironde viticole. Conséquences pour le

- développement de la vigne et la maturation du raisin ». Thèse de doct. Bordeaux : Université Sciences et Technologies-Bordeaux I.
- BOLTZMANN, L. E. (1902). « Model ». In : p. 788–791.
- BOMMEL, P. (2009). « Définition d'un cadre méthodologique pour la conception de modèles multi-agents adaptée à la gestion des ressources renouvelables ». Thèse de doct. Université Montpellier II-Sciences et Techniques du Languedoc.
- BONARDI, L. (2010). « Les paysages viticole en terrasses : des espaces de convergence ». In : L. Bonardi. Centre George Chevrier, p. 129–140. ISBN : 978-2-918173-09-0.
- BONIN, M. (2001). « Nouvelles fonctions de l'agriculture et dynamiques des exploitations ». In : 62.
- BONNEFOY, C., H. QUÉNOL, G. BARBEAU, M. MADELIN *et al.* (2009). « Analyse Multi scalaire des températures dans le vignoble du Val de Loire ». In : p. 85–90.
- BÖRJESON, L., M. HÖJER, K.-H. DREBORG, T. EKVALL et G. FINNVEDEN (2006). « Scenario types and techniques : Towards a user's guide ». In : 38.7, p. 723–739. ISSN : 0016-3287. DOI : 10.1016/j.futures.2005.12.002.
- BORT, F. (2003). « Du rouge au terroirs : De la tactique coopérative à la coopération tactique ». In : TOUZARD, J.-M., J.-F. DRAPERI et COLLECTIF. *Les coopératives entre territoires et mondialisation*. Editions L'Harmattan. ISBN : 2747551237.
- BOUDON, R. (1991). « Chapitre 2. Individualisme et holisme dans les sciences sociales ». In : *Références*, p. 45–59.
- BOUDON, R. (2004). *La place du désordre : Critique des théories du changement social*. 3e édition. Paris : PUF. ISBN : 9782130534754.
- BOUDON, R. et R. FILLIEULE (2012). *Les méthodes en sociologie*. 13e édition mise à jour. Que sais-je ? 1334. Paris : Presses universitaires de France. ISBN : 978-2-13-060633-8.
- BOULET, D. (1973). « La coopération agricole en question ». In : *Revue d'étude coopérative* 172.
- BOUSQUET, F., I. BAKAM, H. PROTON et C. L. PAGE (1998). « Cormas : Common-pool resources and multi-agent systems ». In : *Tasks and Methods in Applied Artificial Intelligence*. Sous la dir. d'A. P. d. POBIL, J. MIRA et M. ALI. Lecture Notes in Computer Science 1416. Springer Berlin Heidelberg, p. 826–837. ISBN : 978-3-540-64574-0, 978-3-540-69350-5.
- BOVEY, P. (1966). « Super-famille des Tortricidae ». In : BALACHOWSKY, A. S. *Entomologie Appliquée à l'Agriculture*. Masson et Cie. T. 2. 2 t. Paris, France, p. 456–893.
- BOWLES, S. et H. GINTIS (2002). « Origins of human cooperation ». In : HAMMERSTEIN, P. *Genetic and cultural evolution of cooperation*. Massachusetts Institute of Technology and Freie Universität Berlin. Dahlem workshop report. London, (England).

-
- BREGON, C. et E. DELAY (2009). « Valorisation de la viticulture héroïque : de la communication à la gestion du territoire ». mémoire de Master 1. Limoges : Université de Limoges. 124 p.
- BRIAN, J. et L. BERRY (1964). « Approaches to regional analysis : a synthesis ». In : *Annals of the Association of American Geographers* 54.1, p. 2–11.
- BRIAND, F. (2009). « Les phéromones sexuelles : utilisées comme moyen de lutte, évaluation de leur efficacité et mesure de leur impact physiologique sur les vers de la grappe ». Thèse de doct. Neuchâtel : Université de Neuchâtel. 194 p.
- BRICHE, E., G. BELTRANDO, S. SOMOT et H. QUENOL (2014). « Critical analysis of simulated daily temperature data from the ARPEGE-climate model : application to climate change in the Champagne wine-producing region ». In : *Climatic Change* 123.2, p. 241–254. ISSN : 0165-0009, 1573-1480. DOI : 10.1007/s10584-013-1044-5.
- BRIDIER, S., H. QUÉNOL, G. BELTRANDO *et al.* (2004). « Simulation du potentiel de refroidissement en situation radiative : application aux terroirs des Fonds de Sillery dans le vignoble de Champagne ». In : p. 119–132.
- BRIFFAUD, S. et B. DAVASSE (2012). « Du bon usage du passé des paysages. Récits paysagers et durabilité dans trois sites viticoles européens du patrimoine mondial (Tokaj, Saint-Émilion, Cinque Terre) ». In : *Paysage et développement durable*. Sous la dir. de T. D. LUGINBÜHL Y. Éditions Quæ, p. 171–183.
- BRUNET, R. et H. THÉRY (1993). *Les mots de la géographie : dictionnaire critique*. Montpellier ; Paris : Reclus ; Documentation française. 518 p. ISBN : 2110030364 9782110030368.
- BRUNET, R. (1980). « La composition des modèles dans l'analyse spatiale ». In : *Espace géographique* 9.4, p. 253–265. ISSN : 0046-2497. DOI : 10.3406/spgeo.1980.3572.
- BRUNET, R. et O. DOLLFUS (1990). *Mondes nouveaux*. Géographie universelle. Paris , France : Hachette. ISBN : 2-7011-1665-1.
- BUTTROSE, M. S., C. R. HALE et W. M. KLIEWER (1971). « Effect of Temperature on the Composition of 'Cabernet Sauvignon' Berries ». In : *American Journal of Enology and Viticulture* 22.2, p. 71–75. ISSN : 0002-9254,
- CACHO, O. J., D. SPRING, S. HESTER et R. MAC NALLY (2010). « Allocating surveillance effort in the management of invasive species : A spatially-explicit model ». In : *Environmental Modelling & Software* 25.4, p. 444–454. ISSN : 1364-8152. DOI : 10.1016/j.envsoft.2009.10.014.
- CAFFARRA, A., M. RINALDI, E. ECCEL, V. ROSSI et I. PERTOT (2012). « Modelling the impact of climate change on the interaction between grapevine and its pests and pathogens : European grapevine moth and powdery mildew ». In : *Agriculture, Ecosystems & Environment* 148, p. 89–101. ISSN : 0167-8809. DOI : 10.1016/j.agee.2011.11.017.

- CAPITAIN, M. et M. BENOÎT (2001). « Territoires des exploitations et finages : mutations lorraines ». In : 62.2, p. 6–9.
- CARBONNEAU, A., A. DELOIRE et B. JAILLARD (2007). *Viticulture :La vigne : Physiologie, terroir, culture*. Dunod. ISBN : 210049998X.
- CAREY, V., E. ARCHER, G. BARBEAU et D. SAAYMAN (2008). « Viticultural terroirs in Stellenbosch, South Africa : The interaction of Cabernet Sauvignon and Sauvignon blanc with environment ». In : 42.4, p. 185–201.
- CAREY, V., E. ARCHER et D. SAAYMAN (2002). « Natural terroir units : What are they ? How can they help the wine farmer ? » In : 151, p. 12–14.
- CASILLI, A., J. ROUCHIER et P. TUBARO (2014). « How to Build Consensus in a Health-Oriented Online Community : Modeling a "Pro-Ana" Forum ». In : *Revue Française de Sociologie* 55.4, p. 731–762.
- CHAPOULAR, D. (2013). « Mise en place de la réforme des appellations sur le cru Banyuls Collioure : une approche par le terroir ». Mémoire d'Ingénieur. Toulouse, France : INP Purpan. 124 p.
- CHEMOLLI, M., E. BONA, C. TONON, U. MALOSSINI et M. BOTTURA (2011). *La tutela della vitivinicoltura in Trentino*. Provincia autonoma di Trento.
- CHEVALLIER, M. (2014). « Le statut coopératif : un stabilisateur garant de l'entreprise comme institution ». In : *Revue française de socio-Economie* 2, p. 231–242.
- CHIFFOLEAU, Y. (1998). « La "Révolution qualité" en milieu coopératif viticole languedocien ». In : *Pôle Sud* 9.1, p. 111–124.
- CHIFFOLEAU, Y. (1999). « La pluriactivité en coopération viticole : une chance pour l'emploi en Languedoc-Roussillon ? » In : 253.1, p. 95–98.
- CHRISTALLER, W. (1966). *Central Places in Southern Germany*. Prentic-Hall.
- CLAVAL, P. (1977). *La nouvelle géographie*. Que sais-je ? 1693. Paris : Presses universitaires de France.
- (2003). *La géographie du XXIe siècle*. Paris : Editions L'Harmattan. ISBN : 9782747537650.
- COLLETIS, G. et B. PECQUEUR (1993). « Intégration des espaces et quasi-intégration des firmes : vers de nouvelles rencontres productives ». In : *Revue d'économie régionale et urbaine* 3, p. 489–507.
- COMTE, A. (1830). *La science sociale*. réédition 1972. Idées 261. Paris : Gallimard.
- CONSTANS, M. (2010). « Le patrimoine paysager viticole de Banyuls entre reconstruction et destruction ». In : *Rencontres du Clos-Vougeot 2009*. Clos-Vougeot : Chaire UNESCO Culture et tradition du vin. ISBN : 978-2-918173-09-0.
- CONTE, R. (2000). « The necessity of intelligent agents in social simulation ». In : *Advances in Complex Systems* 03.1, p. 19–38. ISSN : 0219-5259. DOI : 10.1142/S0219525900000030.

-
- COOK, M. L. (1995). « The Future of U.S. Agricultural Cooperatives : A Neo-Institutional Approach ». In : 77.5, p. 1153–1159. ISSN : 0002-9092, 1467-8276. DOI : 10.2307/1243338.
- COOPERATIVE, I. A. (1995). « Déclaration sur l'identité coopérative ». Manchester.
- COOPÉRATIVES VINICOLES DE FRANCE, C. des (2014). *CCVF - Vignerons Coopérateurs de France*. URL : <http://www.vignerons-cooperateurs.coop/fr/index.html> (visité le 02/01/2015).
- COQUILLARD, P. et R. HILL (1997). *Modélisation et simulation d'écosystèmes : Des modèles déterministes aux simulations à événements discrets*. Dunod. ISBN : 2225853630.
- COSSU, Q. A., G. DELRIO, G. DI COLA et G. GILIOLI (1999). *Modelli matematici nella protezione integrata delle colture in Sardegna*. Nota Tecnica 3. Servizio agrometeorologico regionale per la Sardegna (IS), Servizio agrometeorologico regionale per la Sardegna.
- COTS-FOLCH, R., J. A. MARTÍNEZ-CASASNOVAS et M. C. RAMOS (2006). « Land terracing for new vineyard plantations in the north-eastern Spanish Mediterranean region : Landscape effects of the EU Council Regulation policy for vineyards' restructuring ». In : 115.1, p. 88–96. ISSN : 0167-8809. DOI : 10.1016/j.agee.2005.11.030.
- COUDERC, J.-P., H. HANNIN, F. d. HAUTEVILLE, E. MONTAIGNE et COLLECTIF (2007). *Bacchus 2008 : Enjeux, stratégies et pratiques dans la filière vitivinicole*. Paris : Dunod. ISBN : 9782100500000.
- COURLET, C. et B. PECQUEUR (1991). « Systèmes locaux d'entreprises et externalités : un essai de typologie ». In : *Revue d'économie régionale et urbaine* 3.4, p. 391–406.
- CSARDI, G. et T. NEPUSZ (2006). « The igraph software package for complex network research ». In : *InterJournal Complex Systems*, p. 1695.
- DAMOS, P. T. et M. SAVOPOULOU-SOULTANI (2010). « Development and statistical evaluation of models in forecasting moth phenology of major lepidopterous peach pest complex for Integrated Pest Management programs ». In : *Crop Protection* 29.10, p. 1190–1199. ISSN : 0261-2194. DOI : 10.1016/j.cropro.2010.06.022.
- DAUDÉ, E. et P. LANGLOIS (2007). « Comparison of Three Implementations of Schelling's Spatial Segregation model ». In : PHAN, D. et F. AMBLARD. *Agent-based Modelling and Simulation in the Social and Human Sciences*. Oxford : The Bardwell Press, p. 295–326. ISBN : 9781905622016.
- DE GEUS, A., J. LESOURNE, C. STOFFAËS, M. GODET, A.-E. SAAB et P. SCHWARTZ (1996). « L'avenir est pluriel ». In : *La prospective stratégique d'entreprise : concepts et études de cas*. 2e Edition Dunod. Interéditions, p. 165–187.
- DEGEN, T., A. CHEVALLIER et S. FISCHER (2005). « Evolution de la lutte phéromonale contre les vers de la grappe ». In : *Revue suisse de Viticulture, Arboriculture, Horticulture* 37.5, p. 273–280.

- DELAY, E. et F. ZOTTELE (2012). « Zoning mountain landscapes for a valorisation of high identity products ». In : *IX International Terroir congress*. IX International Terroir congress. T. 1. Dijon / Reims, p. 2–13, 2–16.
- DELAY, E. (2011). « La dialectique du système : identifier statistiquement des territoires viticoles de terrasse, pour valoriser la viticulture héroïque ». Master 2. Limoges : Faculté des lettres et sciences humaines. 138 p.
- (2013). « Du paysage au terroir viticole de forte pente : à la recherche des leviers du management territorial ». In : 9, p. 1–18.
- DELAY, E., J. BOURGOIN, F. ZOTTELE et D. ANDREIS (2012). « LAME : un outil pour comprendre les dynamiques spatiales des territoires viticoles de montagne ». In : *IV congrès international de la viticulture de montagne et de forte pente*. Lyon, p. 80–85.
- DELAY, E. et M. CHEVALLIER (2015). « Roger Dion, toujours vivant ! » In : *Cybergeo : European Journal of Geography*.
- DELAY, E., M. CHEVALLIER, C. PIOU et É. ROUVELLAC (2014). « Modélisation sur le temps long des facteurs de qualité du vin ». In : *Xth International Terroirs Congress*. Xth International Terroirs congress. T. 1. Tokaji-Eger, p. 218–224.
- DELAY, E. et F. MARCELIN (2014). « Les territoires viticoles, entre espace d'innovation et innovation d'espaces ». In : *Vin, innovation et mondialisation : enjeux et perspectives. Vin, innovation et mondialisation : enjeux et perspectives*. Toulouse, France, p. 1–13.
- DELAY, E., R. REULIER, A. GAUDIEUX, H. THIERRY, M. AMALRIC, A. BANOS et M. DE-BONLINI (2014). « Modèle Sisbio : Les apports d'un automate cellulaire au territoire ». In : *Receuil de fiches pédagogiques du réseau MAPS*. T. 1, p. 197–217.
- DELAY, E. et F. VINATIER (2015). « La mobilisation des services écosystémiques comme cadre conceptuel pour une approche intégrée des paysages viticoles méditerranéens ». Les rencontres du végétales. Angers.
- DELAY, J. et P. DENIKER (1957). « Caractéristiques psycho-physiologiques des médicaments neuroleptiques ». In : *Psychotropic drugs*, p. 485–501.
- DELBAC, L., P. LECHARPENTIER et D. THIERY (2010). « Larval instars determination for the European Grapevine Moth (Lepidoptera : Tortricidae) based on the frequency distribution of head-capsule widths ». In : *Crop Protection* 29.6, p. 623–630. ISSN : 0261-2194. DOI : 10.1016/j.cropro.2010.01.009.
- DELOIRE, A., E. VAUDOUR, V. CAREY, V. BONNARDOT et C. VAN LEEUWEN (2005). « Grapevine responses to terroir : a global approach ». In : 39.4, p. 149–162.
- DEMOSSIER, M. (2001). « Territoires, produits et identités en mutation : Les Hautes-Côtes en Bourgogne viticole ». In : 8.
- DÉRIOZ, P. (2004). « Le paysage, une ressource territoriale emblématique mais ambiguë ». In : *Montagnes Méditerranéennes, La notion de ressource territoriale*. T. Actes du col-

