

MODÉLISATION DU POTENTIEL DES VIGNOBLES LITTORAUX ET INSULAIRES DANS LE CADRE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Jeanne THIBAUT¹, Hervé QUENOL², Cyril TISSOT¹

¹ LETG Brest - UMR 6554 CNRS, Université Bretagne Occidentale, jeanne.thibault@univ-brest.fr

² LETG Rennes – UMR 6554 CNRS, Université Rennes 2

Résumé : Les modifications engendrées par le changement climatique affectent les climats régionaux et locaux, et ont une incidence directe sur les régions viticoles à échelle mondiale. Dans un contexte d'une hausse des températures et du fait de leurs conditions climatiques particulières, les espaces littoraux et insulaires pourraient devenir des espaces refuges pour la viticulture. Pourtant, ces espaces sont déjà soumis à des pressions importantes qui peuvent complexifier l'implantation des vignobles. Afin d'évaluer les potentialités de ces espaces, cette contribution présentera un modèle d'optimisation spatiale et multiobjectifs qui vise à identifier les zones les plus propices aux vignobles en fonction de différents scénarios préétablis.

Mots-Clés : modélisation, multiobjectifs, viticulture, changement climatique

Abstract : **Modelling the potential of coastal and insular vineyards in the context of climate change**

Modifications caused by climate change hold implications for wine regions worldwide. In the context of increasing temperatures and due to their particular climatic conditions, coastal and island areas could become « refuge areas » for wine growing. However, these areas are already subject to significant pressures that can complicate the establishment of vineyards. In order to evaluate the potential of these areas, this contribution will present a spatial and multi-objective optimization model that aims to identify the most suitable areas for vineyards according to different scenarios.

Keywords : modelling, multiobjectives, viticulture, climate change

Introduction

Le changement climatique a des répercussions sur les climats régionaux et locaux, ce qui affecte également les régions viticoles à l'échelle mondiale (Hannah *et al.*, 2013; Mosedale *et al.*, 2016). L'adaptation au changement climatique représente alors un défi majeur pour la viticulture tant dans un avenir proche que plus lointain (Keller, 2010). Ainsi, les espaces littoraux et insulaires pourraient devenir des espaces convoités : dans des régions chaudes soumises à une augmentation des températures, la proximité de la mer tend à modérer les températures extrêmes, ce qui constituerait un avantage non négligeable pour la culture de la vigne. Pour autant, ces espaces côtiers et insulaires sont soumis à de multiples pressions qui rendent complexe l'implantation ou l'extension de vignobles. Dans ce contexte, il semble pertinent d'évaluer les potentialités ces espaces pour la viticulture. Ainsi, l'objectif de cette contribution est de présenter un modèle d'optimisation spatiale sous contraintes et objectifs multiples, destiné à identifier des zones propices pour l'implantation d'une activité viticole en fonction de différents scénarios du changement climatique.

Basé sur une approche par scénario, le modèle proposé permet de tester différentes hypothèses afin de répondre à des questions diverses telles que l'adaptation des régions viticoles traditionnelles ou encore l'identification de nouvelles zones d'implantation. Outre la multiplicité des scénarios, ce type de modèle présente plusieurs avantages telle que la multiplicité et la diversité des critères potentiellement mobilisables, la non-supériorité d'un critère par rapport à un autre ou encore la multiplicité des solutions proposées. L'intégration d'une composante spatiale permet d'intégrer des relations de voisinage entre les

mailles/parcelles, et la dimension temporelle autorise la variation ou l'ajout de contraintes en cours de simulation.

1. Matériel et méthode

L'approche proposée comprend deux étapes distinctes. Il s'agit tout d'abord d'identifier des critères pertinents permettant de rendre compte des caractéristiques agroclimatiques et des contraintes biophysiques des vignobles littoraux et insulaires. Ces critères sont ensuite mobilisés dans le processus d'optimisation et peuvent intervenir en tant que contraintes ou objectifs à optimiser.

