HAL
open science

Le modèle VitiTerroir pour simuler la dynamique spatiale des vignobles sur le temps long (1836-2014)

Adrien Lammoglia, Samuel Leturcq, Etienne Delay

To cite this version:

Adrien Lammoglia, Samuel Leturcq, Etienne Delay. Le modèle VitiTerroir pour simuler la dynamique spatiale des vignobles sur le temps long (1836-2014) : Exemple d'application au département d'Indre-et-Loire. Cybergeo : Revue européenne de géographie / European journal of geography, 2018, 863, 10.4000/cybergeo.29324 . hal-01886774

HAL Id: hal-01886774

https://hal.science/hal-01886774

Submitted on 3 Oct 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Cybergeo : European Journal of Geography
GeOpenMod - Modèles et logiciels | 2018

Le modèle VitiTerroir pour simuler la dynamique spatiale des vignobles sur le temps long (1836-2014)

Exemple d'application au département d'Indre-et-Loire

The VitiTerroir model to simulate the spatial dynamics of vineyards on the long term (1836-2014)

Adrien Lammoglia, Samuel Leturcq et Étienne Delay

Édition électronique
URL : http://journals.openedition.org/cybergeo/29324
ISSN : 1278-3366

Éditeur
UMR 8504 Géographie-cités

Ce document vous est offert par Université de Tours

Référence électronique
Adrien Lammoglia, Samuel Leturcq et Étienne Delay, « Le modèle VitiTerroir pour simuler la dynamique spatiale des vignobles sur le temps long (1836-2014) », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], GeOpenMod - Modèles et logiciels, document 863, mis en ligne le 01 octobre 2018, consulté le 03 octobre 2018. URL : http://journals.openedition.org/cybergeo/29324

Ce document a été généré automatiquement le 3 octobre 2018.

© CNRS-UMR Géographie-cités 8504

Le modèle VitiTerroir pour simuler la dynamique spatiale des vignobles sur le temps long (1836-2014)

Exemple d'application au département d'Indre-et-Loire

The VitiTerroir model to simulate the spatial dynamics of vineyards on the long term (1836-2014)

Adrien Lammoglia, Samuel Leturcq et Étienne Delay

Introduction

1 VitiTerroir est un programme de recherche financé par la région Centre-Val de Loire (France) de 2014 à 2016. Les paysages viticoles actuels résultent d'une évolution historique pluriséculaire, voire plurimillénaire, sous l'effet conjugué de facteurs culturels (évolution des goûts, sentiment d'attachement identitaire à la vigne...), sociaux (exigences nouvelles des consommateurs en matière de santé publique et de bien-être...), économiques (évolution de la demande, pression de la concurrence...), juridiques (évolution de la législation sur les droits de plantation...) et environnementaux (appauvrissement ou érosion des sols, préoccupations paysagères, pression urbaine, évolutions climatiques...). Avec le modèle VitiTerroir, nous proposons d'aborder les dynamiques des vignobles dans la longue durée selon une approche systémique et à l'échelle de la Touraine (département d'Indre-et-Loire, où se trouvent les AOC ligériennes Touraine, Chinon, Vouvray, Montlouis, Bourgueil et Saint-Nicolas-de-Bourgueil). Sur la base de la réflexion fondatrice de Roger Dion (Dion, 1959), à partir d'études historiques préalables à l'échelle communale (Lammoglia et Leturcq, 2017a ; Leturcq *et al.*, 2015), départementale (Lammoglia et Leturcq, 2017b), régionale et nationale (Legouy, 2014), il s'agit d'identifier le rôle de quelques facteurs fondamentaux dans l'évolution des superficies communales viticoles tourangelles de 1836 à 2014. L'évaluation des facteurs se fait par l'intermédiaire d'un modèle de simulation spatialisé développé avec la plateforme GAMA (Taillandier *et al.*, 2012). Nous étudions plus particulièrement l'influence de la

démographie et de la consommation de vin, l'impact de l'expansion des zones urbanisées, la crise du phylloxéra dans les années 1880-1890, le classement AOC à partir des années 1930 et la reconnaissance qualitative historique de certains vignobles. L'enjeu du modèle est d'identifier les conditions de résilience des vignobles actuels aux chocs sociaux, culturels et économiques, en partant d'une analyse des dynamiques spatiales entre 1836 et 2014.

La géosimulation appliquée à la viticulture, un état de l'art

2 La modélisation à base d'agents est une pratique issue des sciences de la complexité à la croisée de l'informatique et de l'intelligence artificielle distribuée. Elle émerge dans les années 1980 de la nécessité de s'intéresser à des systèmes capables de s'adapter à des modifications de structure ou d'environnement, et la prise en compte de la complexité des problèmes imposés par une vision locale (Ferber et Perrot, 1995). À notre connaissance, les sciences de la vigne et du vin ont commencé à s'emparer de ces outils au début du 21e siècle. Nous proposons ici un rapide état de l'art permettant de situer le travail de modélisation effectué dans le cadre de VitiTerroir.

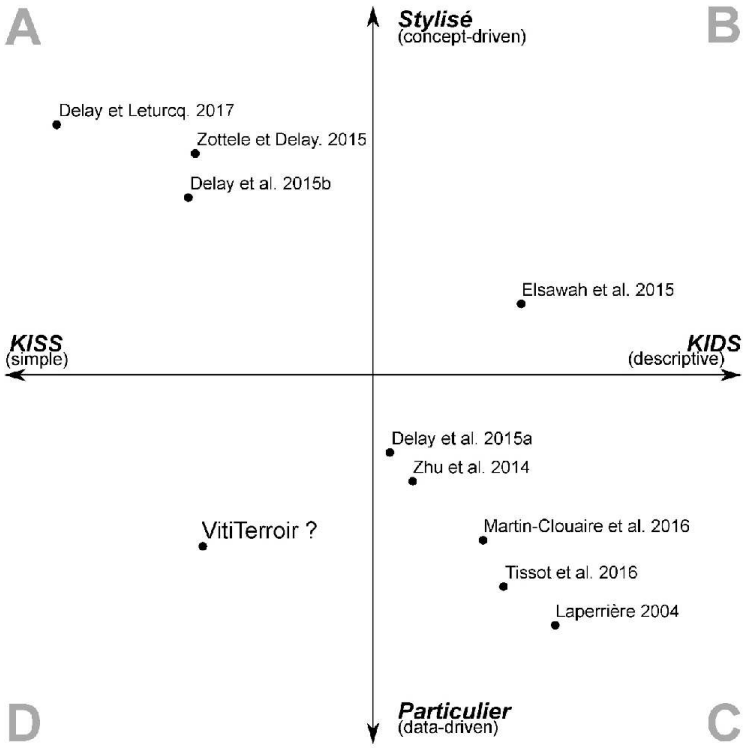
3 Pour ce faire, nous mobilisons un graphique proposé par Banos et Sanders (2013), qui permet de positionner de manière relative différents modèles à base d'agents (figure 1). En abscisse s'opposent les approches KISS (*Keep It Simple Stupid*) et KIDS (*Keep It Descriptive Stupid*) (Edmonds et Moss, 2004), tandis qu'en ordonnée s'opposent les modèles *concept-driven* et *data-driven* ce qui nous donne un graphique avec quatre quadrants (A-B-C-D). Nous y présentons quelques travaux mobilisant les SMA (Systèmes Multi-Agents) pour réfléchir à des problématiques viticoles.

4 Le quadrant A de la figure 1 met en exergue des modèles développés pour servir de « béquille à l'esprit humain » (Banos, 2010). Il ne s'appuie pas à proprement parler sur des données quantitatives et vise plus à démontrer et explorer des dynamiques spatiales de manière théorique. C'est le cas du modèle CiViSMe (Delay *et al.*, 2015) qui montre l'influence de la coopération pour un système viticole de montagne stylisé. Le modèle ViCTor (Delay et Leturcq, 2017) s'intéresse de manière très abstraite aux effets sur les dynamiques des paysages viticoles de la concurrence entre culture vivrière (céréale) et culture pérenne (vigne). Enfin, dans le même quadrant, le modèle présenté par Zottele et Delay (2015) s'intéresse aux effets de l'isolement spatial des pratiques viticoles sur les pratiques culturales. Les modèles du quadrant B maintiennent un certain nombre de mécanismes stylisés, mais s'attachent à décrire de manière plus précise les interactions sociales. Le travail décrit par Elsawah *et al.* (2015) formalise les prises de décision des viticulteurs ; tout en étant plus descriptif quant aux mécanismes de prise de décision, l'abstraction conserve une bonne place dans le modèle. Le quadrant C regroupe la majorité des travaux recensés. Ceux-ci arborent un très fort ancrage local. Les travaux de Martin-Clouaire *et al.* (2016) ainsi que de Tissot *et al.* (2014) s'intéressent à la formalisation des prises de décision de viticulteurs de manière fine. Zhu *et al.* (2014) travaillent aussi à l'échelle fine sur l'influence du changement climatique tout comme le modèle AcidityGIS (Delay, 2015). Le travail de Laperrière (2004), s'inscrivant au niveau individuel, s'intéresse à l'influence des interactions sociales (respectivement inter-individus et avec la coopérative). À ce stade, le modèle VitiTerroir s'inscrit dans le quadrant D, car nous avons choisi de travailler sur un modèle relativement abstrait par son niveau d'agrégation, tout en essayant de reproduire un motif dicté par des données issues de notre travail de

collecte (données géographiques géolocalisées ; superficies viticoles pour chaque commune pour plusieurs années des 19e et 20 e siècles jusqu'en 2014 ; données démographiques).

5 Le modèle VitiTerroir appartient à la famille des modèles KIDS et se positionne dans le quadrant D. Il s'appuie sur des données de superficies viticoles collectées pour la période 1808-2014, des données démographiques et de consommation, mais en travaillant à un niveau de simulation agrégé (résolution communale). Les facteurs implémentés ne sont pas exhaustifs et la description des mécanismes d'évolution est aussi simple que possible tout en étant très fortement ancrée dans le territoire.