-
- loque 'La notion de ressource territoriale', Domaine Olivier de Serres, Le Pradel, 14-15, p. 155–163.
- DERRUAU, M. (1949). « La Grande-Limagne auvergnate et bourbonnaise ». Thèse de doct. Clermont-Ferrand. 540 p.
- DESCARTES, R. (1637). *Discours de la méthode*. réédition 1978. Paris : Flammarion. ISBN : 9782080710918.
- DI MÉO, G. (1998). « De l'espace aux territoires : éléments pour une archéologie des concepts fondamentaux de la géographie ». In : 62.3, p. 99–110. ISSN : 0020-0093. DOI : 10.3406/ingeo.1998.2586.
- DILTHEY, W. (1942). *Introduction à l'étude des sciences humaines*. Presses universitaires de France.
- DIÓN, R. (1952). « Querelle des anciens et des modernes sur les facteurs de la qualité du vin ». In : 61.328, p. 417–431. ISSN : 0003-4010. DOI : 10.3406/geo.1952.13718.
- (1959). *Histoire de la vigne et du vin en France des origines au XIXe siècle*. Paris : Clavreuil.
- DOUENCE, H. (2009). « Regard méthodologique sur les paysages viticoles ». In :
- DRAPERI, J.-F. (2003). « La coopération face aux nouvelles attentes de la société ». In : TOUZARD, J.-M., COLLECTIF et J.-F. DRAPERI. *Les coopératives entre territoires et mondialisation*. Editions L'Harmattan, p. 77–90. ISBN : 2747551237.
- DRAPERI, J.-F. et J.-M. TOUZARD (2003). « De Maraussan 1901 à Maraussan 2001 : coopératives, territoires et mondialisation ». In : *Les coopératives entre territoires et mondialisation*. Editions L'Harmattan, p. 77–90. ISBN : 2747551237.
- DROGOUL, A. et A. COLLINOT (1997). « Entre réductionnisme méthodologique et stratégie intentionnelle, l'éthologie, un modèle alternatif pour l'I.A.D. » In : *5e Journées francophones d'intelligence artificielle et systèmes multi-agents*. 5e Journées francophones d'intelligence artificielle et systèmes multi-agents. La Colle-sur-Loup : Hermes. ISBN : 286601605X.
- DUCHÈNE, E., G. BUTTERLIN, V. DUMAS et D. MERDINOGLU (2012). « Towards the adaptation of grapevine varieties to climate change : QTLs and candidate genes for developmental stages ». In : *TAG. Theoretical and applied genetics. Theoretische und angewandte Genetik* 124.4, p. 623–635. ISSN : 1432-2242. DOI : 10.1007/s00122-011-1734-1.
- DUNJÓ, G., G. PARDINI et M. GISPERT (2003). « Land use change effects on abandoned terraced soils in a Mediterranean catchment, NE Spain ». In : 52.1, p. 23–37. ISSN : 0341-8162. DOI : 10.1016/S0341-8162(02)00148-0.
- DURAND-DASTÈS, F. (2003). « Les géographes et la notion de causalité ». In : p. 145–160.

- EDMONDS, B. (2007). « Simplicity is Not Truth-Indicative ». In : GERSHENSON, C., D. AERTS et B. EDMONDS. *Philosophy and Complexity*. Singapore : World Scientific. ISBN : 978-981-270-548-8.
- (2015). « Using Qualitative Evidence to Inform the Specification of Agent-Based Models ». In : *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 18.1, p. 18. ISSN : 1460-7425.
- EDMONDS, B. et S. MOSS (2005). *From KISS to KIDS—an ‘anti-simplistic’modelling approach*. Springer.
- ENJALBERT, H. (1953). « Comment naissent les grands crus : Bordeaux, Porto, Cognac (Première partie) ». In : *Annales. Économies, Sociétés, Civilisations* 8.3, p. 315–328. ISSN : 0395-2649. DOI : 10.3406/ahess.1953.2182.
- EPSTEIN, J. M. et R. AXTELL (1996). *Growing Artificial Societies : Social Science from the Bottom Up*. First Edition. MIT Press. ISBN : 0262550253.
- ETIENNE, M. et COLLECTIF (2010). *La modélisation d’accompagnement : une démarche participative en appui au développement durable*. Versailles : Quae éditions. 367 p. ISBN : 9782759206209.
- FALCETTI, M., C. DE BIASI, C. ALDRIGHETTI, P. MOLINARI, E. A.C.COSTANTINI et S. PINZAUTI (2007). *Atlante viticolo della valle di Cembra*. Cantina La Vis eValle di Cembra. Trento (Italie).
- FAUCON, F. et L. RIEUTORT (2010). « Le renouveau d'un "petit" vignoble et ses limites : l'exemple des Côtes d'Auvergne. » In : *Faire vivre le terroir :Hommage au professeur Philippe Roudié*. PU Bordeaux. ISBN : 286781586X.
- FERBER, J. (1995). *Les systèmes multi-agents :Vers une intelligence collective*. InterEditions. 522 p. ISBN : 272960572X.
- FIELD, C. B., V. R. BARROS, K. MACH et M. MASTRANDREA (2014). *Climate change 2014 : impacts, adaptation, and vulnerability*. Cambridge, United Kingdom et New York, NY, USA : Cambridge University Press, p. 1–76.
- FISHER, R. A. (1925). *Statistical methods for research workers*. Genesis Publishing Pvt Ltd.
- FORRESTER, J. W. (1969). *Urban dynamics*. Cambridge, (Mass) : MIT press.
- FOUCAULT, M. (2008). *L’archéologie du savoir*. Paris : Gallimard. ISBN : 9782070119875 2070119874.
- FRANCEAGRIMER et DYOPTA (2014). *Observatoire de la viticulture française*. URL : <http://www.observatoire-viti-france.com/> (visité le 27/12/2014).
- FRANÇOIS, H., M. HIECZAK et N. SENIL (2006). « Territoire et patrimoine : la co-construction d'une dynamique et de ses ressources ». In : *Revue d’Économie Régionale & Urbaine* 5, p. 683.
- FREGONI, M. (1998). *Viticoltura di qualita*. Edizioni l’informatore Agrario S.r.l. Verona.

-
- FRÉMONT, A. (1976). *La région, espace vécu*. Réédition de 2009. Flammarion. ISBN : 2081218720.
- FUNTOWICZ, S. O. et J. R. RAVETZ (1993). « Science for the post-normal age ». In : *Futures* 25.7, p. 739–755. ISSN : 0016-3287. DOI : 10.1016/0016-3287(93)90022-L.
- GALET, P. (1982). *Les Maladies et les parasites de la vigne Tome 2. Les Parasites animaux - Pierre Galet*. Editions Paysans du midi. T. 2. 2 t. Montpellier, France : Galet. 1870 p.
- GARCÍA-RUIZ, J. M. et N. LANA-RENAULT (2011). « Hydrological and erosive consequences of farmland abandonment in Europe, with special reference to the Mediterranean region – A review ». In : 140.3, p. 317–338. ISSN : 0167-8809. DOI : 10.1016/j.agee.2011.01.003.
- GARDNER, M. (1970). « Mathematical games : The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game “life” ». In : *Scientific American* 223.4, p. 120–123.
- GENTELLE, P. (1995). « Géographie et archéologie ». In : *Encyclopédie de géographie*. Economica. Paris, p. 203–215.
- GHORBANI, A., G. DIJKEMA et N. SCHRAUWEN (2015). « Structuring Qualitative Data for Agent-Based Modelling ». In : *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 18.1, p. 2. ISSN : 1460-7425.
- GIDE, C. et L. L. e. L. TENIN (2014). *Économie sociale*. Hachette Livre BNF. 474 p. ISBN : 9782013484435.
- GILBERT, G. N. et R. CONTE, éds. (1995). *Artificial societies : the computer simulation of social life*. London : UCL Press. ISBN : 1857283058 9781857283051.
- GILBERT, N. (1995a). « Emergence in social simulation ». In : *Autonomous Societies : The computer simulation of social life*, p. 144–156.
- (1995b). « Simulation : an emergent perspective ». In : *Conference on New Technologies in the Social Sciences*, p. 27–29.
- GILBERT, N. et K. G. TROITZSCH (2005). *Simulation For The Social Scientist*. 2nd Revised edition. Open University Press. ISBN : 0335216005.
- GIRARD, M.-C. et C.-M. GIRARD (2010). *Traitements des données de télédétection - 2ème édition - Environnement et ressources naturelles*. 2e édition. Dunod. ISBN : 9782100548507.
- GODET, M. (1985). *Prospective et planification stratégique*. Economica. CPE-Economica. Paris (France).
- (2014a). *Manuel de prospective stratégique : l'art et la méthode*. 3e Edition. T. 2. 2 t. Paris : Dunod. ISBN : 2100082582 9782100082582.
- (2014b). *Manuel de prospective stratégique : Une indiscipline intellectuelle*. 3e Edition. T. 1. 2 t. Paris : Dunod. ISBN : 2100082582 9782100082582.
- GODET, M., P. DURANCE et M. MOUSLI (2010). *Libérer l'innovation dans les territoires*. Paris : la Documentation française. 172 p. ISBN : 978-2-11-008259-6.

- GOFFIN, L. (1998). « L'environnement comme éco-socio-système ». In : *Populations et développements : une approche globale et systémique*. Louvain-La-Neuve et Paris : Academia Bruylant et l'‘Harmattan, p199–230.
- GOULET, E. et R. MORLAT (2011). « The use of surveys among wine growers in vineyards of the middle-Loire Valley (France), in relation to terroir studies ». In : 28.4, p. 770–782. ISSN : 0264-8377. DOI : 10.1016/j.landusepol.2011.01.003.
- GOUX-BAUDIMENT, F. (2000). *Donner du futur aux territoires : guide de prospective territoriale à l'usage des acteurs locaux*. Collection du Certu. Paris, France : Ministère de l'équipement, des transports et du logement.
- GRIGNARD, A., P. TAILLANDIER, B. GAUDOU, D. A. VO, N. Q. HUYNH et A. DROGOUL (2013). « GAMA 1.6 : Advancing the Art of Complex Agent-Based Modeling and Simulation ». In : *PRIMA 2013 : Principles and Practice of Multi-Agent Systems*. Sous la dir. de G. BOELLA, E. ELKIND, B. T. R. SAVARIMUTHU, F. Dignum et M. K. PURVIS. Lecture Notes in Computer Science 8291. Springer Berlin Heidelberg, p. 117–131. ISBN : 978-3-642-44926-0, 978-3-642-44927-7.
- GRIMM, V., U. BERGER, F. BASTIANSEN, S. ELIASSEN, V. GINOT, J. GISKE, J. GOSS-CUSTARD, T. GRAND, S. HEINZ, G. HUSE, A. HUTH, J. U. JEPSEN, C. JØRGENSEN, W. M. MOOIJ, B. MÜLLER, G. PE’ER, C. PIOU, S. F. RAILSBACK, A. M. ROBBINS, M. M. ROBBINS, E. ROSSMANITH, N. RÜGER, E. STRAND, S. SOUSSI, R. A. STILLMAN, R. VABØ, U. VISSER et D. L. DEANGELIS (2006). « A standard protocol for describing individual-based and agent-based models ». In : *Ecological Modelling* 198.1, p. 115–126. ISSN : 0304-3800. DOI : 10.1016/j.ecolmodel.2006.04.023.
- GRIMM, V., U. BERGER, D. DEANGELIS, J. POLHILL, J. GISKE et S. RAILSBACK (2010). « The ODD protocol :A review and first update ». In : *Ecological Modelling* 221.23, p. 2760–2768.
- GRIMM, V., E. REVILLA, U. BERGER, F. JELTSCH, W. M. MOOIJ, S. F. RAILSBACK, H.-H. THULKE, J. WEINER, T. WIEGAND et D. L. DEANGELIS (2005). « Pattern-Oriented Modeling of Agent-Based Complex Systems : Lessons from Ecology ». In : *Science* 310.5750, p. 987–991. ISSN : 0036-8075, 1095-9203. DOI : 10.1126/science.1116681.
- GROVE, A. T. et O. RACKHAM (2003). *The Nature of Mediterranean Europe : An Ecological History*. Yale University Press. ISBN : 0300100558.
- GRUBER, T. (2009). « Ontology ». In : *Encyclopedia of database systems*, p. 1963–1965.
- GUIGOU, J.-L., P. MUSSO, P. VELTZ, H. LE BRAS, M. MORVAN, C. LACOUR, J. VIARD, D. PARTHENAY, A. AZÉMA, A. DELAMARRE, M. GLATRON, O. MOULIN, J. PEYRONY, G. RIBIÈRE et N. PORTIER (2000). « Aménager la France de 2020 ». In : *DATAR, La Documentation Française, Paris*, p. 87. ISSN : 2-11-004630-9.