1.1. Typologie des vignobles littoraux et insulaires

Afin de mieux appréhender les caractéristiques des vignobles littoraux et insulaires, une première approche bibliographique a permis d'établir un inventaire global de ces vignobles. Réalisée à échelle mondiale, cette recherche a aidé à documenter les différentes configurations climatiques et les pratiques agronomiques des régions viticoles insulaires et littorales dans le monde. Si les configurations rencontrées s'avèrent très diverses, il est tout de même possible d'identifier des critères suffisamment pertinents pour décrire et catégoriser ces espaces viticoles (Thibault *et al.*, 2020b; 2020a). Cette typologie peut être divisée en trois grandes catégories, associées à des caractéristiques agronomiques, biophysiques et à la structure économique du vignoble (Tab. 1).

Tableau 1. Typologie pour la caractérisation des vignobles littoraux et insulaires

| Caractéristiques biophysiques | | Caractéristiques agronomiques | | Structure économique du vignoble |
|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------|----------------------------------|
| Sols | | Matériel végétal | | Configuration spatiale |
| Composition | Topographie | Cépages | Porte greffe | Superficie |
| Profondeur | Altitude | | | |
| Réserve utile | Pente | Mode de conduite | | Volume de production |
| Mat. organique | Distance à l'océan | Mode de traitements | | Marché visé |
| Climat | | Entretien du sol | | Appellations |
| Températures annuelles | | Système de conduite | | |
| Températures saisonnières | | Mécanisation | | |
| Précipitations | | Irrigation | | |
| Vents | | | | |

1.2. Structure et fonctionnement du modèle

La démarche d'identification des espaces les plus propices à la culture de la vigne sur les îles et le littoral s'inscrit dans un processus d'optimisation spatiale. L'optimisation spatiale peut se traduire comme « *l'aménagement spatial optimal qui implique [...] l'identification des meilleurs emplacements pour les activités et les ressources par rapport aux objectifs et aux contraintes* » (Yao *et al.*, 2018). Le modèle développé est basé sur un principe multi-objectifs permettant de calculer des solutions optimales en fonction de différents objectifs et contraintes. Le fonctionnement du modèle peut être divisé en deux grandes étapes : la création d'un scénario incluant la définition des contraintes et des objectifs (Fig. 1, sections 1a et 1b) et le processus de simulation (Fig. 1, section 2). La démarche proposée se fonde sur une approche multiobjectifs élitiste qui permet de ne conserver que les solutions les plus adaptées aux objectifs fixés en amont (Francisci, 2002).

1.2.1. Construction d'un scénario

La construction d'un scénario permet de définir plusieurs paramètres comme la zone d'étude, la période de simulation, le scénario climatique, le ou les cépages privilégiés, ainsi que le mode de production souhaité pour l'ensemble de la zone d'étude. C'est aussi lors de cette étape que les objectifs et les contraintes limitantes ou excluantes pour l'implantation de la vigne vont être spécifiés. Ainsi, une contrainte peut être définie comme une condition qui limite voire interdit certaines solutions. Actuellement, les contraintes interdisant une quelconque implantation sont relatives à l'occupation du sol et aux caractéristiques des sols. Ces interdictions excluent les zones jugées « non adaptées » en amont du processus de simulation. D'autres contraintes relatives aux aspects de voisinage et d'historique d'implantation sont prises en compte tout au long du processus d'optimisation. Elles peuvent limiter ou favoriser l'implantation de la vigne. Quant aux objectifs, ils correspondent à un but à atteindre en maximisant un critère (environnemental et/ou agronomique) ou en minimisant un risque (climatique et/ou économique). Pour le moment, trois objectifs visant à minimiser des occurrences annuelles sont implémentés dans le modèle (Fig. 1, section 1a). Le premier et le second objectif tendent, respectivement, à minimiser le nombre de jours de gel et de fortes chaleurs. Le troisième objectif s'attache à minimiser l'exposition potentielle au risque pathogène.