Figure 1 : typologie de quelques modèles appliqués à la viticulture selon la grille proposée par (Banos et Sanders 2013)



Questions de recherche

6 Le programme VitiTerroir est porté par la volonté de trouver les facteurs d'évolution qui permettraient de caractériser la dynamique des vignobles tourangeaux sur le temps long. En se fondant sur les deux derniers siècles, existe-t-il des facteurs déterminants ? Si oui, lesquels ? En modélisant ces facteurs peut-on concevoir un outil de simulation suffisamment précis pour retracer l'évolution passée des surfaces viticoles ?

7 Le premier objectif de ce travail est de modéliser quatre facteurs identifiés *a priori* comme importants, à savoir (i) l'évolution de la consommation de vin par habitant combinée à l'évolution démographique française, (ii) la polarisation des vignobles par quelques centres de productions historiques (théorie des noyaux d'élite et délimitation AOC) (iii) l'expansion des zones urbanisées que nous analysons à travers l'évolution de la densité de population par commune et (iv) la crise du phylloxera (dès 1882 en Touraine) (Tessier,

2010). Nous sommes conscients que ces facteurs ne sont pas exhaustifs. Par exemple, les structures sociales telles que les regroupements de viticulteurs ont certainement joué un rôle important. Néanmoins, à ce stade de la recherche et en l'absence de donnée adéquates, il est impossible de les intégrer au modèle. Le second objectif est d'évaluer la précision du modèle et son aptitude à appréhender la dynamique spatiale des vignobles selon une approche rétrospective.

Présentation du modèle

8 Le modèle VitiTerroir simule l'évolution des superficies viticoles des communes d'Indre-et-Loire à partir d'un temps t_0 (1836) jusqu'à un temps t_{final} (2014). Les superficies viticoles sont calculées année par année, selon une équation générale intégrant des facteurs à l'échelle globale (France et département) et locale (commune). Le modèle intègre quatre facteurs que nous détaillons ici.

- L'évolution de la consommation par habitant combinée à l'évolution démographique française. Ce facteur, qui représente la demande en vin, agit de manière homogène sur toutes les communes.
- La distance de chaque commune à des berceaux viticoles historiques, dénommés « noyaux d'élite ». Suivant la théorie de Georges Kuhnholz-Lordat (1963), nous faisons l'hypothèse qu'un vignoble est d'autant plus résilient qu'il est proche d'un noyau d'élite. À partir des années 1936-1939, les communes sont également impactées en fonction de leur situation par rapport aux délimitations des aires AOC mises en place par l'INAO. Ce facteur introduit une différenciation spatiale à l'échelle du territoire et permet de distinguer les communes ayant une activité viticole favorisée par une réglementation.
- L'expansion des zones urbanisées que nous analysons à travers l'évolution de la densité de population dans chaque commune. Ce facteur permet d'identifier les communes ayant potentiellement connu une compétition spatiale importante entre la vigne et la ville à partir de la seconde moitié du 20e siècle. À titre d'exemple, la population de Joué-lès-Tours a été multipliée par dix entre 1926 et 1982.
- La crise du phylloxera qui a entraîné une chute brutale des surfaces viticoles (environ 45 %) à la fin du 19e siècle.

Résolution spatiale et temporelle

9 Nous simulons l'évolution des superficies viticoles à l'échelle du département d'Indre-et-Loire et avec une résolution communale. Les 273 communes sont modélisées sous forme d'agents dans la plateforme GAMA. Le pas de temps de la simulation est l'année (une itération = 1 an). La durée de simulation est variable, nous la définissons en fonction de la période à simuler. Pour cet article, nous nous sommes focalisés sur la période 1836-2014 qui correspond à la période la plus longue pour laquelle nous disposons des données fiables.

Description des agents

10 Le modèle intègre une seule catégorie d'agents : les communes. Les agents n'ont aucune capacité de cognition ni d'interaction. Chaque commune est caractérisée par une quantité

de vigne initiale, une distance au noyau d'élite le plus proche, son appartenance ou non à une aire AOC et une dynamique de peuplement (évolution de la densité de population).

Formalisation du modèle

11 L'évolution des superficies viticoles communales est calculée au moyen d'une équation, identique pour toutes les communes, intégrant les quatre facteurs. À chaque itération, les 273 communes exécutent l'équation suivante et mettent à jour leur variable $SurfaceVigneSimu_{t+1}$:

$$SurfaceVigneSimu_{t+1} = SurfaceVigneSimu_{t} \times \frac{CoefConso^{PoidsConso} \times CoefPop \times CoefAOC}{\mathrm{DistanceNoyaux}^{\mathrm{PoidsDistanceNoyau}} \times \mathrm{CoefDensite}^{\mathrm{PoidsDensite}}}$$

12 À chaque itération les 273 communes mettent à jour leur variable $SurfaceVigneSimu_{t+1}$.

13 La pondération sur les variables *CoefConso*, *DistanceNoyaux* et *CoefDensité* permet de calibrer le modèle via l'interface de simulation. Sachant que la demande en vin est toujours formalisée par la multiplication du *CoefConso* et *CoefPop* (la consommation est exprimée en l/an/habitant), il n'est pas nécessaire de pondérer le *CoefPop. Le CoefAOC* n'est pas non plus pondéré, car il s'agit d'une constante que nous avons définie de manière empirique.

Facteurs d'évolution et paramétrage du modèle

14 Le modèle prend en compte quatre facteurs. Nous expliquons ci-dessous la manière dont ils sont intégrés au modèle et les données qu'ils mobilisent le cas échéant.

Consommation et démographie : la demande en vin

15 Le premier facteur est un processus de haut niveau, c'est-à-dire qui a le même impact sur l'ensemble des communes. Il s'agit de la consommation française de vin, estimée à partir de la consommation brute mesurée à l'échelle nationale (exprimée en l/hab/an) combinée à l'accroissement démographique français. Les taux de variation des deux variables agissent sur les surfaces viticoles de chaque commune de manière proportionnelle. Nous utilisons ainsi deux équations qui modélisent les tendances d'évolution observées à partir de données réelles (figures 2 et 3). Pour prendre en compte les différentes phases de croissance et de décroissance, nous avons découpé la période 1836-2014 en trois sous-périodes différentes pour la consommation et la démographie.

Figure 2 : évolution de la consommation française de vin (l/hab/an) selon trois sous-périodes.

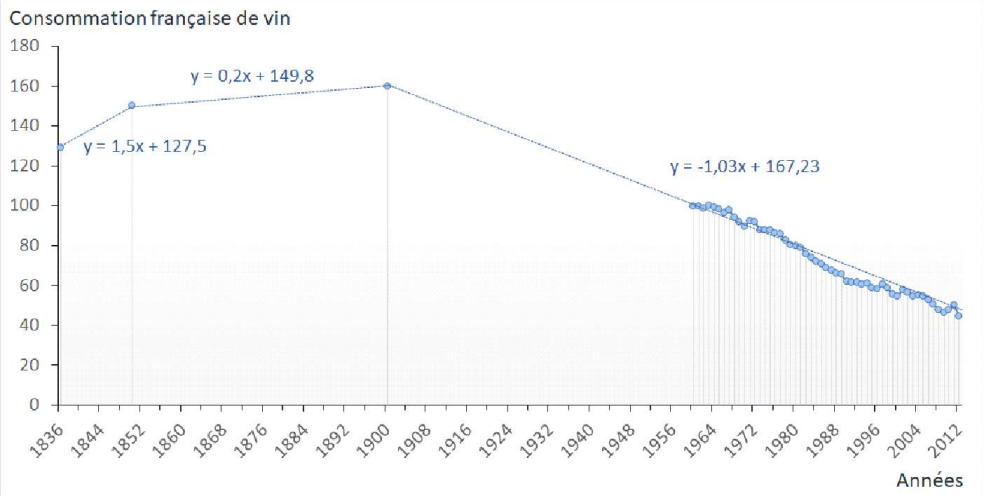
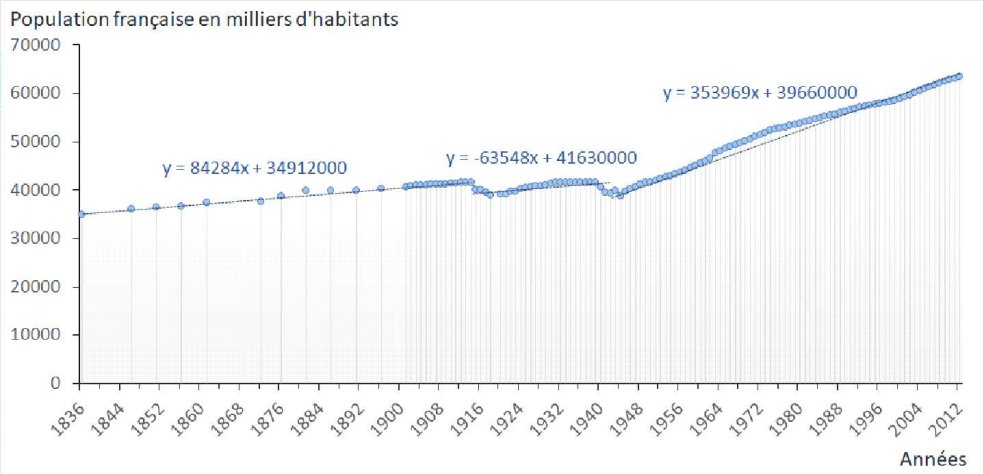


Figure 3 : évolution de la population française selon trois sous-périodes



16 Nous avons ensuite calculé la fonction affine des courbes de tendance pour chaque sous-période. Dans un souci de simplification, le modèle calcule l'évolution des deux variables à partir de ces fonctions affines et non pas à partir des données réelles. En fonction de la période simulée, le modèle ajuste la fonction affine de la manière suivante :

Consommation :

- 1836-1850 : y = 1,5x + 127,5
- 1850-1900 : y = 0,2056x + 149,49
- 1900-2014 : y = −1,0916x + 167,23

Démographie :

- 1836-1914 : y = 84284x + 3491200
- 1914-1945 : y = 15770x + 40000000
- 1945-2012 : y = 345581x + 40000000

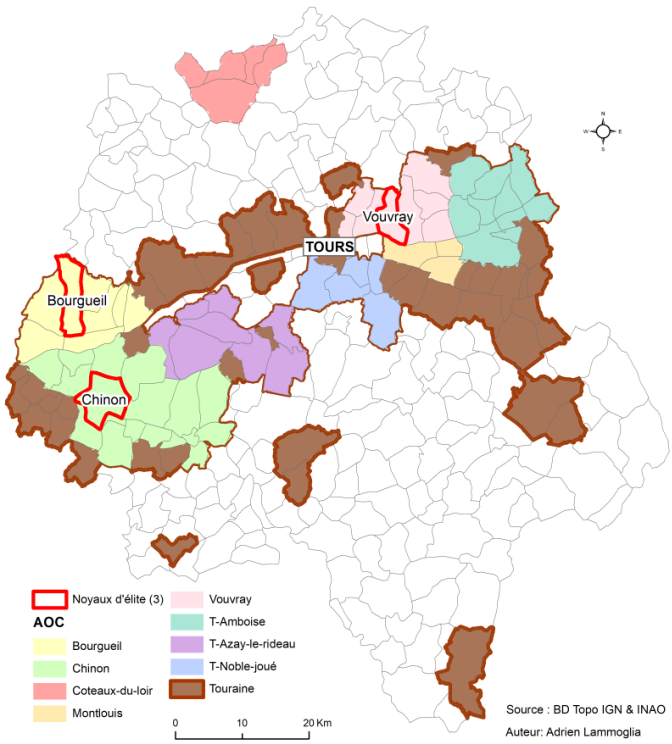
17 Ainsi, en fonction de ces fonctions affines, le modèle calcule à chaque itération les taux d'évolution de la consommation et de la population française qui, une fois intégrées à l'équation générale, permettent d'obtenir la surface viticole à t+1 en fonction celle à t.