-
- GUILLEMOT, H. (2014). « Les désaccords sur le changement climatique en France : au-delà d'un climat bipolaire ». In : *Natures Sciences Sociétés* 22.4, p. 340–350. ISSN : 1240-1307, 1765-2979. DOI : 10.1051/nss/2014047.
- GUMUCHIAN, H. et B. PECQUEUR (2007). *La ressource territoriale*. 1 t. Paris : Economica. 252 p. ISBN : 2-7178-5253-0.
- HANNAH, L., P. R. ROEHRDANZ, M. IKEGAMI, A. V. SHEPARD, M. R. SHAW, G. TABOR, L. ZHI, P. A. MARQUET et R. J. HIJMANS (2013). « Climate change, wine, and conservation ». In : *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110.17, p. 6907–6912. ISSN : 0027-8424, 1091-6490. DOI : 10.1073/pnas.1210127110.
- HANNIN, H., F. BRUGIÈRE et P. AIGRAIN (2010). « Mutation et perspective de la filière vitivinicole ». In : *La vigne et le vin : mutations économiques en France et dans le monde*. T. 1. La documentation française 5323. Paris : la Documentation française.
- HANNIN, H., J.-P. COUDERC, F. D'HAUTEVILLE et E. MONTAIGNE (2010). *La vigne et le vin*. 5323. La Documentation française. 240 p.
- HARRISON, G. W. et J. A. LIST (2004). « Field experiments ». In : *Journal of Economic Literature*, p. 1009–1055.
- HE, Y. et B. AINSEBA (2014). « Exact null controllability of the Lobesia botrana model with diffusion ». In : *Journal of Mathematical Analysis and Applications* 409.1, p. 530–543. ISSN : 0022-247X. DOI : 10.1016/j.jmaa.2013.07.020.
- HERRERO-LANGREO, A., B. TISSEYRE, J.-P. GOUTOULY, T. SCHOLASCH et C. v. LEEUWEN (2013). « Mapping Grapevine (*Vitis vinifera* L.) Water Status during the Season Using Carbon Isotope Ratio ($\delta^{13}\text{C}$) as Ancillary Data ». In : *American Journal of Enology and Viticulture* 64.3, p. 307–315. ISSN : 0002-9254, DOI : 10.5344/ajev.2013.12125.
- HINNEWINKEL, J.-C. (2003). « Résistances et adaptations : Le renouveau des vignobles de montagne en Europe de l'Ouest, un bel exemple d'efficacité des appellations face à la mondialisation ou à quelles conditions le maintien d'une viticulture de montagne est-il envisageable ? » In : *Crise et mutation des agricultures de montagne*. CERMAC. Clermont-Ferrand (France) : Presses Univ Blaise Pascal, p. 399–408.
- (2004). *Les Terroirs Viticoles : Origines et Devenirs*. Féret. ISBN : 2902416911.
- (2007). « L'avenir du terroir : gérer de la complexité par la gouvernance locale ». In : 109. Sous la dir. de J.-N. CONSALÈS et P. MOUSTIER, p. 17–22. ISSN : 0025-8296.
- (2010). *Faire vivre le terroir : Hommage au professeur Philippe Roudié*. PU Bordeaux. 308 p. ISBN : 286781586X.
- (2011). « Vignes et vins de la Porte de l'Entre-deux-Mers : La fin d'une longue histoire ? » In : *treizième colloque "L'Entre-deux-mers et son identité"*. La rive droite de Bordeaux.

- HINNEWINKEL, J.-C. et H. VELASCO-GRACIET (2007). « Espace et temporalités du vignoble : une comparaison franco-chilienne ». In : *Géoconfluences*.
- HINNEWINKEL, J.-C. et H. VELASCO-GRACIET (2005). « Les vins de l'hémisphère Sud et la mondialisation de la planète vitivinicole ». In : *Les Cahiers d'Outre-Mer. Revue de géographie de Bordeaux* 58.231, p. 267–280. ISSN : 0373-5834. DOI : 10.4000/com.297.
- HUGLIN, P. et C. SCHNEIDER (1998). *Biologie et écologie de la vigne*. 2e édition, revue et augmentée. Paris : Tec & Doc Lavoisier. ISBN : 9782743002602.
- HURTREL, B. et D. THIÉRY (1999). « Modulation of Flight Activity in *Lobesia botrana* Den. & Schiff. (Lepidoptera : Tortricidae) Females Studied in a Wind Tunnel ». In : *Journal of Insect Behavior* 12.2, p. 199–211. ISSN : 0892-7553, 1572-8889. DOI : 10.1023/A:1020914800170.
- JACKSON, R. S. (2014). « 4 - Vineyard Practice ». In : *Wine Science (Fourth Edition)*. Sous la dir. de R. S. JACKSON. Food Science and Technology. San Diego : Academic Press, p. 143–306. ISBN : 978-0-12-381468-5.
- JACQUET, O. (2009). *Un siècle de construction du vignoble bourguignon. Les organisations vitivinicoles de 1884 aux AOC*. Sociétés. Dijon : EUD. 298 p.
- JACQUET, O. et G. LAFERTÉ (2005). « Appropriation et identification des territoires du vin : la lutte entre grands et petits propriétaires du «Corton» ». In : 76, p. 9–27.
- JANSSEN, M. A. (2009). « Understanding Artificial Anasazi ». In : *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 12.4, p. 13. ISSN : 1460-7425.
- JANSSEN, M. A. et E. OSTROM (2006). « Empirically Based, Agent-based models ». In : *Ecology and Society* 11.2, p. 37.
- JARRAR, M. et R. MEERSMAN (2002). « Formal ontology engineering in the dogma approach ». In : p. 1238–1254.
- JAYET, H. (1993). « Territoires et concurrence territoriale ». In : *Revue d'économie régionale et urbaine* 1, p55–75.
- JENNINGS, N. R. (2000). « On agent-based software engineering ». In : *Artificial Intelligence* 117, p. 277–296.
- JONES, G. V., M. A. WHITE, O. R. COOPER et K. STORCHMANN (2005). « Climate Change and Global Wine Quality ». In : *Climatic Change* 73.3, p. 319–343. ISSN : 0165-0009, 1573-1480. DOI : 10.1007/s10584-005-4704-2.
- JONES, O. T. (1998). « Practical application of pheromones and other semiochemicals ». In : HOWSE, P. E. et I. D. STEVENS. *Insect pheromones and their use in pest management*. London : Chapman & Hall, p. 261–355.
- JULES, B. (1950). *L'homme et la montagne*. Gallimard. 189 p.
- KIERATH, T. et C. WANG (2013). *The Global Wine Industry*. The global wine industry. Australie : Morgan Stanley Research, p. 78.

-
- KNIBBE, C. (2013). « L'évolution expérimentale in silico ». In : *Modéliser & simuler*. Sous la dir. de F. VARENNE et M. SILBERSTEIN. Edition Matériologiques. T. 2. 2 t. Collection Sciences & Philosophie. Paris (France). ISBN : 9782919694389.
- KOHLI, A. K. et B. J. JAWORSKI (1990). « Market orientation : the construct, research propositions, and managerial implications ». In : *The Journal of Marketing*, p. 1–18.
- KUHNHOLTZ-LORDAT, G. (1960). *La genèse des appellations d'origine des vins*. réédition 1991. Chaintré : Avenir oeunologique. 150 p.
- LAJARGE, R. (2000). « Quatre modalités pour faire du territoire ». In : *Utopie pour le territoire. Cohérence ou complexité ?* La Tour d'Aigues : Editions de l'Aube, p. 79–100. ISBN : 9782876785250.
- LAMBERT, F. (2003). « Entre liberté d'action et coercition : le gouvernement des coopératives ». In : DRAPERI, J. F. et J.-M. TOUZARD. *Les coopératives entre territoires et mondialisation*. Editions L'Harmattan, p. 233–250. ISBN : 2747551237.
- LARCENA, D. (2012). « Terrasses et eau des versants en Méditerranée ». In : *De l'eau agricole à l'eau environnementale*. Editions Quæ, p. 241–252. ISBN : 10.3917/quae.aspe.2012.01.0241.
- LARIGNON, P. et G. nationnal maladie du BOIS (2007). *Note nationale Les maladies du bois*.
- LAVAUD, S., G. AUBIN, P. ROUDIÉ et J.-C. HINNEWINKEL (2010). « Roger Dion et le vignoble bordelais, relecture et regards croisés ». In : *Le bon vin entre terroir, savoir-faire et savoir-boire : Actualité de la pensée de Roger Dion*. Paris : CNRS, p. 15–31. ISBN : 2271070074.
- LECOMTE DU NOUY, P. (1948). *L'homme et sa destinée*. Édition : La Colombe. La Colombe.
- LEEUWEN, C. van, P. FRIANT, X. CHONE, O. TREGOAT, S. KOUNDOURAS et D. DUBOURDIEU (2004). « Influence of climate, soil, and cultivar on terroir ». In : *American Journal of Enology and Viticulture* 55.3, p. 207–217.
- LEGAY, J.-M. (1997). *Expérience et le modèle*. Édition : Quae. Paris : INRA. ISBN : 9782738007780.
- LEHMANN, N., S. BRINER et R. FINGER (2013). « The impact of climate and price risks on agricultural land use and crop management decisions ». In : *Land Use Policy* 35, p. 119–130. ISSN : 0264-8377. DOI : 10.1016/j.landusepol.2013.05.008.
- LEHMANN, N., R. FINGER, T. KLEIN, P. CALANCA et A. WALTER (2013). « Adapting crop management practices to climate change : Modeling optimal solutions at the field scale ». In : *Agricultural Systems* 117, p. 55–65. ISSN : 0308-521X. DOI : 10.1016/j.agssy.2012.12.011.
- LESOURNE, J. (1983). *Les mille sentiers de l'avenir*. Seghers. 478 p.
- LESSIG, L. (2000). « Code is law ». In : *Harvard magazine*.

- LETURCQ, S. (2006). « A la découverte de la dimension spatiale des terriers... Le SIG, outil d'analyse des terroirs d'exploitation ». In : 44.
- LEVI, M. T., R. P. BOUDON et M. OLSON (1978). *Logique de l'action collective*. Presses universitaires de France. 199 p.
- LÉVY, J. et M. LUSSAULT (2000). *Logiques de l'espace, esprit des lieux*. Paris : Belin. ISBN : 9782701128405.
- LEWES, G. H. (1874). *Problems of Life and Mind*. T. 1. 2 t. Book on Demand.
- LIVET, P., J.-P. MULLER, D. PHAN et L. SANDERS (2010). « Ontology, a Mediator for Agent-Based Modeling in Social Science ». In : *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 13.1, p. 3. ISSN : 1460-7425.
- LOGAN, J. A., D. J. WOLKIND, S. C. HOYT et L. K. TANIGOSHI (1976). « An Analytic Model for Description of Temperature Dependent Rate Phenomena in Arthropods ». In : *Environmental Entomology* 5.6, p. 1133–1140.
- LOGAN, J. D., W. WOLESENSKY et A. JOERN (2006). « Temperature-dependent phenology and predation in arthropod systems ». In : *Ecological Modelling* 196.3, p. 471–482. ISSN : 0304-3800. DOI : 10.1016/j.ecolmodel.2006.02.034.
- LORSCHEID, I., B.-O. HEINE et M. MEYER (2012). « Opening the 'black box' of simulations : increased transparency and effective communication through the systematic design of experiments ». In : *Computational and Mathematical Organization Theory* 18.1, p. 22–62.
- LUKE, S., G. C. BALAN, L. PANAIT, C. CIOFFI-REVILLA et S. PAUS (2003). « MASON : A Java multi-agent simulation library ». In : *Proceedings of Agent 2003 Conference on Challenges in Social Simulation*. T. 9.
- MADELIN, M., B. BOIS et J.-P. CHABIN (2010). « Modification des conditions de maturation du raisin en Bourgogne viticole liée au réchauffement climatique ». In : 14. ISSN : 1963-1197. DOI : 10.4000/echogeo.12176.
- MAIGROT, J.-L. (1999). « Les dix postures du géographe agraire ». In : *Quatrièmes rencontres de Théo Quant*. Besançon, p. 41–49.
- MAILLARD, B. (1992). « Les campagnes de Touraine au XVIIIe Siècle. Etude d'histoire économique et sociale ». Thèse de doct. Rennes : Université de Rennes. 1299 p.
- (1998). *Les campagnes de Touraine au XVIIIe siècle. Structures agraires et économie rurale*. PUR. Rennes. 500 p. ISBN : 2868473598.
- MÄRS, A. (2013). « Cembra, la valle dei senza nome ». In : *Valle di Cembra, il territorio, la gente, il vino*. Trento (Italie) : Valentina Trentini, p. 104–122.
- MARSHALL, A., F. SAUVAIRE-JOURDAN et S. BOUYSSY (1971). *Principes d'économie politique*. Gordon & Breach.
- MASANTE-ROCA, I., S. ANTON, L. DELBAC, M.-C. DUFOUR et C. GADENNE (2007). « Attraction of the grapevine moth to host and non-host plant parts in the wind tunnel :

-
- effects of plant phenology, sex, and mating status ». In : *Entomologia Experimentalis et Applicata* 122.3, p. 239–245. ISSN : 1570-7458. DOI : 10.1111/j.1570-7458.2006.00510.x.
- MAYNARD SMITH, J. (1992). « Byte-sized evolution ». In : *Nature* 355.6363, p. 772–773. DOI : 10.1038/355772a0.
- MÉRIAUX, S., J. CHRETIEN, P. VERMI et N. LENEUF (1981). « La Côte viticole. Ses sols et ses crus ». In : *Bulletin Scientifique de Bourgogne* 34, p. 17–40.
- MESSIEZ, M. (2002). *Les vignobles des Pays du Mont-Blanc : Savoie, Valais, Val d'Aoste, Etude historique, économique, humaine*. Grenoble : Revue de Géographie Alpine. ISBN : 9782903095406.
- MEYNIER, A. (1969). *Histoire de la pensée géographique en France : 1872-1969*. Collection Sup 2. Paris : Presses universitaires de France. ISBN : 2-13-030619-5.
- MICOUD, A. (2000). « Patrimoine et légitimité des territoires. De la construction d'un autre espace et d'un autre temps commun ». In : *Utopie pour le territoire. Cohérence ou complexité ?* La Tour d'Aigues : Editions de l'Aube, p. 53–78. ISBN : 9782876785250.
- MILL, J. S. (1865). « A system of logic ». In : 7, p. 388–392.
- MILLER, J. H. et S. E. PAGE (2007). *Complex Adaptive Systems - An Introduction to Computational Models of Social Life*. Princeton, N.J : Princeton University Press. 264 p. ISBN : 9780691127026.
- MINSKY, M. (1997). *La société de l'esprit*. 1re. Interéditions. ISBN : 2729601880.
- MITCHELL, M. (2009). *Complexity : A Guided Tour*. Oxford England ; New York : OUP. ISBN : 9780195124415.
- MOINDROT, C. (1995). « Les systèmes agraires ». In : *Encyclopédie de géographie*. Réd. par A. BAILLY, R. FERRAS et D. PUMAIN. 2e édition. Paris : Economica, p. 445–470. ISBN : 2717828990.
- MOINE, A. (2006). « Le territoire comme un système complexe : un concept opératoire pour l'aménagement et la géographie ». In : 35.2, p. 115–132. ISSN : 0046-2497.
- MOLLEVI BORTOLO, G. (2012). « Le paysage de la vigne et du vin ». In : 4. ISSN : 1760-5296.
- MONTAIGNE, E., A. COELHO, B. DELORD et L. KHEFIFI (2012). *Etude sur les impacts socio-économique et territoriaux de la libéralisation des droits de plantations viticoles*. 1. Montpellier : Convention d'étude AREV– UMR Moisa, p. 12.
- (2013). *Etude sur les impacts socio-économique et territoriaux de la libéralisation des droits de plantations viticoles*. 2. Montpellier : Convention d'étude AREV– UMR Moisa, p. 12.
- MORIN, E. (2013). *La méthode : Tome 1, La nature de la nature*. Points. ISBN : 9782757845141.