Les objectifs sont calculés à partir d'un système d'occurrences journalières globalisées annuellement. Ce cumul annuel regroupe le nombre de jours répondant aux objectifs. Ainsi, le modèle prend en compte le nombre de jours où la température minimale est inférieure à 0°C (Webb *et al.*, 2017, Gavrilescu *et al.*, 2019), où la température maximale est supérieure à 35°C (Gambetta *et al.*, 2021) et où les conditions climatiques sont favorables au développement du risque pathogène (Tissot *et al.*, 2020). Pour chacun des objectifs, des bornes acceptables et limites sont définies. Les bornes acceptables font référence à des seuils où l'on considère que le risque est présent mais faible, alors que les bornes limites indiquent un risque élevé. Au-delà des valeurs limites, le scénario implémenté écarte les zones concernées. Lors de l'initialisation du modèle les objectifs à atteindre, les seuils et valeurs associées sont choisis en fonction du scénario retenu.

1.2.2. Le processus de simulation

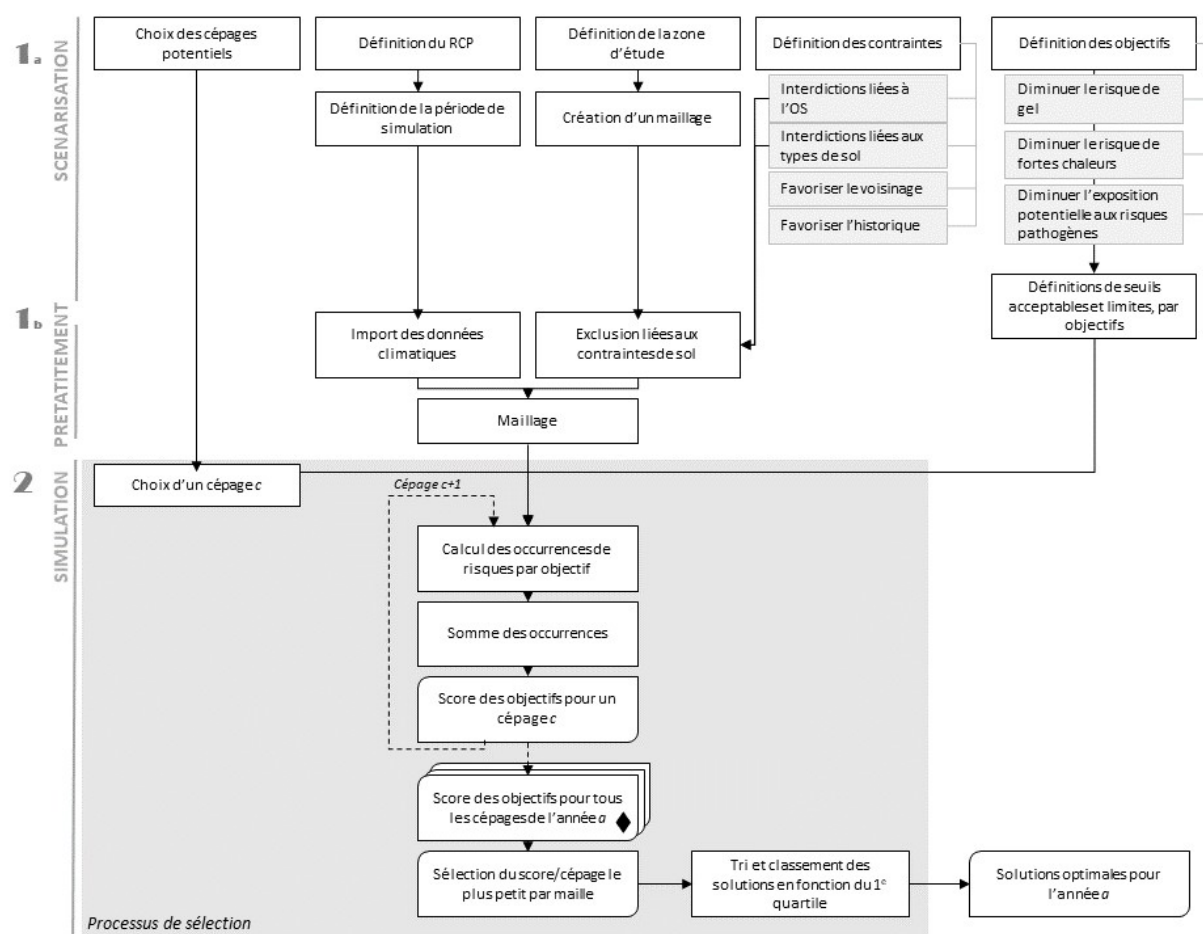


figure 1. Processus de scénarisation et de simulation pour l'identification des espaces propices à la viticulture

Plusieurs études ont démontré que les principaux stades phénologiques de la vigne concordent avec une accumulation des températures (Duchêne et Schneider, 2005, van Leeuwen *et al.* 2008, Parker *et al.* 2013). La classification de Baggiolini (Baggiolini 1952) a permis de modéliser la croissance de la vigne pour les différents stades phénologiques (Tissot *et al.* 2020). Dans le modèle développé, pour un cépage et une année, les dates de débourrement sont calculées grâce à l'indice de Degré-jour de Winkler (Winkler *et al.* 1974, van Leeuwen *et al.* 2008), et les dates de véraison et de maturité technique grâce aux modèles Grapevine Flowering Véraison (GFV) et Grapevine Sugar Ripeness (GSR) (Parker *et al.* 2013, Parker *et al.* 2020). La résolution du maillage est fixée par l'échelle de sortie du modèle climatique choisi à l'initialisation (maille de 8 km² dans la cas présent). Les périodes comprises entre ces stades phénologiques représentent des phases de sensibilités accrues de la plante aux extrêmes climatiques (Cantat *et al.* 2019, Gavrilescu *et al.* 2020, Gambetta *et al.