Polarisation de l'espace viticole : la théorie des noyaux d'élite et les délimitations AOC

18 Le deuxième facteur permet d'intégrer une différenciation spatiale basée sur la théorie des « noyaux d'élite » proposée par Georges Kuhnholtz-Lordat en 1963 comme théorisation du principe de délimitation des AOC. Selon l'auteur, il existe des pôles viticoles stables dans la durée, identifiables grâce à la réputation de qualité largement partagée des vins qui en sont issus. L'auteur introduit l'idée que la qualité des vins produits s'amenuise à mesure qu'augmente la distance entre les vignobles et le noyau. Les noyaux apparaissent comme des pôles de production résilients : « La qualité s'amenuise, dans l'ensemble, lorsqu'on s'éloigne du noyau initial de l'installation du vignoble. Si la viticulture passe par des périodes de déclin, ce noyau se défend mieux » (Kuhnholz-Lordat, 1963, p. 32).

19 Dans un précédent travail (Lammoglia et Leturcq, 2017b), l'analyse historique du vignoble de Touraine nous a permis de mettre en exergue plusieurs « noyaux d'élite » : les communes de Vouvray, Chinon et Bourgueil (carte 1). À l'initialisation, le modèle identifie le noyau d'élite le plus proche pour chaque commune, puis calcule la distance euclidienne qui les sépare. Lors de la simulation, plus une commune est éloignée du noyau d'élite, plus elle a tendance à perdre de la vigne. Les noyaux d'élite, quant à eux, ne sont pas impactés par ce coefficient.

Carte 1 : localisation des délimitations AOC et des noyaux d'élite identifiés pour la simulation



20 À partir de la seconde moitié du 20e siècle, les communes se situant dans une aire AOC connaissent une certaine croissance viticole. Pour modéliser cette différenciation, les communes sont regroupées selon trois catégories, chacune caractérisée par un coefficient

reflétant leur capacité de résilience, voire de croissance viticole, en fonction de l'aire AOC à laquelle elle appartient :

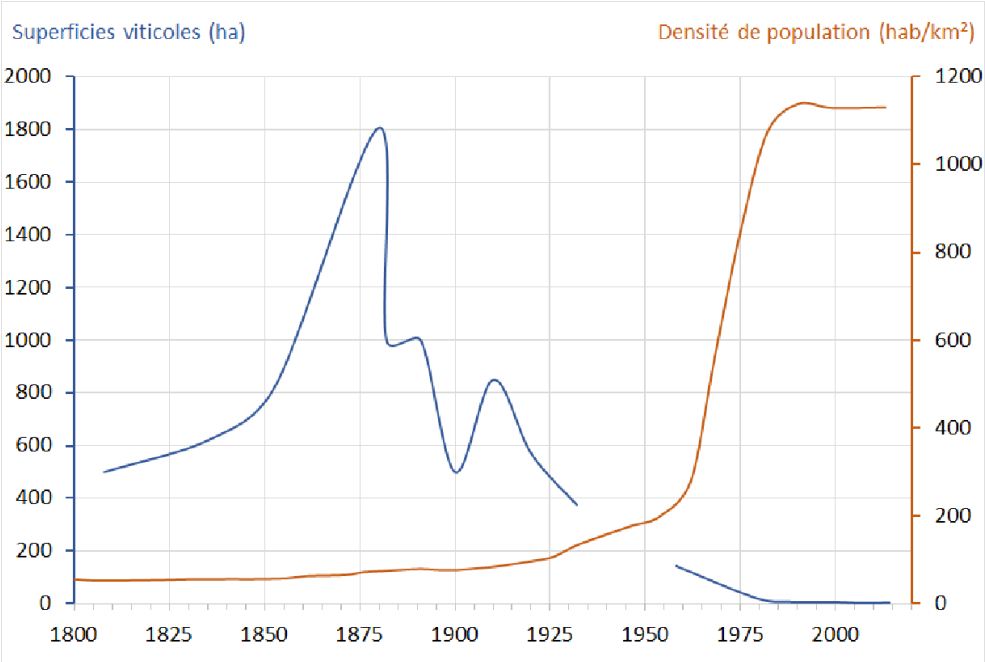
- les communes ne se situant pas dans une aire AOC, qui ne connaissent aucune croissance viticole particulière (coefficient = 1) ;
- les communes se situant dans l'AOC Touraine et mention de Touraine (Azay-le-Rideau, Amboise, Mesland), qui sont soumises à un premier coefficient (1,03) à partir de 1939 ;
- les communes se situant dans une des principales AOC (Vouvray, Bourgueil, Saint-Nicolas-de-Bourgueil, Chinon et Montlouis), qui sont soumises à un second coefficient un peu plus important (1,05) à partir de 1939.

21 Le coefficient AOC est un paramètre constant que nous avons défini de manière empirique grâce aux fonctions d'exploration de modèle de la plateforme GAMA.

Croissance urbaine analysée à travers l'évolution de la densité de population

22 Le troisième processus agit lui aussi au niveau local. Il permet d'identifier les communes ayant connu une forte croissance démographique où, potentiellement, la croissance urbaine a eu un impact négatif sur la dynamique des vignobles. Nous faisons l'hypothèse que les communes ayant connu une croissance démographique rapide et importante au cours du 20e siècle ont connu une croissance urbaine significative et donc une potentielle artificialisation des terres agricoles, notamment viticoles. Pour identifier ces communes aux fortes croissances, qui se situent en majorité dans l'agglomération tourangelle (exemple : Joué-lès-Tours), nous avons calculé le taux d'évolution de la densité de peuplement entre 1946 et 2013 pour chaque commune. Nous avons choisi cette période, car nous avons constaté que les fortes croissances démographiques opéraient en général après la Seconde Guerre mondiale (figure 4).

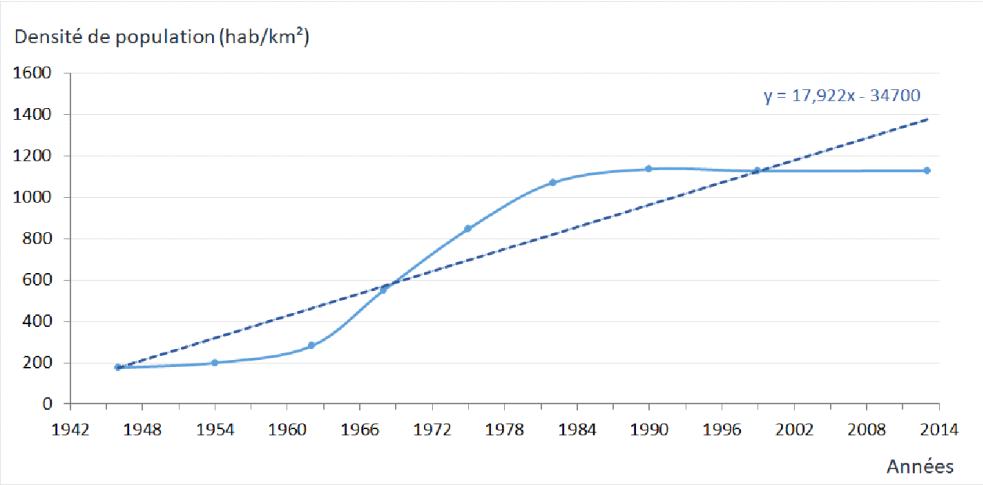
Figure 4 : surfaces viticoles et densité de population à Joué-lès-Tours



23 Pour chaque commune ayant un taux d'évolution de la densité supérieur à 1, nous avons calculé la fonction affine d'ajustement linéaire (figure 5). Bien que la courbe de tendance

linéaire ne soit pas toujours la plus représentative des dynamiques observées, elle nous a paru suffisante pour comparer l'intensité de la croissance entre les communes concernées. De plus, elle nous permet d'intégrer assez facilement un taux d'évolution au modèle.

Figure 5 : fonction affine d'ajustement linéaire pour l'évolution de la densité de population à Joué-lès-Tours



24 Dans le modèle, nous calculons ainsi le taux d'évolution de la densité à partir de 1946 et nous l'intégrons au dénominateur de l'équation générale. Ainsi, plus une commune connaît une forte croissance de densité, plus elle perd de la vigne. Parmi l'ensemble des communes, nous distinguons le cas de Tours qui affiche un profil unique. En effet, la commune a connu une croissance démographique soutenue depuis le début du 19e siècle, qui s'est ensuite accentuée dans la deuxième moitié du 20e siècle. Ce cas particulier est aussi pris en compte par le modèle en calculant la fonction affine d'ajustement linéaire pour deux périodes : 1836-1945 et 1946-2014.

La crise du phylloxera

25 Pour prendre en compte la chute brutale des superficies viticoles engendrée par le phylloxera sur la période 1880-1900, nous avons calculé, d'après les sources préfectorales conservées aux Archives départementales d'Indre-et-Loire (Lammoglia et Leturcq, 2017b), la perte observée à l'échelle du département que nous avons appliquée à toutes les communes de manière uniforme. Ainsi à l'instant t = 1900, chaque commune subit une perte de 45% de sa superficie viticole.