- MORIONDO, M., G. V. JONES, B. BOIS, C. DIBARI, R. FERRISE, G. TROMBI et M. BINDI (2013). « Projected shifts of wine regions in response to climate change ». In : *Climatic Change* 119.3, p. 825–839. ISSN : 0165-0009, 1573-1480. DOI : 10.1007/s10584-013-0739-y.
- MORLAT, R. (1989). « Le terroir viticole : Contribution à l'étude de sa caractérisation et de son influence sur les vins. Applications aux vignobles rouges de Moyenne Vallée de la Loire ». Thèse d'état. Bordeaux : Université de Bordeaux II. 289 p.
- MOSS, S., C. PAHL-WOSTL et T. DOWNING (2001). « Agent-based integrated assessment modelling : the example of climate change ». In : *Integrated Assessment* 2.1, p. 17–30. ISSN : 1389-5176, 1573-1545. DOI : 10.1023/A:1011527523183.
- MUCHNIK, J. et C. d. SAINTE-MARIE (2010). *Le temps des Syal : Techniques, vivres et territoires*. Update Sciences & technologies. Paris : Editions Quae. ISBN : 978-2-7592-0501-1.
- MÜLLER, B., F. BOHN, G. DRESSLER, J. GROENEVELD, C. KLASSERT, R. MARTIN, M. SCHLÜTER, J. SCHULZE, H. WEISE et N. SCHWARZ (2013). « Describing human decisions in agent-based models – ODD + D, an extension of the ODD protocol ». In : *Environmental Modelling & Software* 48, p. 37–48. ISSN : 1364-8152. DOI : 10.1016/j.envsoft.2013.06.003.
- MÜLLER, J.-P. et S. AUBERT (2011). « L'ontologie pour construire une représentation multi-niveau de et par les systèmes sociaux ». In : *Echelles et modélisation multi-niveaux*. 18èmes Journées de Rochebrune : Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels. T. 18. Rochebrune.
- NEETHLING, E., G. BARBEAU, H. QUÉNOL, M. ROUAN et C. TISSOT (2013). « Adapting to climate change : A case study on modeling viticultural farming practices under spatial and temporal constraints ». In : *International Conference Climate Change and Regional Response (CCRR 2013)*. Dresden, Allemagne.
- NEMANI, R. R., M. A. WHITE, D. R. CAYAN, G. V. JONES, S. W. RUNNING, J. C. COUGHLAN et D. L. PETERSON (2001). « Asymmetric warming over coastal California and its impact on the premium wine industry ». In : *Climate research* 19.1, p. 25–34.
- NEUMANN, J. v. et A. W. BURKS (1966). *Theory of self-reproducing automata*. University of Illinois Press.
- NEUMANN, M. (2015). « Grounded Simulation ». In : *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 18.1, p. 9. ISSN : 1460-7425.
- NOY, N. F. et D. L. MCGUINNESS (2000). « Développement d'une ontologie 101 : Guide pour la création de votre première ontologie ». In : *Stanford, CA* 94305.
- OPENSHAW, S. (1998). « Towards a more computationally minded scientific human geography ». In : *Environment and Planning A* 30.2, 317 –332. DOI : 10.1068/a300317.

-
- OPENSHAW, S. (1994). « Computational human geography : Towards a research agenda ». In : *Environment and Planning*, p. 499–508.
- OPPENHEIM, P. et H. PUTNAM (1958). « Unity of science as a working hypothesis ». In : *Concepts, Theories, and the Mind-Body Problem*. Sous la dir. de H. FEIGL, M. SCRIVEN et G. MAXWELL. T. 2. Minnesota studies in philosophy of sciences. Minneapolis : University of Minnesota Press, p. 3–36.
- PAILLÉ, P. (1994). « L'analyse par théorisation ancrée ». In : *Cahiers de recherche socio-logique* 23, p. 147. ISSN : 0831-1048, 1923-5771. DOI : 10.7202/1002253ar.
- PARKER, D. C., S. M. MANSON, M. A. JANSSEN, M. J. HOFFMANN et P. DEADMAN (2003). « Multi-Agent Systems for the Simulation of Land-Use and Land-Cover Change : A Review ». In : *Annals of the Association of American Geographers* 93.2, p. 314–337. ISSN : 0004-5608. DOI : 10.1111/1467-8306.9302004.
- PARKER, D. C. et V. MERETSKY (2004). « Measuring pattern outcomes in an agent-based model of edge-effect externalities using spatial metrics ». In : *Agriculture, Ecosystems & Environment*. From pattern to process : Landscape Fragmentation and the analysis of land use/land cover change 101.2, p. 233–250. ISSN : 0167-8809. DOI : 10.1016/j.agee.2003.09.007.
- PATRUSHEV, A. A. (2007). « Shortest path search in real road networks with pgRouting ». In : *Free and Open Source Software For Geospatial*.
- PATTON, A. (2013). « Una vita tra le viti ». In : *Valle di Cembra, il territorio, la gente, il vino*. Trento (Italie) : Valentina Trentini, p. 147–149.
- PAUL, C. (2008). *Histoire du vignoble du Bugey*. Société des amis de Montdidier. 110 p. ISBN : 9782746602045.
- PECQUEUR, B. (2001). « Qualité et développement territorial : l'hypothèse du panier de biens et de services territorialisés ». In : 261.1, p. 37–49. ISSN : 0013-0559. DOI : 10.3406/ecoru.2001.5217.
- (2006). « Le tournant territorial de l'économie globale ». In : 124-125.2, p. 17–32. ISSN : 0014-0481.
- PEEL, M., B. FINLAYSON, T. McMAHON *et al.* (2007). « Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification ». In : *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 4.2, p. 439–473.
- PHELAN, S. (1999). « A Note on the Correspondence Between Complexity and Systems Theory ». In : *Systemic Practice and Action Research*, p. 237–246. ISSN : 1094-429X.
- PIJASSOU, R. (1980). *Le Médoc : Un grand vignoble de qualité*. J. Tallandier.
- PITTE, J.-R. (2000). « La nouvelle planète des vins ». In : *Annales de Géographie* 614, p. 340–344.

- (2006). *Géographie culturelle Histoire du paysage français Gastronomie française Le vin et le divin Paysages à voir, à manger et à boire*. Les Indispensables de l'histoire. Paris : Fayard. ISBN : 2-213-62878-5.
- éd. (2010). *Le bon vin entre terroir, savoir-faire et savoir-boire : actualité de la pensée de Roger Dion*. Paris : CNRS. 363 p. ISBN : 9782271070074.
- POMEROL, C. (1989). *The Wines and Winelands of France : Geological Journeys*. Seven Hills Books. ISBN : 9781853651083.
- POMMIER, P. et M. BOILÈVE (2002). *Les systèmes productifs locaux*. La documentation française.
- POPPER, K. R. (1998). *La connaissance objective : une approche évolutionniste*. Paris : Flammarion. ISBN : 9782081233645 2081233649.
- PORTUGALI, J. (1997). « Self-organizing cities ». In : *Futures. Time and Space Geographic Perspectives on the Future* 29.4, p. 353–380. ISSN : 0016-3287. DOI : 10.1016/S0016-3287(97)00022-0.
- PRIGOGINE, I. et G. NICOLIS (1977). « Self Organization in Non-Equilibrium Systems ». In :
- PRIGOGINE, I. et I. STRENGERS (1984). *Order out of chaos : Man's new dialogue with nature*. Toronto ; New York, N.Y : Bantam Books. ISBN : 9780553340822.
- PROVITOLO, D. (2006). « La dynamique des systèmes selon J.W. Forrester ». In : *hypergeo*.
- PUMAIN, D. (1998). « La géographie saurait-elle inventer le futur ? » In : XXXVI.110, p. 53–69.
- (2003). « Une approche de la complexité en géographie ». In : 78.1, p. 25–31. ISSN : 1627-4873. DOI : 10.4000/geocarrefour.75.
- PUMAIN, D. et M.-C. ROBIC (2002). « Le rôle des mathématiques dans une « révolution » théorique et quantitative : la géographie française depuis les années 1970 ». In : 6.1, p. 123–144. ISSN : 1622-468X. DOI : 10.3917/rhsh.006.0123.
- PUMAIN, D. et T. SAINT-JULIEN (2010). *Analyse spatiale : les localisations*. Édition : 2e édition. Paris : Armand Colin. ISBN : 9782200254629.
- QUÉNOL, H. et V. BONNARDOT (2014). « A multi-scale climatic analysis of viticultural terroirs in the context of climate change : the "TERADCLIM" project ». In : p. 23–32.
- QUÉNOL, H., O. PLANCHON, L. WAHL *et al.* (2008). « Méthodes d'identification des climats viticoles ». In : 51, p. 127–137.
- RAILSBACK, S. et V. GRIMM (2011). *Agent-Based and Individual-Based Modeling : A Practical Introduction*. Princeton University Press. 352 p. ISBN : 0691136742.
- RAPAGNANI, M. R., V. CAFFARELLI, M. BARLATTANI et F. MINELLI (1989). « Descrizione di un allevamento, in laboratorio, della tignoletta dell'uva Lobesia botrana Den. e Schiff.(Lepidoptera-Tortricidae) su un nuovo alimento semi sintetico ». In : *bulletin of insectology and Entomology "G. Grandi" Univ. Bologna* 44, p. 57–64.

-
- REBAUDO, F. et O. DANGLES (2013). « An agent-based modeling framework for integrated pest management dissemination programs ». In : *Environmental Modelling & Software*. Thematic Issue on Spatial Agent-Based Models for Socio-Ecological Systems 45, p. 141–149. ISSN : 1364-8152. DOI : 10.1016/j.envsoft.2012.06.014.
- REUILLON, R., M. LECLAIRE et S. REY-COYREHOURCQ (2013). « OpenMOLE, a workflow engine specifically tailored for the distributed exploration of simulation models ». In : *Future Generation Computer Systems* 29.8, p. 1981–1990. DOI : 10.1016/j.future.2013.05.003.
- REUILLON, R., C. SCHMITT, R. DE ALDAMA et J.-B. MOURET (2014). « A New Method to Evaluate Simulation Models : The Calibration Profile (CP) Algorithm ». In : *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*.
- REY, A., M. TOMI, C. TANET, T. HORDÉ et COLLECTIF (2011). *Dictionnaire historique de la langue française*. Editions Le Robert. 2640 p. ISBN : 2849029971.
- ROBINSON, D. T., D. G. BROWN, D. C. PARKER, P. SCHREINEMACHERS, M. A. JANSSEN, M. HUIGEN, H. WITTMER, N. GOTTS, P. PROMBUROM, E. IRWIN *et al.* (2007). « Comparison of empirical methods for building agent-based models in land use science ». In : *Journal of Land Use Science* 2.1, p. 31–55.
- ROCHARD, J. et C. HERBIN (2006). *Les Paysages Viticoles : Regards sur la Vigne et le Vin*. Bordeaux : Editions Féret. ISBN : 9782351560006.
- ROEHRICH, R., J. STOCKEL, S. KREITER, R. SFORZA et M. V. HELDEN (2000). *Les ravageurs de la vigne*. Bordeaux : Féret. 231 p. ISBN : 9782902416561.
- ROUVELLAC, E. (2005). *Les terroirs du vin de Cahors*. Limoges : PULIM. ISBN : 2842873602 9782842873608.
- (2013). « Le terroir, essai d'une réflexion géographique à travers la viticulture ». Habilitation à diriger des recherches. Limoges : Université de Limoges. 224 p.
- ROUVELLAC, E., J. DELLIER et S. GUYOT (2012). « Entre terroir et territoire : La renaissance du vignoble sud-africain ». In : *L'Espace géographique* Tome 40.4, p. 337–351. ISSN : 0046-2497.
- SÁENZ-DE-CABEZÓN, E., L. J. HERNÁNDEZ, M. T. RIVAS, E. GARCÍA-RUIZ, V. MARCO, I. PÉREZ-MORENO et F. J. SÁENZ-DE-CABEZÓN (2011). « A computer implementation of the partition of the unity procedure and its application to arthropod population dynamics. A case study on the European grape berry moth ». In : *Mathematics and Computers in Simulation*. ACA 2008 - 2009 + MASCOT 2008 82.1, p. 2–14. ISSN : 0378-4754. DOI : 10.1016/j.matcom.2010.06.019.
- SAINT-EXUPÉRY, A. d. (1939). *Terre des hommes*. réédition 1987. Folio. Paris : Gallimard. 183 p. ISBN : 2070360210.
- SANDERS, L. (1984). « Interaction spatiale et modélisation dynamique ; une application au système intraurbain ». Thèse de doctorat. Paris : Université Paris VII.

- SCHELLING, T. (1971). « Dynamic models of segregation ». In : 1.2, p. 143–186.
- SCHIRMER, R. (2000). « Le regard des géographes français sur la vigne et le vin (fin du XIX-XX Siècle) ». In : *Annales de Géographie* 614, p. 340–344.
- (2007a). « Les coopératives vinicoles entre marques et terroirs ». In : *Les Terroirs : caractérisation, développement territorial et gouvernance*. colloque international sur les terroirs. Aix-en-Provence, p. 85–90.
- (2007b). « Les vins du Nouveau Monde sont-ils a-géographiques ». In : *Bulletin de l'Association des Géographes Français* 1, p. 65–80.
- SCHMITT, C., S. REY, R. REUILLO et D. PUMAIN (2014). « Half a billion simulations : Evolutionary algorithms and distributed computing for calibrating the SimpopLocal geographical model ». In : *Environment and Planning*.
- SCHMITZ, V. (1992). « Contribution à l'étude du mécanisme de la confusion sexuelle des mâles chez l'insecte. Application à la mise au point du procédé biotechnique de lutte contre l'eudémis de la vigne Lobesia botrana Den et Schiff. » Thèse de doctorat. Rennes : ENSA. 150 p.
- SEBILLOTTE, M., P. AIGRAIN, H. HANNIN et C. SEBILLOTTE (2003). *Prospective : Vignes et Vins*. Bilan et Prospectives. Paris : Edition INRA. 122 p.
- SEBILLOTTE, M. et C. SEBILLOTTE (2002). « Recherche finalisée, organisations et prospective : la méthode prospective SYSPAHHM (SYStème, Processus, Agrégats d'Hypothèses, Micro-et Macroscénarios) ». In : *Oléagineux, Corps Gras, Lipides* 9.5, p. 329–345.
- SEGUIN, G. (1983). « Influence des terroirs viticoles sur la constitution et la qualité des vendanges ». In : 56, p. 3–18.
- (1986). « "Terroirs" and pedology of wine growing ». In : 42.8, p. 861–873. ISSN : 0014-4754, 1420-9071. DOI : 10.1007/BF01941763.
- SERRES, M. (2009). *Le contrat naturel*. Paris : Flammarion. ISBN : 9782081229921.
- SERRES, O. d. (1600). *Le Théâtre d'agriculture et mesnage des champs*. Ré-edition 2011 chez Actes Sud. Paris : Jamet Métayer. 1004 p.
- SIMON, H. (1996). *Sciences of the Artificial*. 3rd Revised edition. Cambridge, Mass : MIT Press. 246 p. ISBN : 9780262691918.
- SMAJGL, A., D. G. BROWN, D. VALBUENA et M. G. A. HUIGEN (2011). « Empirical characterisation of agent behaviours in socio-ecological systems ». In : *Environmental Modelling & Software* 26.7, p. 837–844. ISSN : 1364-8152. DOI : 10.1016/j.envsoft.2011.02.011.
- SMAJGL, A. et O. BARRETEAU (2013a). *Empirical Agent-Based Modelling : Challenges and Solutions : The Characterisation and Parameterisation of Empirical Agent-Based Models*. New York : Springer-Verlag New York Inc. 262 p. ISBN : 9781461461333.