* 2021). C'est donc sur cette période que les occurrences relatives aux objectifs sont calculées et cumulées chaque année. Grâce aux seuils définis en amont, si le cumul d'occurrences pour l'un ou l'autre des objectifs est dépassé, la maille est automatiquement écartée du processus d'optimisation. Ce cumul d'occurrences est répété pour l'ensemble des cépages potentiels, pour une année *a*. A l'issue de cette étape, chaque maille possède, pour chaque cépage choisi à l'initialisation, un score global cumulant les scores pour chaque objectif (Fig. 1 - section 2, étape ♦). Les mailles qui n'atteignent pas la maturité technique associée à un cépage (seuil fixé par l'indice GSR) sont exclues du processus d'optimisation. Puis, des phases de sélection vont s'opérer afin de déterminer les mailles et les cépages les plus adaptés aux objectifs.

Une première phase s'opère maille par maille. Cette étape permet de sélectionner le cépage le plus adapté pour chaque maille de la zone d'étude : le score global de chaque cépage est comparé, et seul le

couple cépage/score le plus petit est retenu. Puisque les objectifs actuels tendent à minimiser les risques climatiques, plus les scores sont petits, plus les solutions s'approchent des buts à atteindre. En sortie de cette étape, le modèle met en avant le cépage le plus adapté pour chacune des mailles. La seconde étape opère une sélection sur les couples cépage/score obtenus précédemment pour l'ensemble des mailles. Les couples sont triés par ordre croissant en fonction de leur score. Seuls les couples cépages/scores contenus dans le 1er quartile de l'échantillon sont considérés comme les solutions les plus optimales. Cette seconde phase de sélection permet d'obtenir les mailles avec les cépages les plus adaptés pour une année déterminée. Une fois qu'une maille a été classée comme une solution optimale, le cépage est implanté pour une durée déterminée (choisie à l'initialisation) et la maille est exclue du processus de sélection durant la période d'exploitation (30 ans dans le cas présent). L'ensemble du processus de sélection est alors répété pour chaque année de la période de la simulation avec l'ajout de contraintes de voisinage : les solutions optimales sont avant tout recherchées dans le voisinage de chaque maille « viticole ». L'antériorité de la présence d'une vigne est également prise en compte : si une maille a eu une activité viticole mais n'a plus de cépage implanté, elle est privilégiée dans la recherche de solutions optimales.