Synthèse des facteurs

Facteurs	Description	Résolution spatiale	Plage temporelle	Fiabilité des données

1. Consommation et démographie	La combinaison de ces deux variables représente la demande générale en vin	Niveau global (données à l'échelle nationale)	1836 à 2014	Assez bonne (données de consommation éparses pour le 19 e siècle)
2. Noyaux d'élite et délimitation AOC	Le territoire départemental est polarisé par des aires de production bénéficiant d'une certaine réputation	Niveau local	1836 à 2014 pour la polarisation par les noyaux d'élite 1937 et 1939 à 2014 pour les aires AOC	- Noyaux d'élite : inspiré d'une théorie et des données historiques - Délimitations AOC : données parfaitement fiables
3. Croissance urbaine	La potentielle compétition entre la ville et la vigne est modélisée à travers l'évolution de la densité de population par commune	Niveau local	1946 à 2014 pour toutes les communes sauf l'agglomération tourangelle qui a connu une forte croissance plus précoce (1836-2014)	Assez bonne : facteur établi à partir de courbes de tendance démographique
4. La crise du phylloxera	Il s'agit de prendre en compte la destruction brutale des vignobles engendrée par le phylloxera à la fin du 19e siècle	Niveau global (pourcentage de destruction appliqué uniformément à l'ensemble des communes)	La perte intervient à l'instant t = 1900	Assez fiable : basée sur la perte observée avec les données départementales

Description des variables

26 Le tableau suivant décrit les principales variables du modèle. Nous distinguons les variables globales et les variables locales, spécifiques à chacune des 277 communes.

Nom	Description	Nature	Valeur initiale
Variables globales			

CoefConso	Coefficient permettant de simuler le taux d'évolution de la consommation de vin française	Variable	1,00241418 (calculé à partir des données réelles)
CoefPop	Coefficient permettant de simuler le taux d'évolution de la population française	Variable	1,011764706 (calculé à partir des données réelles)
FacteurAOC	Facteur de résilience attribué aux communes situées dans une aire AOC	Constante	1 puis prend la valeur 1,05 à partir de 1937 (valeur déterminée de manière empirique)
FacteurMention	Facteur de résilience attribué aux communes situées dans une aire AOC Touraine et mention de Touraine	Constante	1 puis prend la valeur 1,03 à partir de 1939 (valeur déterminée de manière empirique)
Variables locales (communes)			
CoefDensité	Coefficient permettant de simuler le taux d'évolution de la densité de population communale	Variable	La variable garde la valeur 1 jusqu'en 1946, puis est mise à jour à chaque itération à partir de la dynamique de peuplement observée dans les données réelles
DistanceNoyaux	Distance euclidienne qui sépare chaque commune de son noyau d'élite le plus proche	Constante	Variable selon la localisation des communes
NoyauxElite	Variable permettant de différencier les noyaux d'élite des autres communes	Constante	1 pour les noyaux d'élite 0 pour les autres communes
SurfaceVigneSimu	Surfaces viticoles simulées par le modèle à l'instant *t*	Variable	Variable selon les communes
SurfaceVigneInit	Surfaces viticoles observées en 1836	Constante	Variable selon les communes
SurfaceVigneReel	Surfaces viticoles observées en 2014	Constante	Variable selon les communes

Indicateurs d'évaluation de la qualité des résultats de simulation

27 Le modèle permet de calculer à chaque pas de temps les surfaces encépagées par commune. Pour faciliter la représentation cartographique, nous travaillons avec la densité de vigne que nous obtenons en divisant les surfaces encépagées par la superficie

des communes (fournie par la BD Topo de l'IGN). Pour évaluer la précision du modèle, nous calculons les écarts entre les surfaces viticoles simulées et réelles. Ces écarts ne peuvent pas être analysés pour chaque année simulée, car nous ne disposons pas des surfaces réelles pour l'intégralité de la période 1836-2014. En revanche, nous comparons les données simulées avec celle du casier viticole de 2014, qui constitue la base de données la plus fiable et la plus récente dont nous disposons.

28 Pour analyser ces écarts, nous utilisons les indicateurs statistiques suivants :

- moyenne des écarts des communes (ha) : indique la moyenne des écarts des surfaces viticoles communales (simulées – réelles)
- médiane des écarts des communes (ha) : indique la médiane des écarts des surfaces viticoles communales (simulées – réelles)
- écart type des écarts des communes (ha) : indique l'écart type des écarts des surfaces viticoles communales (simulées – réelles)
- indice moyen : nous faisons la moyenne des trois indicateurs précédents ; c'est cet indicateur que nous allons tenter de minimiser au cours de l'exploration du modèle (plus l'indicateur est bas, plus le modèle est précis).

Exploration du modèle VitiTerroir

29 Pour explorer le modèle, nous avons utilisé la fonction d'analyse de sensibilité fournie par GAMA. Nous cherchons à minimiser l'indice moyen. Pour rappel, un indice moyen faible signifie que les écarts entre les données simulées et les données réelles sont faibles, et donc que le modèle est précis. À cet effet, nous avons utilisé la méthode POM (*Pattern Oriented Modeling* [Grimm *et al.*, 2005]), qui consiste à d'abord intégrer le premier facteur (consommation) dans le modèle, puis à y ajouter le second (noyaux viticoles et délimitation AOC) et ainsi de suite jusqu'à l'intégration des quatre facteurs combinés. L'avantage de cette méthode est qu'elle permet d'améliorer pas à pas le modèle, tout en limitant le nombre de simulations à exécuter pour son paramétrage.

Consommation et démographie (sous-modèle 1)

30 Pour le premier facteur, nous faisons varier un seul paramètre, il s'agit du poids attribué à la variable consommation. Ce poids varie de la valeur 1 à 10 par palier de 0,1 ce qui donne un total de 91 simulations.

31 La meilleure simulation obtenue nous donne un indice moyen de 49,45 et elle correspond à un poids de consommation égal à 2,6. Le tableau ci-dessous nous montre que, globalement, les écarts du modèle par rapport aux données réelles sont assez faibles. Nous obtenons notamment une moyenne des écarts de 36,55 ha. Cependant, l'écart-type de 103,78 ha nous montre que certaines communes sont très mal simulées par le modèle. Cela est confirmé avec l'analyse cartographique (carte 3).

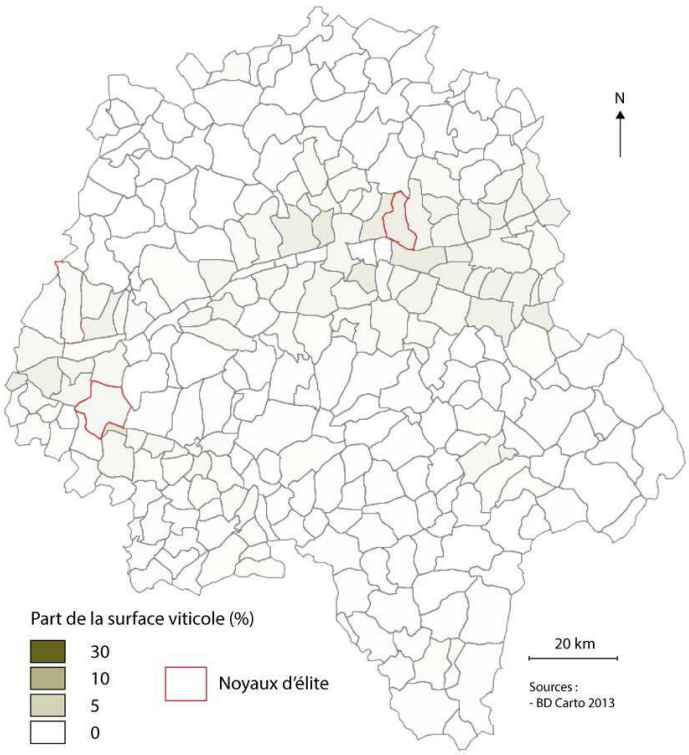
Tableau 1 : valeur optimale du paramètre et résultats des indicateurs pour le sous-modèle 1

Valeur optimale	Poids consommation	2,6
Indicateurs de qualité du modèle	Moyenne des écarts	34,56

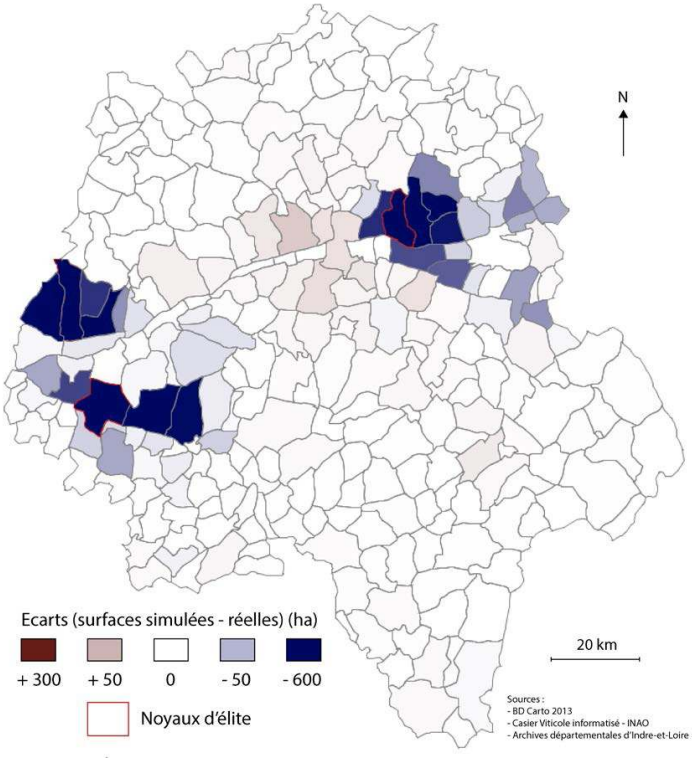
	Médiane des écarts	1,14
	Écart type des écarts	103,78
	Indice moyen	49,45

32 Finalement, à ce stade, le modèle simule une évolution homogène et proportionnelle de la surface viticole sur l'ensemble des communes (cartes 2 et 3). Il n'y a aucune différenciation entre les communes, mises à part les superficies viticoles initiales. On constate que pour minimiser les écarts entre les superficies simulées et réelles, le modèle simule une baisse très importante des superficies viticoles, ce qui entraîne des écarts importants sur toutes les communes ayant une forte activité viticole en 2014, par exemple Chinon, Vouvray, Bourgueil...