-
- SMAJGL, A. et O. BARRETEAU (2013b). « Empirism and Agent-Based Modeling ». In : *Empirical Agent-Based Modelling : Challenges and Solutions : The Characterisation and Parameterisation of Empirical Agent-Based Models*. New York : Springer-Verlag New York Inc., p. 1–26. ISBN : 9781461461333.
- SMITH, B. et D. M. MARK (1999). « Ontology with Human Subjects Testing : An Empirical Investigation of Geographic Categories ». In : 58.2, p. 245–272. ISSN : 0002-9246.
- (2001). « Geographical categories : an ontological investigation ». In : 15.7, p. 591–612.
- (2003). « Do mountains exist ? Towards an ontology of landforms ». In : 30.3, p. 411–428.
- STENGERS, I. (2010). *L'invention des sciences modernes*. Armillaire. La Découverte. 216 p. ISBN : 9782707155412.
- STOCKEL, J., V. SCHMITZ, P. LECHARPENTIER, R. ROEHRICH, M. TORRES VILA, U. NEUMANN, J. BRUSTIS et V. PRONIER (1994). « La confusion sexuelle chez l'eudémis Lobesia botrana (Lepidoptera Tortricidae). Bilan de 5 années d'expérimentation dans un vignoble bordelais ». In : *Agronomie* 14.2, p. 71–82.
- STONEDAHL, F. et U. WILENSKY (2011). « Finding Forms of Flocking : Evolutionary Search in ABM Parameter-Spaces ». In : *Multi-Agent-Based Simulation XI*. Sous la dir. de T. BOSSE, A. GELLER et C. M. JONKER. Lecture Notes in Computer Science 6532. Springer Berlin Heidelberg, p. 61–75. ISBN : 978-3-642-18344-7, 978-3-642-18345-4.
- SWEETMAN, C., V. O. SADRAS, R. D. HANCOCK, K. L. SOOLE et C. M. FORD (2014). « Metabolic effects of elevated temperature on organic acid degradation in ripening *Vitis vinifera* fruit ». In : *Journal of Experimental Botany* 65.20, p. 5975–5988. ISSN : 0022-0957, 1460-2431. DOI : 10.1093/jxb/eru343.
- TAROLLI, P., F. PRETI et N. ROMANO (2014). « Terraced landscapes : From an old best practice to a potential hazard for soil degradation due to land abandonment ». In : *Landscapes in the Anthropocene* 6, p. 10–25. ISSN : 2213-3054. DOI : 10.1016/j.ancene.2014.03.002.
- TASIN, M., A.-C. BÄCKMAN, M. BENGTSSON, C. IORIATTI et P. WITZGALL (2006). « Essential host plant cues in the grapevine moth ». In : *Naturwissenschaften* 93.3, p. 141–144. ISSN : 0028-1042, 1432-1904. DOI : 10.1007/s00114-005-0077-7.
- TEAM, R. D. C. (2014). *R : A Language and Environment for Statistical Computing*. ISBN 3-900051-07-0. Vienna, Austria.
- TEIL, G. (2011). « Quand les acteurs se mêlent d'ontologie ». In : 5, 2.2, p. 437. ISSN : 1760-5393. DOI : 10.3917/rac.013.0437.
- TEMPESTA, T., R. A. GIANCRISTOFARO, L. CORAIN, L. BREIMAN, D. TOMASI et V. BOATTO (2010). « The importance of landscape in wine quality perception :An integrated approach using choice-based conjoint analysis and combination-based permuta-

- tion tests ». In : *Food Quality and Preference* 21.7, p. 827–836. ISSN : 0950-3293. DOI : 10.1016/j.foodqual.2010.04.007.
- THIELE, J. C., W. KURTH et V. GRIMM (2014). « Facilitating Parameter Estimation and Sensitivity Analysis of Agent-Based Models : A Cookbook Using NetLogo and R ». In : *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 17.3, p. 11. ISSN : 1460-7425.
- THOM, R. (1979). « Modélisation et scientificité ». In : *Élaboration et justification des modèles : applications en biologie*. Recherches interdisciplinaires. Paris : Maloine, p. 21–29. ISBN : 2224005709.
- (1989). *Paraboles et catastrophes : entretiens sur les mathématiques, la science et la philosophie*. Paris : Flammarion. ISBN : 208081186X 9782080811868 9782081251304 2081251302.
 - (2009). *Prédire n'est pas expliquer*. Paris : Flammarion. ISBN : 9782081224988 2081224984.
- THÜNEN, J. H. von (1966). *Isolated state : an English edition of Der isolierte Staat*. Pergamon Press.
- TISUE, S. et U. WILENSKY (2004). « Netlogo : A simple environment for modeling complexity ». In : *International Conference on Complex Systems*, p. 16–21.
- TONIETTO, J. et A. CARBONNEAU (2004). « A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide ». In : 124.1, p. 81–97. ISSN : 0168-1923. DOI : doi: DOI:10.1016/j.agrformet.2003.06.001.
- TORRE, A. (2000). « Economie de la proximité et activités agricoles et agro-alimentaires. Éléments d'un programme de recherche ». In : *Revue d'économie régionale et urbaine* 3, p. 407–426.
- (2006). « Collective action, governance structure and organizational trust in localized systems of production. The case of the AOC organization of small producers ». In : *Entrepreneurship and Regional Development* 18.1, p. 55–72.
- TORRE, A., COLLECTIF, A. RALLET, C. COURLET et A.-L. SAIVES (2003). *Le local à l'épreuve de l'économie spatiale : Agriculture, environnement, espaces ruraux*. Versailles : Inra-Quae. ISBN : 9782738010636.
- TORRES-VILA, L., M. RODRÍGUEZ-MOLINA et J. STOCKEL (2002). « Delayed mating reduces reproductive output of female European grapevine moth, *Lobesia botrana* (Lepidoptera : Tortricidae) ». In : *Bulletin of Entomological Research* 92.3. ISSN : 0007-4853, 1475-2670. DOI : 10.1079/BER2002155.
- TORRES-VILA, L. M., J. STOCKEL et R. ROEHRICH (1995). « Le potentiel reproducteur et ses variables biotiques associées chez le mâle de ***I'Eudémis de la vigne *Lobesia botrana* ». In : *Entomologia Experimentalis et Applicata* 77.1, p. 105–119. ISSN : 00138703. DOI : 10.1111/j.1570-7458.1995.tb01991.x.

-
- TOUZARD, J.-M. (2014). « Les approches sectorielles de l'innovation ». In : BOUTILLIER, S., J. FOREST, D. GALLAUD, B. LAPERCHE, C. TANGUY et L. TEMRI. *Principe d'économie de l'innovation*. Peter Lang. Bruxelles.
- TOUZARD, J.-M., Y. CHIFFOLEAU et F. DREYFUS (2008). « Analyser l'innovation dans un Système agroalimentaire localisé : construction interdisciplinaire en Languedoc ». In : *Cahiers Agricultures* . Volume 17 (Numéro 6), p. 526–31.
- TOUZARD, J.-M., A. COELHO et H. HANNIN (2008). « Les coopératives vinicoles : une analyse comparée à l'échelle internationale ». In : 81, p. 381–404.
- TOUZARD, J.-M., J. F. DRAPERI et COLLECTIF (2003). *Les coopératives entre territoires et mondialisation*. Editions L'Harmattan. 392 p. ISBN : 2747551237.
- TRAVERSAC, J.-B. (2003). « La coordination et la creation de ressources spécifiques : Coopération et appellation d'origine en Bourgogne ». In : *Les coopératives entre territoires et mondialisation*. l'Harmattan. Les cahiers de l'économie sociale 2. Paris (France), p. 105–120.
- TRENTO, C. vitivinicolo della provincia di (1954). *Indirizzo Viticolo per la provincia di Trento*. 1. Trento (Italie).
- TRISCHITTA, D. (2005). « Il paesaggio dei terrazzamenti : tra natura e cultura. » In : Taormina.
- TUBARO, P. et A. A. CASILLI (2010). « "An Ethnographic Seduction" : How Qualitative Research and Agent-based Models can Benefit Each Other ». In : *Bulletin de Méthodologie Sociologique* 106.1, p. 59–74. ISSN : 0759-1063, 2070-2779. DOI : 10.1177/0759106309360111.
- VALADE, B. (2001). « De l'explication dans les sciences sociales : holisme et individualisme ». In : *Epistemologie des sciences sociales*. Sous la dir. de J.-M. BERTHELOT. PUF. Paris, p. 357–405. ISBN : 978-2-13-060724-3.
- VAN LEEUWEN, C. et G. SEGUIN (2006). « The concept of terroir in viticulture ». In : 17.1, p. 1–10.
- VAN LEEUWEN, C. (1989). *Carte des sols du vignoble de Saint-Émilion*. Sous la dir. de SYNDICAT VITICOLE DE SAINT-EMILION. France : Syndicat viticole de Saint-Émilion.
- VAN LEEUWEN, C., H. R. SCHULTZ, I. G. d. CORTAZAR-ATAURI, E. DUCHÈNE, N. OL-LAT, P. PIERI, B. BOIS, J.-P. GOUTOULY, H. QUÉNOL, J.-M. TOUZARD, A. C. MALHEIRO, L. BAVARESCO et S. DELROT (2013). « Why climate change will not dramatically decrease viticultural suitability in main wine-producing areas by 2050 ». In : *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110.33, E3051–E3052. ISSN : 0027-8424, 1091-6490. DOI : 10.1073/pnas.1307927110.
- VAN VALEN, L. (1977). « The red queen ». In : *American Naturalist*, p. 809–810.
- VARENNE, F. (2008). « Epistémologie des modèles et des simulations—Tour d'horizon et tendances ». In : *Physique et interrogations fondamentales* 11.

- (2010). *Formaliser le vivant lois, théories, modèles?* Paris : Hermann éd. ISBN : 9782705670894 2705670890.
 - (2011). *Modéliser le social : méthodes fondatrices et évolutions récentes.* Paris : Dunod. ISBN : 9782100557448 2100557440.
- VARENNE, F. et M. SILBERSTEIN, éds. (2013). *Modéliser & simuler.* Edition Matérielogiques. T. 1. 2 t. Collection Sciences & Philosophie. Paris (France). 545 p. ISBN : 9782919694372.
- VAROTTO, M. (2008). « terrazzamenti alpini a rischio : i sistemi terrazzati delle alpi tra defrado e valorizzazione ». In : PASCOLINI, M. *Le Alpi che cambiano. Nuovi abitanti, nuove culture, nuovi paesaggi.* Udine : Forum Edizioni. ISBN : 9788884204615.
- VASSILIOU, V. A. (2009). « Control of Lobesia botrana (Lepidoptera : Tortricidae) in vineyards in Cyprus using the Mating Disruption Technique ». In : *Crop Protection* 28.2, p. 145–150. ISSN : 0261-2194. DOI : 10.1016/j.cropro.2008.09.013.
- VAUDOUR, E. (2001). « Les terroirs viticoles. Analyse spatiale et relation avec la qualité du raisin. Application au vignoble AOC des Côtes-du-Rhône méridionales ». Thèse de doct.
- VAUDOUR, E., A. SHAW *et al.* (2005). « A worldwide perspective on viticultural zoning ». In : 26.2, p. 106–115.
- VELASCO-GRACIET, H. et F. LASSERRE (2006). « Le vignoble au Québec, géographie d'un rêve sous contrainte ». In : *Norois. Environnement, aménagement, société* 201, p. 67–82. ISSN : 0029-182X. DOI : 10.4000/norois.1765.
- VELDKAMP, A. et E. F. LAMBIN (2001). « Predicting land-use change ». In : *Agriculture, ecosystems & environment* 85.1, p. 1–6.
- VIDAL DE LA BLACHE, P. (1902). « Les conditions géographiques des faits sociaux ». In : *Annales de Géographie* 11.55, p. 13–23. ISSN : 0003-4010. DOI : 10.3406/geo.1902.18145.
- VIGUIÉ, V., F. LECOCQ et J.-M. TOUZARD (2014). « Viticulture and Adaptation to Climate Change ». In : *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, p. 55–60.
- VIN D'A.O.C. CÔTES DU RHÔNE, I. des (1997). « L'étude de maturité ou comment faire parler le rasin ». In : 2.
- VINCENT, J.-D. (2010). *Elisée Reclus : Géographe, anarchiste, écologue.* Paris : Robert Laffont. 425 p. ISBN : 9782221106488.
- VON FOERSTER, H. (2003). « On self-organizing systems and their environments ». In : *Understanding Understanding.* Springer, p. 1–19.
- WATIER, P. (2002). *Une introduction à la sociologie compréhensive.* Circé, Belfort.
- WATZLAWICK, P. (1984). *La réalité de la réalité - Confusion, désinformation, communication.* Seuil. ISBN : 2020068044.

-
- WEAVER, W. (1947). « Science and complexity ». In : *American Scientist* 6.36, p. 536–544.
- WEBER, M. (1904). *Essais sur la théorie de la science*. ré édition chez Presses Pocket, 1992. Pocket Agora. Paris : Presses Pocket. 478 p. ISBN : 9782266048477.
- (1922). *Economie et société, tome 1 : Les Catégories de la sociologie*. Nouvelle édition 2003. Paris : Pocket. ISBN : 9782266132442.
- WEISSTEINER, C. J., M. BOSCHETTI, K. BÖTTCHER, P. CARRARA, G. BORDOGNA et P. A. BRIVIO (2011). « Spatial explicit assessment of rural land abandonment in the Mediterranean area ». In : 79.1, p. 20–36. ISSN : 0921-8181. DOI : 10.1016/j.gloplacha.2011.07.009.
- WHITE, M. A., N. S. DIFFENBAUGH, G. V. JONES, J. S. PAL et F. GIORGI (2006). « Extreme heat reduces and shifts United States premium wine production in the 21st century ». In : *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103.30, p. 11217–11222.
- WICKHAM, H. (2009). *ggplot2 : elegant graphics for data analysis*. Springer New York. ISBN : 978-0-387-98140-6.
- WILENSKY, U. (1999). *NetLogo*. Version 5.0.4. Northwestern University. Evanston, IL.
- WILSON, J. E. (2012). *Terroir : The Role of Geology, Climate, and Culture in the Making of French Wines*. Berkeley ; San Francisco : Wine Appreciation Guild. ISBN : 9781935879862.
- WOLFRAM, S. (2002). *A new kind of science*. Champaign (Ill.) : Wolfram media. ISBN : 978-1-57955-008-0.
- YOUNG, H. P. (2002). « The power of norms ». In : HAMMERSTEIN, P. *Genetic and cultural evolution of cooperation*. Massachusetts Institute of Technology and Freie Universität Berlin. Dahlem workshop report. London, (England).
- ZOTTELE, F. et E. DELAY (2015). « È possibile descrivere la resistenza dei paesaggi vitati di montagna utilizzando un territorio virtuale ? Il caso trentino ». In : *Territoires du vin* 6. ISSN : 1760-5296.