2. Premiers résultats à l'échelle de la région Bretagne

2.1. Définition du scénario

La vigne était présente en Bretagne, jusqu'à la crise du phylloxéra à la fin du XIXe siècle. Plusieurs études portant sur les impacts du changement climatique en viticulture, ont identifié la Bretagne comme un espace émergent propice à la culture de la vigne (Hannah *et al.* 2013, Bonnardot et Quénel 2020). Dans ce contexte, une expérimentation pour déterminer des zones viticoles potentielles à l'échelle de la région a été développée. Dans cette expérimentation, les données climatiques proviennent des simulations du Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM) pour le RCP 8.5 et couvrent les années de 2006 à 2100. Les cépages potentiellement autorisés sont le Pinot noir et le Sauvignon. Une fois une maille jugée optimale à l'implantation d'un cépage, celle-ci est considérée comme exploitée pour une durée de 30 ans. La simulation a été réalisée avec un mode de production de type conventionnel pour l'ensemble de la zone d'étude.

En termes de contraintes, l'implantation n'est possible que sur des mailles couvertes à 80% minimum de surfaces agricoles calculées à l'aide des données d'occupation du sol Corine Land Cover de 2018. Afin de limiter un éventuel effet de morcellement, le voisinage d'une maille déjà implantée en vigne est privilégié pour l'implantation d'une nouvelle maille viticole. L'antériorité d'une mise en culture est également considérée. Actuellement, les objectifs sont au nombre de trois et concernent la limitation du risque de gel, la limitation des fortes chaleurs, et la limitation du nombre de traitements phytosanitaires. Le premier objectif comptabilise annuellement le nombre de jours inférieurs à 0°C ; les mailles jugées avec un seuil acceptable ne dépassent pas 3 jours de gel, la limite maximale étant située à 5. Concernant la limitation des fortes chaleurs, les occurrences supérieures à 35°C sont retenues avec un seuil acceptable jusqu'à 4 jours, et une limite de 10 jours maximum. Enfin, la prise en compte du risque pathogène se traduit un nombre minimum de traitement systémique à atteindre.

2.2. Résultats des simulations à l'échelle de la Bretagne

La Figure 2 présente les résultats obtenus en fonction du scénario implémenté à l'échelle de la Bretagne. Ces résultats mettent en avant des mailles optimales pour la culture de la vigne. Les mailles optimales représentent les meilleures combinaisons entre les différents objectifs et selon les seuils définis dans le scénario. Ainsi, une maille définie comme « non optimale » ne signifie pas qu'elle est défavorable à la culture de la vigne, mais simplement que la combinaison entre facteurs favorables et contraintes est moins bonne que pour une maille optimale.

Pour les trois simulations, les données climatiques proviennent du CNRM pour le scénario 8.5 et couvrent les années de 2006 à 2100. Pour les deux premières simulations, respectivement pour le Pinot Noir puis le Sauvignon, chaque cépage a été traité individuellement par le modèle afin de déterminer les mailles les plus adaptées pour chacun à horizon 2030 et 2090. Pour la troisième simulation, les deux cépages autorisés ont été traités de façon simultanée dans le processus d'optimisation. Le processus de sélection entre les deux cépages autorisés (cf. 1.2.2.) permet de mettre en avant les mailles ainsi que les cépages les plus optimaux au regard des objectifs et contraintes fixées. De manière générale, sur l'une ou l'autre des simulations, on constate une migration des espaces optimums du sud, sud-est à horizon 2030 vers le nord, nord-ouest à l'horizon 2090.