Carte 2 : surfaces viticoles obtenues par la simulation pour l'année pour le sous-modèle 1



Carte 3 : écarts entre les surfaces simulées et réelles pour le sous-modèle 1



Consommation et démographie combinées à la polarisation des noyaux d'élite et la délimitation AOC (sous-modèle 2)

33 L'intégration au modèle des facteurs noyaux d'élite et délimitations AOC augmente la combinaison des paramètres possibles et allonge considérablement le temps de simulation pour l'exploration. Par conséquent, nous avons réalisé une première phase d'exploration des paramètres pour trouver les bornes optimales. La combinaison de paramètres finalement retenue est la suivante :

- le poids consommation évolue de 3,5 à 4,5 par paliers de 0,1 ;
- le poids de la distance aux noyaux d'élite évolue de 0,0001 à 0,0005 par paliers de 0,0001 ;
- les facteurs de résilience pour les communes en AOC, et pour celles en mention Touraine, varie de 1 à 1,05 par paliers de 0,01.

34 Cette combinaison de paramètres nécessite un total de 1980 simulations.

35 Le tableau 2 nous montre qu'à ce stade, la meilleure simulation obtenue affiche un indice moyen de 37,78 contre 49,45, et surtout un écart-type de 87,25 ha contre 103,78 dans les résultats précédents. Nous avons donc sensiblement amélioré la précision du modèle.

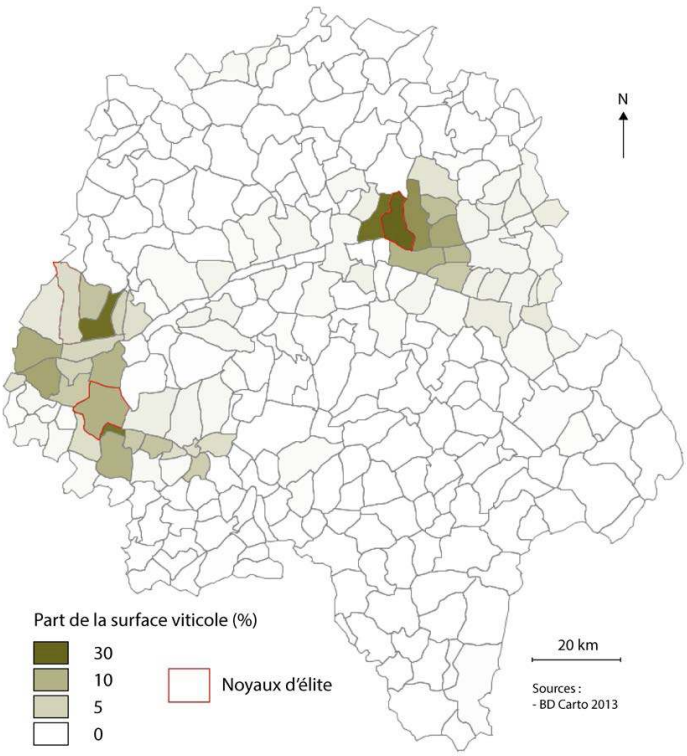
Tableau 2 : valeurs optimales des paramètres et résultats des indicateurs pour le sous-modèle 2

Valeurs optimales des paramètres	Poids consommation	4,1
	Poids distance noyaux	0,0003

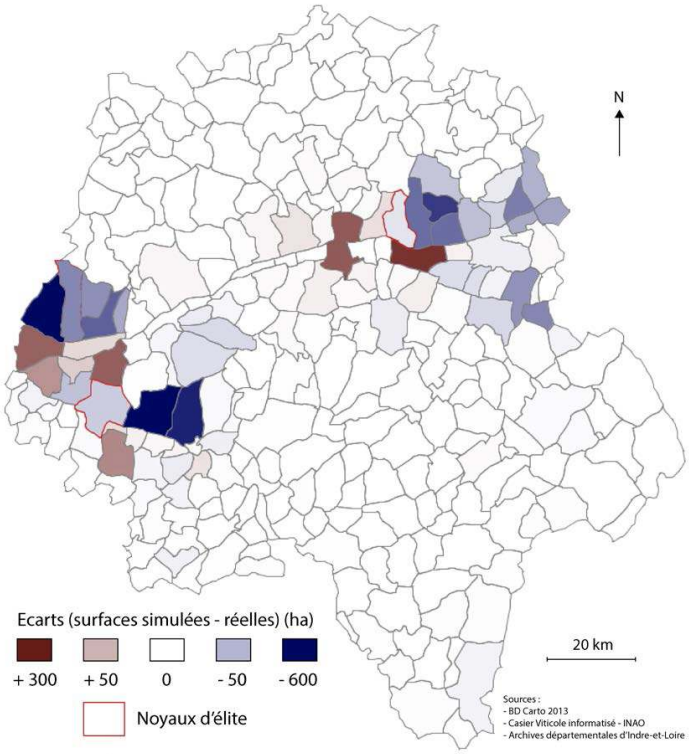
	Facteur AOC	1,04
	Facteur mention Touraine	1,01
Indicateurs de qualité du modèle	Moyenne des écarts	24,48
	Médiane des écarts	1,15
	Écart type des écarts	87,25
	Indice moyen	37,78

36 Comme le montrent les cartes 4 et 5, la différenciation spatiale opérée par l'identification des noyaux d'élite et des aires AOC permet de minimiser les erreurs sur les bassins de production actuels, notamment le Vouvrillon, la vallée du Cher, le Chinonais et le Bourgueillois. Néanmoins, nous observons une forte disparité des résultats à l'intérieur des zones de production. Certaines communes sont fortement surévaluées (ex. Montlouis, Chouzé-sur-Loire, Huismes, Ligré) et d'autres, sous-évaluées (Saint-Nicolas-de-Bourgueil, Cravant-les-Coteaux, Panzoult). Il y a aussi une surévaluation notable pour Tours qui possédait un vignoble important au 19e siècle, aujourd'hui disparu, sur la rive nord de la Loire (élément que ne peut prendre en compte le modèle à ce stade). Ici la cartographie des vignobles semble beaucoup plus réaliste. Nous retrouvons bien la différence très marquée entre les bassins de production et le reste des communes d'Indre-et-Loire qui ont vu leur vignoble disparaître pour la grande majorité d'entre elles.

Carte 4 : surfaces viticoles obtenues par simulation pour l'année 2014 pour le sous-modèle 2



Carte 5 : écarts entre les surfaces simulées et réelles pour le sous-modèle 2



Consommation et démographie, combinées à la polarisation des noyaux d'élite et à la délimitation AOC, avec prise en compte de la dynamique de peuplement (sous-modèle 3)

37 Pour prendre en compte la dynamique de peuplement des communes, nous avons ajouté un coefficient de population au dénominateur de l'équation générale : les communes ayant connu une forte croissance démographique perdent une part plus importante de la surface viticole. Pour calibrer ce paramètre, nous utilisons également un poids. Pour trouver la valeur optimale de ce poids, nous avons conservé le jeu de paramètres précédents, auquel nous avons ajouté le poids de densité de population qui évolue de 0,1 à 0,9 par paliers de 0,1. Cela nous donne 17 820 simulations à analyser.

38 Encore une fois, l'ajout d'un nouveau facteur a permis d'améliorer la précision du modèle (tableau 3). Cette amélioration s'observe sur l'ensemble des indicateurs avec une baisse de 2 ha d'écart en moyenne (l'indice moyen passe de 37,78 à 35,49 ha).

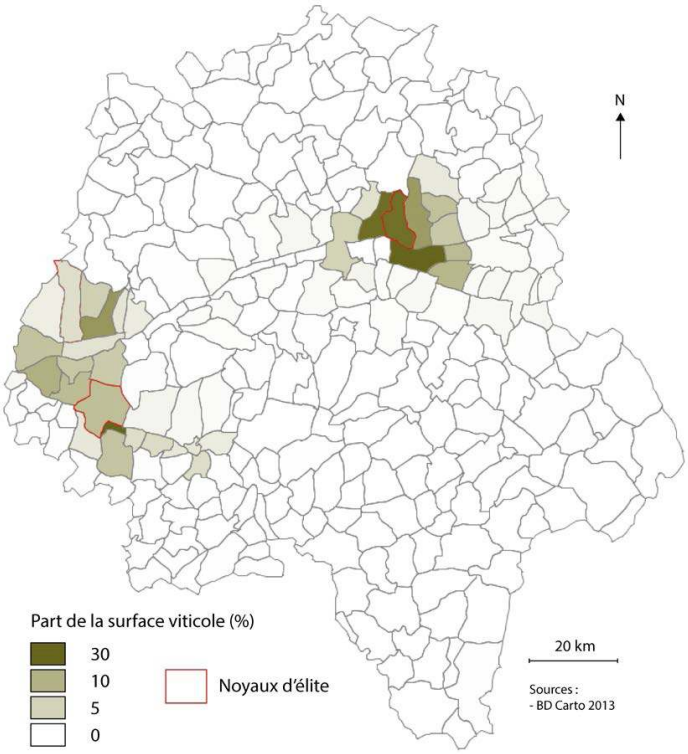
Tableau 3 : valeurs optimales des paramètres et résultats des indicateurs pour le sous-modèle 3

Valeurs optimales des paramètres	Poids consommation	4,5
	Poids distance noyaux	0,0002
	Facteur AOC	1,05
	Facteur mention Touraine	1,03