Table des matières

Introduction générale 6

Chapitre 1 : La situation des territoires viticoles de fortes pentes face aux enjeux actuels 21

1.1	Les Vignobles de fortes pentes, définition et caractérisation	23
1.1.1	Du terroir au territoire viticole, une approche ontologique	24
1.1.1.1	Les terroirs viticoles	25
1.1.1.2	Les territoires viticoles	30
1.1.1.3	Pour une vision intégrée des terroirs et du territoire : l'ontologie	31
1.1.2	Territoire et viticulture de fortes pentes	33
1.1.2.1	Définition : viticulture de montagne	34
1.1.2.2	La place de la viticulture de fortes pentes et l'échelle de réflexion	35
1.1.3	Les Évolutions et dynamiques de la viticulture européenne vont-elles vers une homogénéisation ?	37
1.2	Les vignobles de fortes pentes des territoires en situation délicate : les cas du <i>Val di Cembra</i> (Italie) et de Banyuls-Sur-Mer (France)	43
1.2.1	Le <i>Val di Cembra</i> , la marginalité d'une viticulture productiviste . .	44
1.2.2	Les AOC Banyuls et Collioure, un territoire écartelé entre mer et montagne	46
1.3	Questionner les spécificités de la viticulture de montagne et de fortes pentes	54
1.3.1	La pente dans la construction de la qualité	54
1.3.1.1	La pente et son rôle dans la construction sociale du vignoble de qualité	54
1.3.1.2	Les questions autour des échelles de réflexion	56
1.3.2	Les paysages viticoles de pente : émergences sociales	59
1.3.2.1	Les AOC Banyuls et Collioure en défaut de visibilité	59
1.3.2.2	Le <i>Val di Cembra</i> : un emblème sans reconnaissance	60
1.3.3	La coopération viticole en tant qu'entité agrégée	65
1.3.3.1	La coopération dans les AOC Banyuls - Collioure	67
1.3.3.2	La coopération dans le <i>val di Cembra</i>	69
1.3.4	Les singularités, l'échelle fine et les réflexions opérationnelles au service des acteurs	71
1.3.4.1	Le changement climatique et la montagne	71
1.3.4.2	L'importance de l'espace dans les phénomènes de diffusions des ravageurs	73

Chapitre 2 : Épistémologie et usages de la modélisation et des systèmes multi-agents en géographie 75

2.1	La démarche de modélisation	78
2.1.1	Qu'est-ce que modéliser ?	79
2.1.1.1	Du système au modèle vers une tentative de théorisation du monde	79
2.1.1.2	Un nécessaire besoin de théorisation	80
2.1.1.3	Validation de modèle : la guerre et la paix	81

2.1.2	La controverse du réductionnisme et du holisme : une 3 ^{me} voie, la complexité	83
2.1.3	Rôles et statuts du modèle	88
2.1.3.1	Modéliser pour prédire	88
2.1.3.2	Modéliser pour comprendre	89
2.1.3.3	Modéliser pour faire de la prospective	90
2.2	Modélisation et simulation, auto-organisation et émergence la prise en compte de l'espace	91
2.2.1	La genèse des modèles et des simulations en géographie	92
2.2.2	Modélisation des systèmes complexes : les automates cellulaires et les systèmes multi-agents	93
2.2.2.1	Les systèmes complexes	95
2.2.2.2	Les automates cellulaires	96
2.2.2.3	Systèmes multi-agents	99
2.2.2.4	Systèmes multi-agents et utilisation de l'espace	101
2.2.3	L'empirisme dans la modélisation à base d'agents	103
2.2.3.1	Du besoin de formalisation des hypothèses	103
2.2.3.2	De la nécessité de l'analyse de sensibilité dans la validation de processus empiriques	105
2.3	Caractériser notre pratique de modélisation et ses implications géographiques	107
2.3.1	Notre positionnement face aux pratiques de modélisation	108
2.3.1.1	Positionnement des empiristes dans la complexité	108
2.3.1.2	Une constellation de modèles	111
2.3.1.3	Une chronohistoire de notre modélisation	111
2.3.2	Une modélisation azimutée	118
2.3.2.1	L'ontologie pour orienter les systèmes multi-agents	119
2.3.2.2	La grille de lecture du fer à cheval : observation holiste des modèles	120

Chapitre 3 : De l'empirisme dans la modélisation à petite échelle spatiale

3.1	Les SMA comme passerelles entre théories anciennes et modernes : le cas de R.DION dans le modèle <i>Dion still alive</i>	130
3.1.1	Contexte de la modélisation	131
3.1.2	Matériels et Méthodes : ODD	133
3.1.2.1	Développement du modèle	133
3.1.2.2	Concepts d'élaboration	137
3.1.2.3	Détails	142
3.1.3	Résultats	147
3.1.3.1	L'influence sur le territoire des variables issues des marchés extérieurs	147
3.1.3.2	L'influence de l'espace et la place de la montagne dans la structuration du vignoble de qualité	149
3.1.3.3	Entre évolution logistique et linéaire de la qualité	150
3.1.4	Discussion	152

3.2	Le modèle VIcTOr : Paysage computationnel, viticulture virtuelle. Histoire d'émergence spatiale.	158
3.2.1	Contexte de la modélisation	160
3.2.2	Matériels et Méthodes : ODD	161
3.2.2.1	Développement du modèle	161
3.2.2.2	Concepts d'élaboration	163
3.2.2.3	Détails	167
3.2.3	Résultats	171
3.2.3.1	Exploration de l'hétérogénéité spatiale	171
3.2.3.2	Exploration de la variation du nombre d'agents	172
3.2.3.3	Exploration de l'influence des marchés	176
3.2.4	Discussion	178
3.2.4.1	Isotropie, anisotropie, espace de compétition ?	178
3.2.4.2	Dynamique macro-économique et conséquences spatiales	179

Chapitre 4 : La montagne et les fortes pentes : entre contraintes et « faire valoir » viticole ?

4.1	Le modèle LAME : la montagne, un espace de ségrégation, un espace de valorisation	188
4.1.1	Quelles sont les sources des dynamiques des surfaces viticoles ?	190
4.1.1.1	Où est la viticulture ?	190
4.1.1.2	Des échanges fonciers : lieux d'interactions ?	193
4.1.1.3	Lieu d'extension ou de contraction du vignoble ?	194
4.1.2	Contexte de la modélisation	197
4.1.3	Matériels et Méthodes : ODD	198
4.1.3.1	Développement du modèle	198
4.1.3.2	Concepts d'élaboration	201
4.1.3.3	Détails	204
4.1.4	Résultats	206
4.1.4.1	Calibration et exploration : espace abstrait, espace physique	206
4.1.4.2	Résultats prospectifs : la montagne entre attraction et ré-pulsion	211
4.1.5	Discussions	215
4.1.5.1	Quels paysages face aux contraintes ?	216
4.1.5.2	Pente et distance : contraintes ou opportunité ?	216
4.2	Le modèle CIVIsMe : la montagne, un espace de coopération	219
4.2.1	Contexte de la modélisation : La coopération entre marque et terroir	220
4.2.2	Matériels et Méthodes : ODD	224
4.2.2.1	Développement du modèle	224
4.2.2.2	Concepts d'élaboration	227
4.2.2.3	Détails	230
4.2.3	Résultats	235
4.2.3.1	La coopérative et le tissu social viticole	235
4.2.3.2	La coopérative et le maintien de la structure paysagère	237
4.2.3.3	Disparition - faillite de la coopérative, que reste-t-il du territoire ?	239

4.2.4	Discussions	243
4.2.4.1	Du tissu social au paysage	243
4.2.4.2	La disparition de la coopérative	244
4.2.5	Conclusion	245

Chapitre 5 : Des modèles théoriques aux modèles opératifs, l'espace comme objet de formalisme. 247

5.1	Le modèle acidityGIS : la coopérative comme levier d'adaptation au changement climatique pour la viticulture de montagne	251
5.1.1	Température et maturité de la vendange	253
5.1.2	Matériels et méthodes	255
5.1.2.1	Développement du modèle	255
5.1.2.2	Concepts d'élaboration	258
5.1.2.3	Détails	262
5.1.2.4	Simulation	268
5.1.3	Résultats	268
5.1.3.1	Comportement à court terme (50 ans)	268
5.1.3.2	Comportement à plus long terme (100 ans)	273
5.1.4	Discussions	276
5.1.4.1	Comportement à court terme (50 ans)	276
5.1.4.2	Comportement à plus long terme (100 ans)	278
5.1.4.3	Discussion générale	279
5.2	Le modèle CeLL : Confusion Landscape Lobesias ; entre paysage et dynamique de population	282
5.2.1	Le contexte particulier de la Côte Vermeille	284
5.2.2	Matériels et Méthodes : ODD	287
5.2.2.1	Développement du modèle	287
5.2.2.2	Concepts d'élaboration	290
5.2.2.3	Détails	294
5.2.3	Résultats	301
5.2.3.1	La lutte intégrée : efficience en condition simulée	301
5.2.3.2	La lute intégrée : une échelle de réflexion	307
5.2.3.3	La lutte intégrée et le passager clandestin	308
5.2.4	Discussions	311
5.2.4.1	L'exploration algorithmique des variables	313
5.2.4.2	Effet réel de confusion virtuelle ?	313

Chapitre 6 : Éléments de prospective : les mutations possibles de la filière viticole et agricole de fortes pentes 317

6.1	Confrontation des analyses stratégiques des territoires viticoles de fortes pentes	320
6.1.1	Les apports des théories prospectivistes	320
6.1.2	Analyse structurelle des variables clefs à partir de la modélisation	322
6.1.2.1	Le contexte théorique	323
6.1.2.2	Identification de variables structurelles	324
6.1.2.3	La méthode MICMAC appliquée aux variables des modèles	326

6.1.3	Analyse structurelle et des variables clefs par les acteurs	331
6.1.4	Distance et proximité entre les deux systèmes	336
6.1.4.1	Un repli de la motricité des variables	336
6.1.4.2	De motrice à relais, un difficile effet de levier	338
6.1.4.3	De relais à motricité, le passage au social	339
6.1.5	Du modèle aux acteurs, les éclairages de la démarche	340
6.2	<i>Scenarii</i> prospectifs pour la viticulture de fortes pentes	341
6.2.1	Le contexte français	342
6.2.2	Le contexte italien	344
6.2.3	Quelques <i>scenarii</i> prospectifs	347
6.2.3.1	Évolution vers une fédération de coopératives	348
6.2.3.2	Le changement climatique et l'adaptation	352
6.2.3.3	Libéralisation des échanges : le <i>scenario</i> de l'inacceptable ?	355
6.2.4	Utilité et limites de l'exercice : une question d'échelle ?	356
	Conclusion générale	361
	Bibliographie	371
	Table des matières	401
	Table des figures	407
	Liste des tableaux	421

Table des figures

0.1	Carte de localisation des terrains d'études. (a) le vignoble de la Côte Vermeille, (b) le vignoble du <i>val di Cembra</i>	15
1.1	Fréquence annuelle de l'utilisation du mot « terroir » répertorié par le service google-book entre 1950 et 2008. Nous distinguons trois phases successives d'adoption du mot terroir. N°1 représente le bruit de fond, n°2 l'adoption par les géographes ruralistes et n°3 par les agronomes et les œnologues	26
1.2	Hiérarchisation des concepts mobilisés par le terroir dans une ontologie formalisée en <i>OWL</i>	28
1.3	Hiérarchisation des concepts mobilisés par le territoire dans une ontologie formalisée en <i>OWL</i>	31
1.4	Alignement des concepts de terroir et territoire (<i>OWL</i>)	32
1.5	Définition de propriétés des classes	33
1.6	Cartographie par carroyage des surfaces agricoles en terrasse dans la province du Trentino	36
1.7	La répartition des surfaces viticoles mondiales en Europe selon Corine-Land-Cover (2006). La carte (a) situe les zones viticoles européennes, et la carte (b) localise les surfaces viticoles qui répondent aux critères du CERVIM	38
1.8	La répartition des surfaces viticoles mondiales en 2010 pour les pays avec plus de 50 000 ha de surface viticole (source : OIV)	40
1.9	Proportion (%) des surfaces cultivées en vigne sur la communauté <i>val di Cembra</i> par rapport aux surfaces agricoles entre 1980 et 2010.	45
1.10	La carte de localisation du Val di Cembra (a) permet de se rendre compte de l'orographie de la zone. Photo (b) de la plaine de l'Adige prise depuis les hauteurs de San Michele Al Adige. On y voit se développer une agriculture intensive, largement tournée vers la viticulture et la pomiculture.	47
1.11	La photo (a) présente la disposition du vignoble sur les versants de la vallée en V (commune de Cembra), et la photo (b) illustre le mode de conduite de la vigne en <i>pergola</i> dans le val di Cembra, ici sur des banquettes de culture.	48
1.12	Diagramme climatique pour la station de la Fondazion E. MACH à San Michele Al Adige (moyennes de pluviométrie en mm (gris foncé) et de températures minimales/maximales (en °C en gris claire) mensualisées entre 1959 et 2005)	49
1.13	Répartition par l'âge des coopérateurs, des surfaces en production au GICB en 2005 (a) et 2012 (b) en fonction du type d'activité principale.	51
1.14	La carte de localisation des AOC Banyuls et Collioure (a) permet de se rendre compte de l'orographie de la zone. La photo (b) illustre cette orographie, et la complexité du réseau hydraulique qui lui est associé, enfin la photo (c) montre en détail la taille des terrasses et la configuration des agouilles	52
1.15	Diagramme climatique pour la station météo-france du Cap Beart (moyennes de pluviométrie en mm (gris foncé) et de températures minimales/maximales (en °C en gris claire) mensualisé entre 2004 et 2014) . .	53
1.16	Le terroir un objet géographique complexe (issu de HINNEWINKEL (2007))	57
1.17	Photographies diachroniques sur la plage de Banyuls-sur-Mer. La photo (a) montre l'emprise de la viticulture au début du XIX ^e siècle, et au début du XXI ^e siècle (b)(Crédit photo : Elodie GILLES)	61

1.18 Paysage dans les environs de <i>Segonzano</i> dans <i>Val di Cembra</i> . Aquarelle peinte par Albrecht DÜRER (1495) et conservée à l' <i>Ashmolean Museum, Oxford</i>	62
1.19 Photographie de l'amont du <i>Val di Cembra</i> dans les années 1950 (TRENTO 1954, p.55)	63
1.20 Photographie de l'amont du <i>Val di Cembra</i> en 2013	64
1.21 Carte de la production viticole en France en 2013, (a) proportion de la production viticole produite par département, (b) proportion de production départementale produite en coopérative	68
1.22 Répartition des viticulteurs de l'AOC Banyuls-Collioure (a) et des surfaces en production (b) entre les différentes structures de vinification	70
1.23 Exemple d'évolution des différentes variables pour l'étude de la maturité sur raisin de Grenache noir en 1997 dans la vallée du Rhône. Le graphe (a) reprend l'évolution du pH, de l'acidité totale et de l'acide malique. Le graphe (b) permet de suivre l'évolution du degré potentiel, des teneurs en anthocyanes et des composés phénoliques totaux (VIN D'A.O.C. CÔTES DU RHÔNE 1997).	72
2.1 Forme produite par la règle 30 après 1000 itérations (WOLFRAM 2002, p.30). La première itération est située à gauche et l'itération n° 1000 à droite.	86
2.2 Six types de <i>scénario</i> proposés par BÖRJESON <i>et al.</i> (2006)	91
2.3 Le développement de l'approche de simulation contemporaine en sciences sociales (d'après TROITZSCH 1997 dans N. GILBERT et TROITZSCH (2005, p.7)). La partie grise représente les modèles à base d'équation, la partie blanche les modèles à base d'objets, d'événements, ou d'agents. sCA veut dire <i>automate cellulaire utilisé pour les simulations</i> en sciences sociales.	94
2.4 Le « jeu de la vie » de J. H. CONWAY, à plusieurs instants.	97
2.5 Le « Processus de ségrégation raciale » par l'espace mis en évidence par SCHELLING (1971)	98
2.6 Forme canonique d'un système multi-agents proposé par JENNINGS (2000, p.281)	100
2.7 Comparaison de cinq approches empiriques de modélisation issues de l'article de ROBINSON <i>et al.</i> (2007). Pour légende : SUR pour <i>Survey</i> , PO pour <i>Participant Observation</i> , EXP pour <i>Field or Laboratory Experiments</i> , CM pour <i>companion Modeling</i> et SPAT pour <i>GIS and Sensed Spatial Data</i> . Les graphes permettent de comparer les différentes approches empiriques vis-à-vis de (A) leur capacité à révéler l'hétérogénéité spatiale et sociale, (B) leur capacité à révéler les interactions entre agents par rapport aux capacités d'apprentissage de ceux-ci, (C) leur capacité à produire des données quantitatives ou qualitatives à propos des agents et enfin, (D) la spatio-temporalité des données fournies.	110