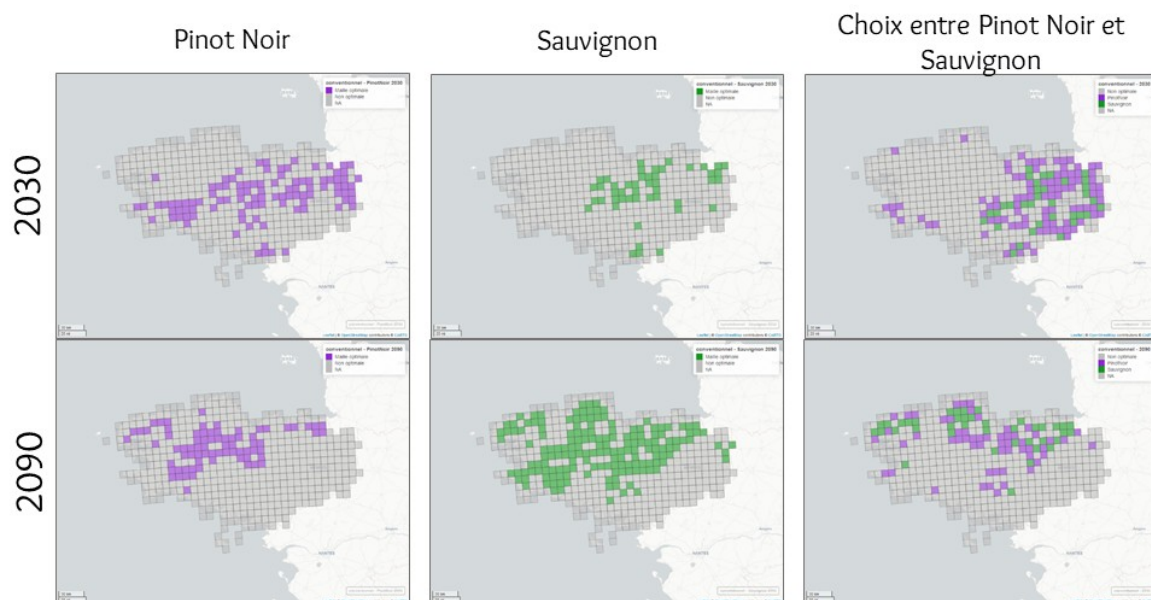


figure 2. Identification d'espaces viticoles potentiels (Pinot noir et Sauvignon) en Bretagne, à horizon 2030 et 2090

Conclusion

Ainsi, l'approche proposée permet d'aborder des questions relatives à l'adaptation des régions viticoles traditionnelles ou à l'identification de nouveaux espaces pour la viticulture. Le modèle permet également de tester différentes hypothèses et contraintes (agronomiques, anthropique, économique, etc.). Bien que l'approche et les résultats proposés soit à l'échelle d'une région (ici la Bretagne), le modèle peut également être mobilisé à des échelles plus fines, en fonction de la résolution des données disponibles (en particulier les données climatiques). De nombreuses perspectives de développement et d'amélioration sont envisagées notamment pour le calcul des objectifs. Actuellement, les occurrences de risque sont comptabilisées sur la quasi-totalité des cycles phénologiques. Or, certains critères comme le risque de gelées tardives sont plus importants en début du débournement. De même, le risque d'échaudage est plus accru en période de maturation des baies. Le calcul d'occurrences de ces risques nécessiterait ainsi de prendre en compte l'intensité et la durée de l'évènement. Dans cette perspective, de nouveaux indicateurs sont en cours d'élaboration afin d'intégrer au mieux ces notions d'intensité et de durée (Petitjean *et al.*, in prep).