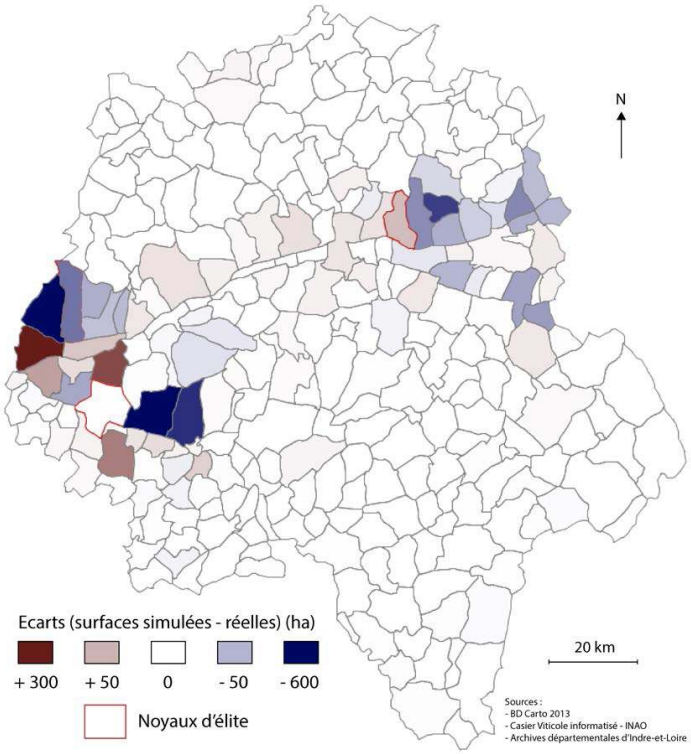
	Poids densité de population	0,6
Indicateurs de qualité du modèle	Moyenne des écarts	22,50
	Médiane des écarts	0,90
	Écart type des écarts	82,50
	Indice moyen	35,49

39 Les cartes ci-dessous montrent que l'écart considérable précédemment observé pour la commune de Tours est largement corrigé. En effet, Tours, seule grande ville de Touraine (à plus de 100 000 habitants), a connu une croissance démographique et urbaine importante et continue depuis le 19e siècle, croissance qui s'est accentuée au milieu du 20e siècle. Nous constatons aussi une amélioration notable pour les communes de Montlouis, Chinon, Restigné et Bléré. En revanche, quelques communes affichent des résultats légèrement moins bons comme Langeais, Chouzé-sur-Loire, Saint-Patrice, Luzillé et Souvigny-de-Touraine, mais aussi Vouvray qui est légèrement surévalué par le modèle.

Carte 6 : surfaces viticoles obtenues par simulation pour l'année 2014



Carte 7 : écarts entre les surfaces simulées et réelles pour le sous-modèle 3



Consommation et démographie, combinées à la polarisation des noyaux d'élite et à la délimitation AOC, avec la prise en compte de la dynamique de peuplement et la crise du phylloxera (modèle final)

40 L'intégration de la crise du phylloxera n'implique pas l'exploration d'un paramètre supplémentaire puisque, dans le modèle, le facteur intervient à un moment donné (1900) et n'a plus aucune incidence par la suite. Il permet juste de diminuer les surfaces viticoles pour l'ensemble des communes. Nous avons donc exploré le modèle avec le même jeu de paramètres que l'étape précédente à savoir :

- le poids consommation évolue de 3,5 à 4,5 par paliers de 0,1 ;
- le poids de la distance aux noyaux d'élite évolue de 0,0001 à 0,0005 par paliers de 0,0001 ;
- les facteurs de résilience pour les communes en AOC et celles en mention Touraine varient de 1 à 1,05 par paliers de 0,01 ;
- le poids de la densité de population évolue de 0,1 à 0,9 par paliers de 0,1.

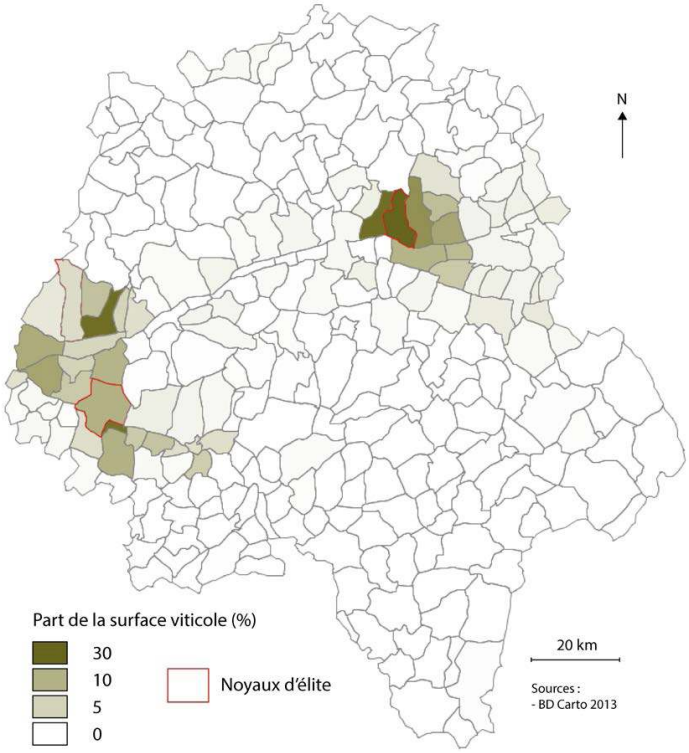
41 Les résultats du modèle avec et sans la prise en compte de la crise du phylloxera sont très proches au niveau des indicateurs à l'état final de la simulation (tableau 4). Nous constatons que l'indice moyen est passé de 35,49 à 35,46, ce qui est quasiment négligeable. En revanche, il est intéressant de souligner qu'avec ce facteur, le modèle atténue l'importance du facteur consommation (qui détermine en grande partie la chute des superficies viticoles). En effet, le poids de la consommation optimal obtenu avec la prise en compte du phylloxera est 3,9 contre 4,5 précédemment.

Tableau 4 : valeurs optimales des paramètres et résultats des indicateurs pour le modèle final

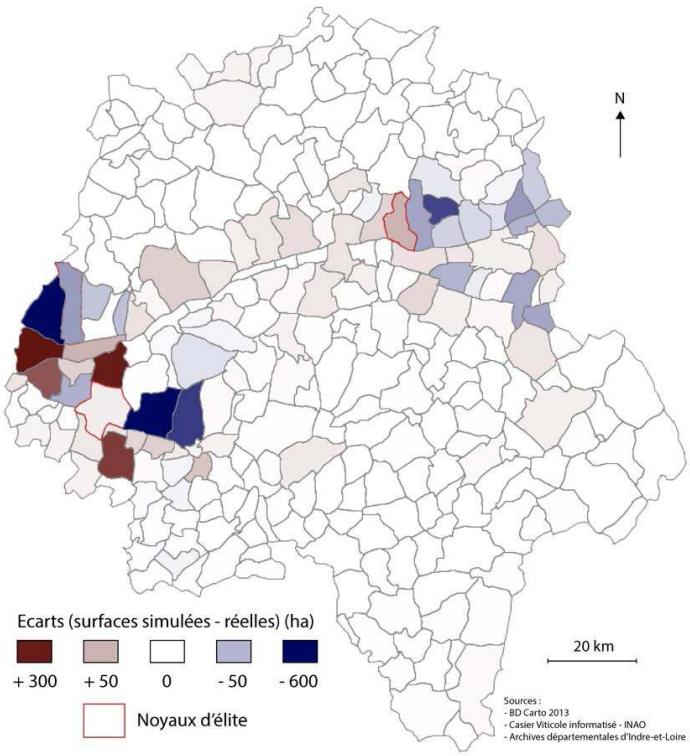
Valeurs optimales des paramètres	Poids consommation	3,9
	Poids distance noyaux	0,0002
	Facteur AOC	1,05
	Facteur mention Touraine	1,03
	Poids densité de population	0,6
Indicateurs de qualité du modèle	Moyenne des écarts	22,47
	Médiane des écarts	0,93
	Écart type des écarts	82,51
	Indice moyen	35,46

42 D'un point de vue spatial, on note quelques changements par rapport au cas précédent. Des communes comme Restigné et Noizay ont été améliorées, alors que d'autres communes comme Savigny-en-Véron, Langeais, Azay-sur-Cher affichent des écarts légèrement plus importants. Globalement, on observe toujours les mêmes disparités à l'intérieur du Chinonais, du Bourgueillois et du Vouvrillon, et les forts écarts concernent toujours les mêmes communes (ex. : Saint-Nicolas-de-Bourgueil, Cravant-les-Coteaux, Panzoult...) (cartes 8 et 9). La prise en compte du phylloxera permet d'obtenir une courbe d'évolution des surfaces à l'échelle départementale beaucoup plus réaliste. On observe que le poids sur le coefficient de consommation est inférieur par rapport aux précédentes simulations. Cela montre que, sans la prise en compte du phylloxera, le modèle a tendance à surévaluer le poids attribué au facteur consommation pour compenser la diminution brutale de la vigne à la fin du 19e siècle. Ainsi, la prise en compte du phylloxera permet d'obtenir un modèle plus cohérent et plus précis sur l'ensemble de la période simulée (et non pas à l'état final uniquement).

Carte 8 : surfaces viticoles obtenues par simulation pour l'année 2014



Carte 9 : écarts entre les surfaces simulées et réelles pour le modèle final



Synthèse des résultats

43 Comme nous venons de le montrer, chaque facteur permet d'améliorer la précision du modèle. Le choix de ces différents facteurs et leur implémentation paraissent donc cohérents. *In fine*, le modèle VitiTerroir (qui prend en compte quatre facteurs) affiche des erreurs globalement faibles avec une moyenne des écarts égale à 22,47 ha, une médiane qui se situe à 0,93 ha et un écart type de 82,51 ha (tableau 1).