2.8 Cadre méthodologique de la logique de la recherche qualitative couplée aux SMA selon TUBARO et A. A. CASILLI (2010) et la révision proposée par A. CASILLI <i>et al.</i> (2014). (A) représente le point de départ du processus de recherche. Une fois les hypothèses de recherche et les premiers résultats empiriques formulés, une théorie peut émerger (B). Un système à base d'agents peut alors être formalisé comme <i>proof of concept</i> , testé et corrigé. Des étapes supplémentaires peuvent être ajoutées pour intégrer des validations empiriques des données.	112
2.9 Interaction entre le travail de terrain, la modélisation ontologique et les systèmes multi-agents	113
2.10 Temporalité de la construction des six modèles présentés ici, ramenée au temps de la thèse	114
2.11 Positionnement des six modèles à base d'agents par rapport aux données qualitatives et quantitatives qu'ils mobilisent (en s'inspirant du graphe B de ROBINSON <i>et al.</i> (2007). La numérotation de 1 à 5 correspond à la chronologie de construction des modèles	115
2.12 Convertre de l'ontologie conceptuelle par rapport aux modèles à petite échelle	120
2.13 Convertre de l'ontologie conceptuelle par rapport aux modèles à meso échelle	121
2.14 Convertre de l'ontologie conceptuelle par rapport aux modèles à grande échelle	121
2.15 Grille de lecture du « fer à cheval » (BANOS et SANDERS 2013) positionnant les différents modèles de cette thèse	123
3.1 Diagramme de classe du modèle	135
3.2 Schéma de l'ordonnancement des processus en jeux lors d'une itération de la simulation	137
3.3 Evaluation de la stochasticité des résultats du modèle en fonction du nombre de réplications effectuées. En (a) avec 10 réplications, (b) avec 20 réplications, (c) avec 30 réplications	141
3.4 Initialisation de l'espace de simulation dans deux différentes configurations. En (a) un monde de plaine (isotrope) et en (b) un piémont (anisotrope).	142
3.5 Évolution des voies commerciales dans les modèles <i>Dion still alive</i> au cours du temps et pour une simulation. L'espace simulé est considéré à $t = 0$ (a), puis $t = 243$ (b) et enfin $t = 314$ (c) et $t = 315$ (d) pour un monde isotrope.	144
3.6 Fonction d'évolution de la qualité au cours du temps en fonction de r et du type de transformation mathématique appliquée (logistique VS linéaire)	146
3.7 Évolution de l'importance de la demande extérieure, du consentement à payer et du comportement de la qualité sur le nombre de parcelles viticoles après 500 itérations	148
3.8 Importance de l'environnement dans la structuration spatiale du territoire viticole après 500 itérations	149
3.9 Évolution de la qualité des parcelles viticoles en fonction de l'environnement après 500 itérations	150

3.10	L'évolution de la qualité dans les espaces simulés : dans une configuration isotrope (a), puis anisotrope (b). On observe un gradient de qualité (du rouge sombre pour les basses qualités au blanc pour les hautes qualités), et nous distinguons à l'intérieur des zones identifiées comme qualitatives, des petites zones encore plus qualitatives que leurs voisines.	151
3.11	Répartition des valeurs de qualité en fonction du type de comportement mathématique (linéaire ou logistique)	152
3.12	Structuration spatiale du territoire viticole et de la qualité sous-jacente des parcelles. Les deux images supérieures mettent en scène une qualité linéaire. L'image (a) représente l'emprise viticole au bout de 500 itérations, tandis que l'image (b) représente la structuration de la qualité au même instant. De la même manière, les images (c) et (d) représentent une configuration dans un modèle logistique.	153
3.13	Configuration de l'espace de simulation, pour une simulation donnée.	163
3.14	Schéma de l'ordonnancement des processus en jeu lors d'une itération de la simulation	164
3.15	Tirage aléatoire de 10 (a), 20 (b) et 30 (c) simulations par groupe, réparties en 5 groupes (NPV : Nombre de Parcelles Viticoles).	166
3.16	Les dynamiques économiques implémentées dans le modèle VIcTOr. Sur le graphe, les 6 premières courbes ont une dynamique logistique. Le prix payé pour la production viticole ou pour la production céréalicole est lié à la production dans le modèle (c.f. equ 3.4). Pour la dernière courbe légendée « linéaire », le prix payé pour chaque production est linéaire (c.f. equ 3.5) .	171
3.17	Exploration de l'effet de la configuration spatiale initiale sur la conservation du nombre de villages	172
3.18	Exploration de l'effet de la configuration spatiale initiale sur les surfaces cultivées. En "a", on observe les surfaces viticoles, et en "b" les surfaces en céréales	173
3.19	Exploration du comportement des localités et de leur réorganisation en fonction de la saturation de l'espace.	174
3.20	Exploration de l'utilisation de l'espace pour la culture de la vigne, en fonction du nombre d'agents "localités" initialisé dans un système économique linéaire. Les courbes pleines (notées "a") reprennent le pourcentage de parcelles viticoles implantées sur des terres mieux disposées à produire de la vigne. Les courbes en pointillé (notées "b") représentent la proportion d'espace disponible sur ces terres.	175
3.21	Exploration de l'utilisation du sol pour la viticulture en fonction du type de marché logistique. Les courbes pleines permettent d'évaluer la proportion implantée de parcelles viticoles sur des terres adaptées par rapport au nombre total de parcelles viticoles. Les courbes en pointillés nous donnent la proportion utilisée des terres adaptées à la viticulture.	177
3.22	Exploration de la sensibilité à différentes variations d'un marché logistique. Le graphique "a" représente le nombre de parcelles viticoles, et le graphique "b" représente le nombre de parcelles en céréales par rapport au temps, dans les deux cas, en fonction du coefficient b de la fonction logistique	178

3.23	Deux types de configuration spatiale du territoire après 300 itérations. Sur la ligne du haut, le modèle était soumis à un marché guidé par une fonction affine. On retrouve en (a) le partage de l'espace entre vigne et céréales, en (b) l'histoire de la culture de la vigne (nombre d'itérations où la vigne s'est maintenue sur la parcelle) et en (c) le nombre de fois où le couvert végétal a varié sur la parcelle. Sur la ligne du bas, le modèle est guidé par un marché logistique. Comme précédemment on retrouve en (d) le partage de l'espace entre vigne et céréales, en (b) l'histoire de la culture de la vigne (nombre d'itérations où la vigne s'est maintenue sur la parcelle) et en (f) le nombre de fois où le couvert végétal a varié sur la parcelle.	181
4.1	Photos des vignobles de Banyuls-sur-Mer (Pyrénées-Orientales, France) fig. (a), et Cembra (Trentino, Italie) fig. (b)	191
4.2	Localisation des parcelles viticoles (en violet) sur l'AOC cru Banyuls (2013)	191
4.3	Estimation par noyau de la pente des populations de parcelles viticoles et non viticoles	192
4.4	Estimation par noyau de la pente des populations de parcelles viticoles (fig. (a), pour les parcelles échangées entre 2011 et 2013) (fig. (b), pour les parcelles abandonnées entre 2011 et 2013) sur l'AOC cru Banyuls	194
4.5	Cartographie des temps de parcours sur la Côte Vermeille	196
4.6	Estimation par noyau de l'accessibilité de la population de parcelles viticoles (fig. (a), pour les parcelles abandonnées entre 2011 et 2013) (fig. (b), pour les parcelles colonisées entre 2011 et 2013) sur l'AOC cru Banyuls	197
4.7	Cartes reprenant respectivement les altitudes et les pentes sur les zones de modélisation. (a) et (b) dans le bassin de la Baillaury sur la commune de Banyuls-sur-Mer (Pyrénées orientales, France), (c) et (d) sur la zone de modélisation dans la haute vallée suspendue du Val di Cembra (Trentino, Italie)	199
4.8	Diagramme de classes UML du modèle Lame	200
4.9	Ordonnancement des processus qui entrent en jeu dans LAME	202
4.10	Évaluation de la stochasticité des résultats du modèle LAME sur 10 (a), 20 (b)et 30 (c) réplications d'un même jeux de paramètres	203
4.11	Capacité de travail d'un Homme en ha en fonction de la pente en %	206
4.12	Graphiques en boite à moustache reprenant la pente médiane des parcelles viticole (a), et la surface viticole (b) dans une espace abstrait.	208
4.13	Graphiques en boite à moustache reprenant la pente médiane des parcelles viticoles (a), et la surface viticole (b) dans un espace réel.	209
4.14	Courbe de densité sur les pentes des parcelles échangées avec la délimitation de l'intervalle FWHM	210
4.15	Courbe de densité des pentes moyennes pour les parcelles échangées durant les simulations dans un contexte abstrait (a) et dans un contexte SIG (b)	212
4.16	Répartition du capital entre les viticulteurs de plaine et de pentes (avec $\beta = 60$)	213
4.17	Fragmentation des exploitations selon leurs lieux d'implantation en plaine ou en montagne	214
4.18	Évolution de la population de viticulteurs ruinés, proportion des viticulteurs en activité ayant leur exploitation sur des zones de pentes, et surface viticole totale dans le modèle au cours du temps dans un espace abstrait.	214

4.19	Évolution de la population de viticulteurs ruinés, proportion des viticulteurs en activité qui ont leur exploitation sur des zones de pentes, et surface viticole totale dans le modèle au cours du temps dans un espace SIG	215
4.20	Mise en regard du nombre de coopératives par département (a) et du <i>ratio</i> du nombre d'adhérents sur le nombre de coopératives par département (b)	222
4.21	Diagramme de classes UML du modèle CIVIsMe	226
4.22	Ordonnancement des processus qui entrent en jeu dans CIVIsMe	227
4.23	Évaluation de la stochasticité des résultats du modèle LAME sur 10 (a), 20 (b) et 30 (c) réplications d'un même jeu de paramètres	230
4.24	Deux exemples de régression linéaire en fonction du capital économique des agents	233
4.25	Évolution de l'indice de Gini en fonction du paramétrage	236
4.26	Évolution du nombre viticulteur ruiné	238
4.27	Évolution des surfaces viticoles	240
4.28	Évolution de la pente en fonction du statut des viticulteurs : (a) pour les viticulteurs coopérateurs (b) pour les viticulteurs indépendants	241
4.29	Exploration d'un scénario « catastrophique ». La coopérative viticole disparaît en cours de simulation (30 itérations), l'observation est faite 20 itérations après. Le graphique (a) nous permet d'évaluer les conséquences sur l'indice de Gini, le graphe (b) sur le tissu social et le nombre de viticulteurs en faillite, et enfin le graphe (c) sur les surfaces toujours viticoles. Les graphes (d) et (e) reprennent respectivement la surface moyenne des exploitations indépendantes dans une situation où la coopérative disparaît, et quand la coopérative existe.	242
5.1	Influence de la moyenne des températures journalières au dessus de 10 °C entre le 15 janvier et le 15 août sur l'acidité totale de la vendange au 15 août. Chaque point correspond à une parcelle expérimentale du réseau de capteurs TERVICLIM pour une des années 2011, 2012 ou 2013.	254
5.2	Carte issue d'un traitement par régression linéaire sur les données de terrain. La figure (a) est le résultat de la spatialisation des températures le 15 août 2012 à partir des relevés sur les 11 parcelles. La figure 5.2(b) est le résultat de la spatialisation de l'acidité totale (en $g \times L^{-1}$) de la vendange issue de prélèvements effectués le 15 août 2012.	257
5.3	Schéma général de l'ordonnancement des processus dans le modèle	259
5.4	Évaluation de la stochasticité des résultats du modèle en fonction du nombre de réplications effectué. En (a) avec 10 réplications, (b) avec 20 réplications, (c) avec 30 réplications	261
5.5	Graphique de formalisation mathématique du comportement de la cave coopérative. Les graphes de la figure (a) reflètent le comportement de rémunération dans un contexte ouvert, tandis que les graphes de la figure (b) montrent le comportement de rémunération dans un contexte borné.	265
5.6	Capacité de travail d'un Homme en ha en fonction de la pente en %	267
5.7	Évolution de l'acidité sur 40 simulations en fonction de μ . La première colonne de "boxplot" représente l'acidité moyenne sur les parcelles si aucune politique n'est mise en place. Les autres graphiques représentent les valeurs d'acidité en ordonnée en fonction des valeurs de μ en abscisse. Chaque graphe pour une valeur de <i>bonus/malus</i> définie de 1000 à 5000.	270

5.8 Évolution du nombre de parcelles viticoles sur 40 simulations en fonction de μ . La première colonne de "boxplot" représente le nombre de parcelles si aucune politique n'est mise en place. Les autres graphiques représentent les nombres de parcelles en ordonnée en fonction des valeurs de μ en abscisse. Chaque graphe pour une valeur de <i>bonus/malus</i> définie de 1000 à 5000.	271
5.9 Évolution du nombre de parcelles en friche sur 40 simulations en fonction de μ . La première colonne de "boxplot" représente le nombre de parcelles si aucune politique n'est mise en place. Les autres graphiques représentent les nombres de parcelles en ordonnée en fonction des valeurs de μ en abscisse. Chaque graphe pour une valeur de <i>bonus/malus</i> définie de 1000 à 5000.	272
5.10 Évolution de la fragmentation du vignoble sur 40 simulations en fonction de μ . La première colonne de "boxplot" représente le nombre de parcelles si aucune politique n'est mise en place. Les autres graphiques représentent le nombre de parcelles en ordonnée en fonction des valeurs de μ en abscisse. Chaque graphe pour une valeur de <i>bonus/malus</i> définie de 1000 à 5000.	274
5.11 Résultat pour 40 simulations de chaque jeu de paramètres sur le temps long (100 ans). Valeur de l'évolution de l'acidité fig. (a), et de la fragmentation du vignoble fig. (b).	275
5.12 La répartition des surfaces viticoles mondiales en 2010. Nous situons les pays producteurs et la proportion de la production mondiale (sources : Université d'Adélaïde)	283
5.13 Comparaison entre les données de température des capteurs TERVICLIM journalisées, et les moyennes des températures quotidiennes sur 24 mesures de Météo France	284
5.14 Carte de la zone d'étude. (a) localisation à petite échelle de la zone des parcelles confusées sur fond de carte OpenStreetMap (commune de Collioure), (b) variations de température moyenne annuelle sur la zone étudiée. Les graphiques dans les marges de la fig (b) sont les moyennes des températures en X et en Y.	285
5.15 Comptages des individus de <i>L. botrana</i> mâles sur la parcelle de "la Tourette" pour la période 2011 à 2013	286
5.16 Diagramme UML de classe pour le modèle CELL	289
5.17 Ordonnancement des processus du modèle CELL	290
5.18 Hétérogénéité de la population de <i>lobesia</i> : répartition du caractère <i>h</i> de thermophile entre les individus	293
5.19 Évolution des résultats de simulation par échantillon de 10 (a), 20 (b) et 30 (c) individus tirés aléatoirement parmi 10 000 simulations d'un même paramètre. Nous voyons bien qu'à partir de 30 simulations, nous atteignons une certaine stabilité du modèle	295
5.20 Les comportements de la médiane des carrés aux écarts à la moyenne (a), et de la moyenne de la distance à la fin de la simulation (b). Les graphes en colonne représentent l'étendue de la zone d'infestation à l'initialisation, et les lignes correspondent au nombre d'œufs que peuvent pondre les femelles.	297