Bibliographie

- Baggiolini M., 1952 : Les stades repères dans le développement annuel de la vigne et leur utilisation pratique. *Revue romande d'agriculture et de viticulture*, **8**
- Bonnardot V., et Quénel H., 2020 : Viticulture en Bretagne : challenge ou opportunité ? Quelques indices bioclimatiques régionaux. *Actes du 33ième colloque de l'Association Internationale de Climatologie*
- Cantat O, Planchon O, Quénel H, Savouret H, Bois B, Beauvais F, et Brunel-Muguet S. 2019 : Gelées tardives et viticulture en basse et moyenne Vallée de la Loire (France): Approche géoclimatique d'un aléa météorologique majeur pour la vigne. *Climatologie*, **16**, 91-128.
- Duchêne E, et Schneider C. 2005 : Grapevine and Climatic Changes: A Glance at the Situation in Alsace. *Agronomy for Sustainable Development*, **25**, 93-99.
- Francisci D., 2002. : Algorithmes Evolutionnaires et Optimisation Multi-objectifs en Data Mining, *Rapport de recherche Laboratoire I3S*.
- Gambetta J, Holzapfel B, Stoll M, et Friedel M, 2021 : Sunburn in Grapes: A Review. *Frontiers in Plant Science*, **11**
- Gavrilescu C., Bois B., Castel T, Larmure A, Ouvrié M, et Richard Y., 2019 : Analyse spatiale de l'évolution du risque de gel sur la vigne en Bourgogne-Franche-Comté, *32ème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*
- Hannah L, Roehrdanz P, Ikegami M, Shepard A.V., Shaw M.R, Tabor G, Zhi L, Marquet P.A., et Hijmans R.J. 2013 : Climate Change, Wine, and Conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **110**
- Keller M., 2010 : Managing Grapevines to Optimise Fruit Development in a Challenging Environment: A Climate Change Primer for Viticulturists, *Australian Journal of Grape and Wine Research*, **16** (s1): 56-69.
- Mosedale J.R., Abernethy K.E., Smart R.E., Wilson R.J., et Maclean I.M.D. 2016 : Climate Change Impacts and Adaptive Strategies: Lessons from the Grapevine, *Global Change Biology*, **22** (11): 3814-28.
- Petitjean T, Tissot C, Thibault J, Bonnardot V, Rouan M. et Quénel H, *in prep* 2022, Evaluation spatio-temporelle de l'exposition aux risques climatiques en régions viticoles traditionnelle (Pays de la Loire) et émergente (Bretagne)
- Parker A. K., Garcia de Cortázar-Atauri I, Chuine I, Barbeau G, Bois B, Boursiquot J-M, Cahurel J-Y., 2013 : Classification of Varieties for Their Timing of Flowering and Veraison Using a Modelling Approach: A Case Study for the Grapevine Species *Vitis Vinifera L.*, *Agricultural and Forest Meteorology*, **180**, 249-64.
- Parker A.K., García de Cortázar-Atauri I, Gény L, Spring J-L, Destrac A., Schultz H., Molitor D., 2020 : Temperature-Based Grapevine Sugar Ripeness Modelling for a Wide Range of *Vitis Vinifera L.* Cultivars., *Agricultural and Forest Meteorology*, **285-286**
- Thibault J., Tissot C, et Quénel H. 2020a : Island vineyards in the context of climate change, *Proceedings of the XIIIth International Terroir Congress*
- Thibault J, Tissot C., et Quénel H. 2020b : La viticulture littorale et insulaire dans le contexte du changement climatique, *Actes du 33ième colloque de l'Association Internationale de Climatologie*.
- Tissot C, Quénel H, et Rouan M., 2020 : Adaptation de la viticulture argentine à la variabilité climatique : une approche par simulation dans la région de Mendoza , *Norois*, **254**, 91-108.
- Van Leeuwen C., Garnier C, Agut C, Baculat B, Besnard E, Bois B, Boursiquot J-M, et Chuine I, 2008 : Heat Requirements for Grapevine Varieties Is Essential Information to Adapt Plant Material in a Changing Climate, *Congrès International des Terroirs Viticoles*, **7**.
- Webb M., Pirie A., Kidd D., et Minasny B., 2017 : Spatial analysis of frost risk to determine viticulture suitability in Tasmania, Australia: Analysis of frost risk for viticulture in Tasmania, *Australian Journal of Grape and Wine Research*, **24**
- Winkler A., Cook J.A., Kliewer W.M., Lider L.A., 1974 : General Viticulture. 4Th ed. University of California Press.
- Yao J., Zhang X., et Murray A.T., 2018 : Spatial Optimization for Land Use Allocation: Accounting for Sustainability Concerns, *International Regional Science*, **41**.