Tableau 5 : synthèse des résultats d'exploration des quatre sous modèles

	Sous-modèle 1	Sous-modèle 2	Sous-modèle 3	Modèle final
Moyenne des écarts	34,56	24,48	22,50	22,47
Médiane des écarts	1,14	1,15	0,90	0,93
Écart type des écarts	103,78	87,25	82,50	82,51
Indice moyen	49,45	37,78	35,49	35,46

44 Comme le montrent la carte 10 et la figure 6, le modèle permet de calculer des surfaces viticoles en 2014, à partir des surfaces viticoles en 1836, proches de celles observées en réalité pour une grande majorité des communes d'Indre-et-Loire. Ce résultat tend à montrer que, dans l'ensemble, les processus permettant d'expliquer les évolutions spatiales des vignobles tourangeaux sont relativement simples. Néanmoins, quelques communes affichent des écarts importants (> 100 ha), mettant en exergue des vignobles aux trajectoires particulières au cours des deux derniers siècles. La combinaison des quatre facteurs analysés n'est donc pas suffisante pour expliquer des évolutions singulières, originales, qui laissent apparaître l'intervention d'autres facteurs, et des explications plus complexes qu'il convient de rechercher. Le modèle VitiTerroir confirme le caractère exceptionnel de la concentration spatiale de la viticulture tourangelle sur quelques pôles, particulièrement le Bourgueillois et le Chinonais. Mais les analyses mettent en lumière des nuances : les crus de la confluence de la Loire et de la Vienne (Savigny-en-Véron), les rives gauches de la Loire (Avoine, Huisme) et de la Vienne (Rivière, Anché, Sazilly, Tavant, Theneuil) périclitent curieusement, tandis que, contre toute attente, s'affirment deux communes autrefois peu tournées vers la viticulture : Panzoult et Cravant-les-Coteaux. Le Bourgueillois connaît une consécration extraordinaire qui confirme une percée initiée durant la seconde moitié du 18e siècle, mais le facteur topographique et pédologique joue ici à plein pour différencier les terroirs : les communes du fond de vallée (Chouzé-sur-Loire et La Chapelle-sur-Loire), autrefois pleinement viticoles, sont aujourd'hui déshéritées de leur vignoble. La fortune extraordinaire du Vouvrillon est elle aussi contrastée. Le modèle VitiTerroir surévalue les vignobles réputés de Rochecorbon et de Vouvray : on pressent ici peut-être la pression urbaine menaçante de Tours (Yengué et Chaballier, 2015). À l'inverse, le modèle VitiTerroir souligne le développement progressif du vignoble du Vouvrillon vers l'est, en s'éloignant de Tours, le long de la Loire à Vernou-sur-Brenne, Chançay et Noizay, et dans une moindre mesure vers le nord, sur le plateau à Reugny. Bien plus, VitiTerroir montre

que les vignobles des rives droites de la Loire (Nazelles-Négron, Pocé-sur-Cisse, Limeray et Cangey) et du Cher (Montlouis, Saint-Martin-le-Beau, Dierré, Civray-de-Touraine), mais aussi des rives gauches (Mosnes et Chargé pour la Loire, Francueil pour le Cher) résistent fort bien. L'ensemble de ces vignobles observent une évolution singulière, soulignée par le modèle VitiTerroir qui apparaît comme un outil révélateur de tendances sourdes.

Carte 10 : écarts entre les surfaces viticoles obtenues par simulation et les surfaces réelles recensées en 2014

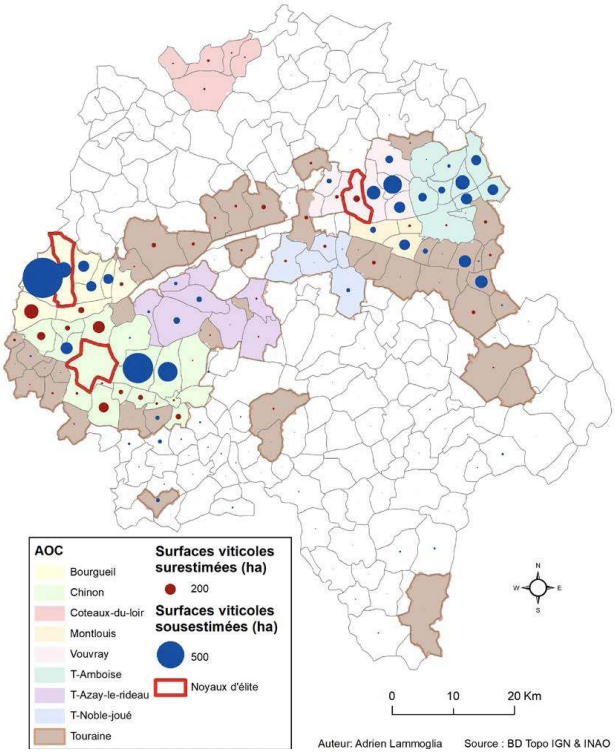
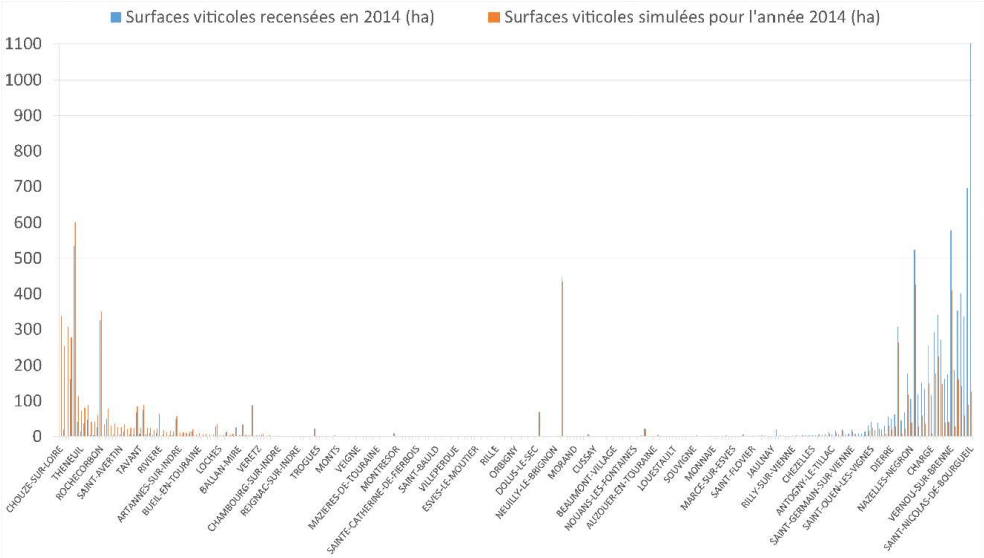


Figure 6 : surfaces viticoles obtenues par la simulation, comparées aux surfaces recensées en 2014 (les communes sont triées en fonction des écarts entre données simulées et réelles, positifs à gauche, nuls au centre et négatifs à droite)



Discussion

45 D'un point de vue méthodologique, VitiTerroir constitue une innovation. C'est en effet la première expérience d'utilisation de la simulation informatique pour comprendre les dynamiques spatiales viticoles à l'échelle d'un département français dans le temps long (plus de deux siècles dans le cas présent). Pour un historien, cette approche est exaltante, car elle offre le moyen de simuler les effets de facteurs, et de leurs combinaisons, sur des comportements géographiques en utilisant la réalité historique comme référentiel pour jauger la performance du jeu des facteurs. Il est ainsi possible non seulement de confirmer ou d'infirmer expérimentalement, par l'intermédiaire de la plate-forme de simulation, l'influence de combinaisons de facteurs, mais bien plus de mesurer leur degré de performance. La comparaison des résultats des simulations avec la réalité du processus historique met en exergue des secteurs où les mauvais résultats de la simulation soulignent l'existence d'une complexité sous-évaluée, incomprise dans le cadre explicatif sous-tendu par le modèle. VitiTerroir propose donc une manière expérimentale de faire de l'histoire : établir des faits à partir de sources, tester des explications, revenir sur les sources pour améliorer le cadre explicatif, tester à l'aune d'un modèle plus complexe... La modélisation permet de faire entrer l'histoire dans les sciences expérimentales.

46 L'apport du modèle VitiTerroir n'est pas que méthodologique. Il débouche sur des apports originaux dans la connaissance historique de la viticulture tourangelle aux 19e-20e siècles. VitiTerroir confirme, pour la Touraine, les tendances générales de la dynamique spatiale des vignobles dans le courant du 20e siècle (Legouy, 2014), à savoir une très forte polarisation sur quelques secteurs en AOC : Vouvray, Bourgueil, Saint-Nicolas-de-Bourgueil, Chinon et, dans une moindre mesure, l'appellation « Touraine », particulièrement dans les mentions « Azay-le-Rideau » et « Amboise ». Mais VitiTerroir va bien au-delà de cette confirmation, car il apporte une évaluation de la performativité de ce mouvement historique de concentration du vignoble pour chaque commune du département d'Indre-et-Loire. Il introduit de la nuance, il souligne de l'hétérogénéité territoriale, et il donne des résultats contre-intuitifs : dans une AOC, des communes (qui n'avaient pas forcément un passé viticole exceptionnel) sortent du lot et sont moteur, tandis que d'autres, « traditionnellement » viticoles, abandonnent relativement, voire totalement, cette orientation économique : comment comprendre ces évolutions contrastées ? À quels rythmes se font ces changements ? Quels sont les acteurs ? Quelles sont les organisations ? Les résultats de VitiTerroir orientent vers des explorations historiques inédites et des questionnements originaux.

47 Les résultats de la modélisation nous amènent à approfondir nos recherches sur les territoires viticoles ayant connu ces trajectoires particulières. Il faudrait comprendre les facteurs qui ont engendré ces dynamiques d'expansion pour le Bourgueillois et les communes de la rive droite de la Vienne dans le Chinonais, et ceux qui sont à l'origine du repli, voire de l'extinction dans les communes de la rive gauche de la Vienne, ou encore de la rive gauche de la Loire face au vignoble du Bourgueillois. *A contrario*, le modèle VitiTerroir révèle une résistance étonnante des communes de la rive droite du Cher et des rives gauche et droite de la Loire au niveau d'Amboise. VitiTerroir pourra être perfectionné, en prenant en compte plusieurs facteurs qui se révéleront sans doute essentiels : l'importance des structures sociales (caves, coopératives, organisations

interprofessionnelles, dynamisme initié par des individualités fortes, influence générationnelle...), le rejet de certains types de sols, la question des exportations, etc.

48 Une autre perspective à court terme serait de tester le modèle sur une nouvelle région viticole pour évaluer sa réplicabilité. En effet, VitiTerroir a été conçu pour être facilement transposable sur le territoire français. Il suffit pour cela de connaître les surfaces viticoles à t_0 et t_{final}, de connaître les délimitations AOC et d'acquérir des données sur la croissance démographique communale qui sont très accessibles de nos jours. Sur un plus long terme, l'objectif du programme VitiTerroir est d'apporter une dimension géoprospective au modèle pour identifier des scénarios d'évolution des vignobles français en fonction de tendances et de mesures qui pourront être prises dans un futur proche comme l'autorisation des droits de plantation de 1 % qui a été lancée au 1er janvier 2016.