5.21	Effet de la distance entre les pièges à phéromones sur la population de <i>L.botrana</i> en situation de lutte concertée au niveau du bassin versant. En (a) nous observons l'effet sur le nombre d'individus, en (b) sur la fécondité des femelles, en (c) sur le nombre d'œufs, et enfin en (d) sur les surfaces infestées par le parasite.	305
5.22	L'effet de la densité de diffuseur de phéromones sur la distribution spatiale des <i>L. botrana</i> , en (a) avec une forte densité (4 mètres entre chaque diffuseur), en (b) avec une densité moyenne (12 mètres) et en (c), quand la densité est plus faible (20 mètres entre les diffuseurs). La concentration en phéromones est symbolisée par un dégradé du blanc (valeurs hautes), au noir (absence), en passant par toutes les valeurs de bleu pour les valeurs de présence de phéromones. La cible centrale donne l'échelle de l'image, elle est la même dans toutes les prises de vue.	306
5.23	Effet de la distance entre les pièges à phéromones sur la population de <i>L.botrana</i> en situation de lutte raisonnée à la parcelle. En (a) nous observons l'effet sur le nombre d'individus, en (b) sur la fécondité des femelles, en (c) sur le nombre d'œufs, et enfin en (d) sur les surfaces infestées par le parasite.	309
5.24	Comportement des variables d'intérêt dans une situation avec passagers clandestins. En (a), est montré l'effet de la distance minimum du passager clandestin sur le nombre d'individus, en (b) celui de cette même variable sur le nombre d'œufs. Les graphes (c) et (d) reprennent respectivement le nombre moyen de fécondations par femelle et les surfaces infectées au regard du nombre de passagers clandestins sur la zone simulée.	312
6.1	Les étapes de la démarche SYSPATHMM proposée par M. SEBILLOTTE et C. SEBILLOTTE (2002) au regard de l'approche de modélisation	323
6.2	Exemple de relations entre les variables <i>i</i> , <i>k</i> et <i>j</i> d'après GODET (2014a, p.169)	326
6.3	Exemple de relation entre les variables structurelles de la viticulture de fortes pentes.	327
6.4	Plan motricité / dépendance des variables structurelles pour le système viticole de fortes pentes	331
6.5	Identification des variables structurant le système viticole des AOC Banyuls-Collioure par les acteurs vitivinicoles	332
6.6	Plan motricité / dépendance des variables structurelles pour le système viticole de fortes pentes construit par les acteurs	336
6.7	Mouvement des variables sur le plan motricité et dépendance entre leur positionnement « modèle » et leur positionnement « acteur »	338
6.8	Évolution de 1980 à 2013 de la production et de la consommation de vin en France (a), de l'évolution du prix du vin (b), et de l'évolution des importations et exportations (en millions de litres)(c)	343
6.9	Régression linéaire mettant en regard les volumes produits en coopérative et ceux produits en cave particulière par département en 2013. Graphique (a) : nous considérons tous les départements viticoles. Graphique (b) : nous nous concentrons sur les départements produisant moins de 7.5×10^5 hl . . . 345	

6.10	Graphiques issus des données italiennes. En (a), la répartition des surfaces viticoles italiennes en fonction des zones altimétriques, et en (b) l'évolution des surfaces de productions viti-vinicoles entre 1990 et 2010	346
6.11	Graphique issu du rapport MEDIOBANCA 2014 sur le secteur viticole italien. En (a), la proportion de chaque produit vinicole généré par le monde coopératif, en (b) par les entreprises privées.	347
6.12	Persistance de la viticulture de fortes pentes dans différents régions d'Europe. (a), la vigne en terrasse conduite en pergola en vallée d'Aosta (IT), (b) la viticulture des contreforts du lac Léman à Lavaux (CH), (c) la viticulture sur les pentes de l'Étna en Sicile (IT), (d) dans la cluse de Chambéry en Savoie (FR),(e) vignoble au dessus de la <i>frazione</i> de <i>Groppi</i> sur la commune de <i>Riomaggiore</i> dans le <i>Cinque terre</i> (IT)	354
6.13	Niveaux d'intérêt porté par les acteurs au modèle en fonction de leurs interactions sur le territoire projeté sur le diagramme proposé par BANOS et SANDERS (2013)	358

Liste des tableaux

1.1	Effectif et importance des coopératives viticoles par pays (estimations 2005-2007)	66
3.1	Les différents plans d'expériences effectuées avec VIcTOr	167
4.1	Analyse de variance (ANOVA) sur la relation entre les parcelles viticoles et la pente moyenne de celles-ci (c.f. fig. 4.3)	192
4.2	Analyse de variance (ANOVA) sur la relation entre les parcelles échangées et parcelles conservées vis-à-vis de leurs valeurs de pentes moyennes (c.f. fig. 4.4(a))	193
4.3	Analyse de variance (ANOVA) sur la relation entre les parcelles abandonnées et celles encore cultivées en 2013 et la pente moyenne de celles-ci (résultats non significatifs <i>ns</i>), c.f. fig. 4.4(b)	194
4.4	Analyse de variance (ANOVA) sur la relation entre les parcelles colonisées entre 2011 et 2013 et les parcelles qui sont restées entretenues et la pente moyenne de celles-ci (résultats non significatifs <i>ns</i>)	195
4.5	Analyse de variance (ANOVA) sur la relation entre les parcelles abandonnées et cultivées vis-à-vis de leur accessibilité (résultats significatifs), c.f. fig. 4.6(a)	195
4.6	Analyse de variance (ANOVA) sur la relation entre les parcelles colonisées par rapport à celles héritées vis-à-vis de leur accessibilité (résultats non significatifs <i>ns</i>), c.f. fig. 4.6(b)	197
4.7	valeurs résumées sur la zone de travail ($9km^2$)	198
4.8	Valeurs d'initialisation du modèle	204
4.9	Résumé des surfaces représentées par les coopératives sur l'AOC du cru Banyuls	223
4.10	Résumé du nombre de viticulteurs représenté par les coopératives sur l'AOC du cru Banyuls	223
4.11	La surface médiane des viticulteurs de chacun des 4 groupes présente sur l'AOC du cru Banyuls	223
4.12	Valeurs d'initialisation du modèle	232
5.1	Variables d'initialisation du modèle	263
5.2	Moyenne sur 40 simulations de l'acidité moyenne et la variance moyenne, suivant les valeurs de <i>bonus</i> après 50 itérations	269
5.3	Gamme des températures cumulées par les <i>L. botrana</i> suivant leur répartition dans la population (c.f. fig. 5.18)	292
5.4	Cinq premiers paramètres permettant de minorer nos indicateurs. CD coefficient de diffusion des phéromones, NO nombre oeufs, SR surface d'infestation initiale, DV distance de visibilité, LSQr i la moyenne des écarts au carré entre le nombre d'individus piégés réel et le nombre d'individus piégés dans le modèle, TS Distance médiane à la date de fin de simulation	298
5.5	Valeurs d'initialisation du modèle CeLL	298
5.6	Coefficient de l'équation 5.12 pour les différents stades de développement de <i>L. botrana</i>	300

5.7	Résultats des simulations d'évolutions des <i>L. botrana</i> sans piège. Le nombre de <i>L. botrana</i> reprend le nombre d'individus, tous stades de développement confondus. Fécondation permet d'évaluer la moyenne et la médiane du nombre moyen de fécondations que porte une femelle. Le nombre d'œufs est le nombre moyen et médian. Les surfaces touchées représentent la surface viticole atteinte par au moins un parasite	302
5.8	Résultat de l'analyse de sensibilité effectuée dans un environnement homogène en piège. Les moyennes (moy) et les médIANes (med) de chaque variable d'intérêt. En colonne nous retrouvons pour chaque variable d'intérêt sa valeur en fonction de la distance entre les diffuseurs de phéromones.	302
5.9	Tableau synthétique des résultats de l'ANOVA pratiqués sur les résultats de simulation pour tester la corrélation entre la configuration spatiale des pièges installés à l'échelle du bassin versant (noté DP pour Distance entre les Pièges) et les différentes variables d'intérêt . Les étoiles (*) représentent la significativité de la p-value : '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 . . .	303
5.10	Nombre de pièges en fonction de l'échelle à laquelle est pensé le piégeage. Nous considérons rt2 comme la lutte à l'échelle du bassin versant, et rt3 la lutte à l'échelle de la parcelle. Les valeurs sont les moyennes du nombre de pièges par distance entre les pièges. Diff est la différence entre la situation rt3 et rt2	307
5.11	Tableau synthétique des résultats de l'ANOVA pratiqués sur les résultats de simulation pour tester la corrélation entre la configuration spatiale des pièges installés à l'échelle des parcelles, les différentes variables d'intérêt et la distance entre les pièges (noté DP). Les étoiles (*) représentent la significativité de la p-value : '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 . . .	308
5.12	Tableau synthétique des résultats de l'ANOVA pratiquée sur les résultats de simulation en présence de passagers clandestins dans la zone de lutte. Nous testons ici la corrélation entre la classe de distance au clandestin (CL), la distance entre les pièges (noté DP), le nombre de passagers clandestins (NC) et les différentes variables d'intérêt. Les étoiles (*) représentent la significativité de la p-value : '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 . . .	311
6.1	Matrice des relations entre les variables agrégées du système viticole de fortes pentes	325
6.2	Organisation des variables motrices et dépendantes du système viticole de fortes pentes par la méthode micmac	329
6.3	Les canaux de distribution des entreprises de vinification italienne en 2013. Ho.Re.Ca représente les Hôtels-Restaurants-Auberges	348

Réflexions géographiques sur l'usage des systèmes multi-agents dans la compréhension des processus d'évolution des territoires viticoles de fortes pentes : Le cas de la Côte Vermeille et du Val di Cembra

Résumé :

En ce début de XXI^e siècle, le vin et la vigne constituent une richesse importante pour bon nombre de pays. Les territoires viticoles, tout en conservant leurs qualités d'espace de production, développent des stratégies d'adaptation à la globalisation du marché et aux attentes des consommateurs toujours plus versatiles.

Or en raison de conditions orographiques particulières, les territoires de montagne et de fortes pentes voient leurs marges de manœuvre réduites. En effet, une grosse partie de leurs coûts de production reste bien souvent incompressible par rapport à la viticulture de plaine. Paradoxalement ces paysages viticoles, image du construit social et des équilibres environnementaux, participent à leur reconnaissance internationale.

Le travail présenté ici est né en réponse à la sensibilité croissante de ces vignobles de fortes pentes. En nous appuyant sur deux territoires d'étude, en France le vignoble de la Côte Vermeille et en Italie le val di Cembra, nous questionnons les spécificités de la viticulture de fortes pentes. Notre approche met l'accent sur les possibilités offertes par des méthodes empiriques de modélisation à base d'agents pour proposer un regard renouvelé sur le rôle des interactions société-environnement dans le maintien et le développement de ces territoires sous contraintes. A travers une constellation de modèles multi-agents issus des questionnements récurrents des acteurs de la filière, et selon une démarche exploratoire et incrémentale, nous nous intéresserons ici à trois grands types de questions posées aux territoires viticoles de fortes pentes.

Le premier concerne la place du marché et ses conséquences sur les dynamiques de couvert végétal à petite échelle. Le second type de questionnement explore également les dynamiques spatiales du couvert végétal, mais se place à mezzo-échelle, et propose de s'intéresser à la définition des règles socio-économiques simples qui sous-tendent les dynamiques foncières à l'échelle de quelques communes. Enfin le dernier volet de ce travail se place à grande échelle et s'intéresse à des phénomènes très descriptifs.

L'ensemble de ces réflexions nous amènera ensuite à utiliser la modélisation co-construite avec les acteurs pour proposer une vision prospective globale pour les territoires de montagne et de fortes pentes. Cette approche prospective sera conduite en parallèle avec certains acteurs de la filière ce qui nous permettra de délimiter les variables structurelles propres aux systèmes de fortes pentes telles qu'elles sont ou non vécues par les acteurs. Basés sur la délimitation de ces variables, nous proposons enfin quatre *scenarii* prospectifs pour la viticulture en fortes pentes.

Mots clés :

Géographie, viticulture, systèmes multi-agents, simulation, modélisation, fortes pentes, vignoble, Banyuls, Pyrénées orientales, val di Cembra, Trentino.

Geographical investigations about the use of agent based model in the understanding of the evolution in steep slopes vineyard areas : *Côte Vermeille* and *val di Cembra* case

Abstract :

Wine and vineyards stand nowadays as a significant wealth for a number of countries. While retaining their properties as production space, vine-growing regions are developing adaptation strategies to market globalisation and to the ever more versatile consumer expectations.

Yet, due to the corresponding specific orographic conditions in steep slope and mountain regions, actor's relative leeway is reducing . Comparatively to plain wine-growing, a large part of their production costs often remains indeed incompressible. On the other hand, these vine-growing landscape take advantage of such harsh conditions in terms of international recognition, as images of social construct and environmental equilibrium.

The work presented here emerged as a response to this steep slope vineyards' sensitivity. This investigation relies on two study areas : the Côte Vermeille vineyards in France, and the val di Cembra in Italy. Our approach focuses on the opportunities granted by agent-based empirical modelling methods, in order to put forward a renewed look at the role of society-environment interactions in the sustainability and development of territories subject to constraints.

Using an exploratory and incremental method, three significant issues of steep slope vine-growing regions have been addressed, thanks to a constellation of multi-agent models, derived from questioning actors of this sector.

The first considers the market's impacts on the small-scale plant cover dynamics. The second issue focuses on meso-scale plant cover dynamics and questions the definition of simple socio-economic ruleset, within the frame of land property dynamics and applied to the scale of a few municipalities. The last section of this work is dedicated to some descriptive phenomena within a large scale.

Thus, the sum of these reflections leads us to exploit co-designed modelling with the stakeholders in order to propose a global prospective vision for mountain and steep slope regions. This prospective approach is conducted in association with some of the players in the sector, thus allowing us to delineate the structural variables linked to steep slope vineyards' systems in agreement with their experience. Based on these delineated variables, four prospective scenarii are put forward for the steep slope vine-growing activity.

Keywords :

Geography, viticulture, agent-based model, simulation, modelisation, steep slope, vineyard, Banyuls, Pyrénées Orientales, val di Cembra, Trentino.