BIBLIOGRAPHIE

Argod-Dutard F., Charvet P., Lavaud S. (dir.), 2007, *Voyage aux pays du vin : des origines à nos jours. Histoire, anthologie, dictionnaire*, Paris, Albin Michel.

Banos A., 2010, "La simulation à base d'agents en sciences sociales : une « béquille pour l'esprit humain » ?" *Nouvelles perspectives en sciences sociales*, Vol. 5, No.2, 91–100.

Delay E., 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 de doctorat en géographie, Université de Limoges.

Delay E., Chevalier M., Rouvellac É., Zottele F., 2015, "La coopérative : origine et conséquence des paysages viticoles de montagne ?", *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine* [En ligne], Vol. 103, No.-1. URL : http://journals.openedition.org/rga/2719

Delay E, Leturcq S., Rodier X., 2017, "ViCTOr : paysage virtuel pour explorer les dynamiques de la VIticulture et de la Consommation en TOuRaine", *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], GeOpenMod – Modèles et logiciels, document 820. URL : http://journals.openedition.org/cybergeo/28356

Dion R., 1959, *Histoire de la vigne et du vin en France des origines au XIXe siècle*, Paris, CNRS éditions.

Edmonds B., Moss S., 2004, "From KISS to KIDS – An 'Anti-simplistic' Modelling Approach.", in: Davidsson P., Logan B. and Takadama K. (eds), *Multi-Agent and Multi-Agent-Based Simulation,* Berlin / Heidelberg, Springer, 130–144.

Elsawah S., Guillaume JHA., Filatova T., Rook J., Jakeman AJ., 2015, "A methodology for eliciting, representing, and analysing stakeholder knowledge for decision making on complex socio-ecological systems: From cognitive maps to agent-based models", *Journal of Environmental Management*, Vol. 151, 500–516.

Ferber J., Perrot J.-F., 1995, *Les systèmes multi-agents : vers une intelligence collective*, Paris, InterEditions.

FranceAgriMer, 2012, *Les chiffres de la filière viti-vinicole. Données et bilans*, FranceAgriMer, Montreuil-Sous-Bois.

Garnotel F., 2014, "La viticulture depuis la crise du phylloxéra à la fin du 19e siècle", *Atlas archéologique de Touraine* [En ligne], Tours, FERACF. URL : http://a2t.univ-tours.fr/notice.php?id=144

Grimm V., Revilla E., Berger U., Jeltsch F., Mooij W. M., Railsback S. F., Thulke H.-H., Weiner J., Wiegand T. et DeAngelis D. L., 2005. "Pattern-Oriented Modeling of Agent-Based Complex Systems: Lessons from Ecology", *Science,* Vol. 310, No.5750, 987–991.

Kuhnholtz-Lordat G., 1963, *La genèse des appellations d'origine des vins*, Macon, Buguet-Comptour.

Lammoglia A., Leturcq S., 2017a., "Le vignoble d'Azay-le-Rideau (XVIIe-XXIe siècle). À la recherche de facteurs de dynamiques spatiales", *Mappemonde* [En ligne], No.120. URL : http://mappemonde.mgm.fr/120as2/

Lammoglia A., Leturcq S., 2017b., "Les petits terroirs viticoles en Touraine dans la longue durée (XIXe-XXIe siècle)", *Les petits vignobles. Des territoires en question*, Tours / Rennes, PUFR-PUR.

Laperrière V., 2004, *Modélisation multi-agents du changement de pratiques viticoles*, mémoire de DEA, Université Joseph Fourier / UMR Structures et Dynamiques Spatiales, Grenoble.

Legouy F., 2014, "La géohistoire de l'espace viticole français sur deux siècles (1808-2010) : plusieurs cycles viticoles décryptés", *EspacesTemps.net* [En ligne], Travaux. URL : https://www.espacestemps.net/articles/la-geohistoire-de-lespace-viticole-francais/

Leturcq S., Ferreira J., Martinez Vasquez L., de Villars Villecroze B., 2015, "Les dynamiques d'un terroir viticole. Azay-le-Rideau, XVe-XIXe siècle", in : Marache C., Bodinier B., Lachaud S. (dir.), *L'univers du vin. Hommes, paysages et territoires. Actes du colloque de Bordeaux (2-5 octobre 2012)*, Rennes, Presses universitaires de Rennes, Bibliothèque d'histoire rurale, 204–220.

Leturcq S, Lammoglia A., 2018, "La viticulture en Touraine (Moyen Age-XXe siècle). Dynamiques spatiales et commerciales", *Histoire et sociétés rurales*, Vol. 50 (article accepté).

Martin-Clouaire R., Rellier J.-P., Paré N., Voltz M., Biarnès A., 2016, "Modelling Management Practices in Viticulture while Considering Resource Limitations: The Dhivine Model", *PLOS ONE*, Vol. 11, No.3, e0151952.

Taillandier P., Vo D-A, Amouroux E., Drogoul A., 2012, "GAMA: A Simulation Platform That Integrates Geographical Information Data, Agent-Based Modeling and Multi-scale Control", In Desai N, Liu A and Winikoff M. (eds) *Principles and Practice of Multi-Agent Systems*, Berlin / Heidelberg, Springer, 242–258.

Tissot C., Rouan M., Neethling E., Quenol H., Brosset D., 2014, "Modeling of vine agronomic practices in the context of climate change", *BIO Web of Conferences* 3, EDP Sciences.

Tessier A., 2010, *Le phylloxera en Touraine*, mémoire de master en histoire, Université François Rabelais, Tours.

Yengué J.-L., Chaballier C., 2015, "Le paysage, outil de résistance face à l'urbanisation. Quelques enseignements dans les vignobles de Vouvray et de Montlouis-sur-Loire", *Projets de paysage* [En ligne]. URL : http://www.projetsdepaysage.fr/le_paysage_outil_de_resistance_face_a_l_urbanisation

Zhu X., Moriondo M., Ierland EC. van, Trombi G., Bindi M., 2014, "A model-based assessment of adaptation options for Chianti wine production in Tuscany (Italy) under climate change", *Regional Environmental Change,* Vol. 16, No.1, 85–96.

Zottele F., Delay E., 2015, "È possibile descrivere la resistenza dei paesaggi vitati di montagna utilizzando un territorio virtuale? Il caso trentino", *Territoires du vin* [En ligne], No.6. URL : http://revuesshs.u-bourgogne.fr/territoiresduvin/document.php?id=1621

RÉSUMÉS

L'ambition du programme régional VitiTerroir est de développer un modèle pour simuler les dynamiques des territoires viticoles en région Centre-Val de Loire sur le temps long (pluriséculaire), moyen et court. Il s'agit, à terme, de mettre en œuvre un outil de modélisation géoprospectif propre à aider aux orientations politiques de la filière. L'approche est résolument géohistorique puisque nous travaillons à partir de sources anciennes (enquêtes préfectorales, cadastre napoléonien, chartriers seigneuriaux...) et contemporaines (Cadastre viticole informatisé, Recensement général agricole...). Nous utilisons un outil de simulation spatialisé pour analyser les trajectoires diachroniques de ces espaces. Dans le cadre de cet article, nous étudions en particulier l'impact de quatre facteurs sur la dynamique des territoires viticoles en Indre-et-Loire (Touraine), et cela sur deux siècles (1800-2014) : la consommation de vin, la polarisation des centres de production, la croissance urbaine et la crise du phylloxera. Ces facteurs, de natures variées, opèrent à différentes échelles géographiques et sur différentes temporalités. Nous explorerons leur impact sur les surfaces viticoles communales à travers quatre sous-modèles.

En explorant de manière exhaustive les différents sous-modèles, nous montrons que l'évolution des pratiques de consommation explique largement à elle seule l'évolution des superficies viticoles pour la majorité des communes (68 %). Mais il convient de prendre aussi en compte l'importance de certains vignobles dans l'histoire (facteur « temps ») pour expliquer la résilience de centres de production (Vouvray, Chinon, Bourgueil) au-delà de la crise du phylloxera qui touche la Touraine dans les années 1880. Enfin, nous montrons que la croissance urbaine, analysée par le biais de l'évolution démographique, explique, dans une certaine mesure, le déclin de quelques grands vignobles du 19e siècle. Cependant, ce dernier facteur ne concerne qu'une minorité de communes faisant partie de l'agglomération tourangelle. Enfin, si la crise du phylloxera ne constitue pas un facteur pertinent pour expliquer la dynamique spatiale du vignoble tourangeau sur le long terme, son implémentation améliore la précision du modèle.

The VitiTerroir project ambitions to develop a model simulating spatial dynamics of vineyards in Centre-Val de Loire region, France. We study these dynamics in the long (several centuries), medium and short term, using historical sources (administrative surveys, field books, cadasters...). In this paper, we focus on the impact of four factors on the dynamics of vineyards in Touraine over two centuries (1808-2014): wine consumption, the geographical concentration of production, urban growth, and the phylloxera crisis. We want to explore their impacts on the vineyard's areas of each municipality through four sub-models.

By exploring every sub-model, we show that the evolution of the people's consumption practices largely explains the evolution of vineyard areas for the majority of the municipalities (68 %). Moreover, we highlight the resilience of some vineyards (Vouvray, Chinon, Bourgueil) even if the phylloxera crisis has affected all the Touraine region in the 1880s. Finally, we show that urban growth, analyzed through demographic change, sometimes explains the decline of some major vineyards of the 19th century. However, it applies only to a minority of communities close to the city of Tours.

INDEX

Keywords : geohistory, spatial simulation, spatio-temporal dynamics, vineyard
Mots-clés : dynamique spatio-temporelle, géohistoire, géomatique, simulation spatialisée, vignoble
geographyun 908, 926, 250

AUTEURS

ADRIEN LAMMOGLIA

Maitre de conférences en géographie
Université Paul-Valéry Montpellier 3, IRD UMR GRED, France
adrien.lammoglia@univ-montp3.fr

SAMUEL LETURCQ

Maitre de conférences en histoire du Moyen Age
Université de Tours, UMR 7324 Citeres-LAT, France
samuel.leturcq@univ-tours.fr

ÉTIENNE DELAY

Chercheur
CIRAD - UPR GREEN – Montpellier, France
UMR GEOLAB, Université de Limoges, France
etienne.delay@cirad.fr