



RENAN LE ROUX, CARINA FURUSHO-PERCOT, MARIE LAUNAY, IÑAKI GARCIA DE
CORTAZAR ATAURI

US 1116 AGROCLIM

Étude agroclimatique de l'évolution du climat de l'AOC Luberon



INRAE



L'EUROPE INVESTIT DANS LES ZONES RURALES

Chapitre 1

Introduction

1.0.1 Description

Le vignoble de l'AOC Luberon se situe dans le département du Vaucluse. Il s'agit d'un vignoble avec la particularité d'être inclus au sein d'un parc régional. Les vignes se répartissent le long de deux vallées, la vallée du Cavallon au Nord et celle de la Durance au sud. L'altitude du vignoble se situe entre 200 et 500 mètres d'altitude, avec un relief assez marqué 1.1. Pour avoir une plus ample description de la géographie du vignoble, se référer au dossier de presse disponible sur le site de l'AOC

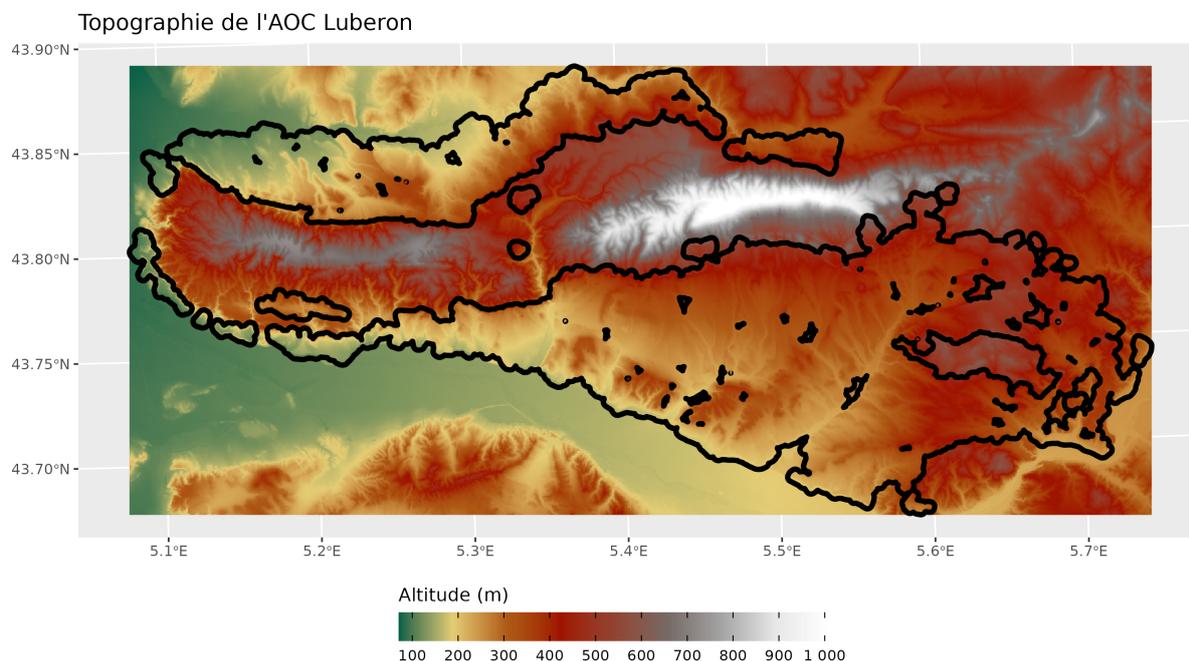


FIGURE 1.1 – Limites de l'AOC Luberon et relief

1.0.2 Climat

Le climat du vignoble du Luberon est assez spécifique, avec des températures moyennes et minimales au cours de la saison végétative moins élevées que pour les autres appellations méditerranéennes et de la vallée du Rhône, mais avec des températures maximales élevées, amenant de fortes amplitudes thermiques. Les précipitations sont quant à elles relativement faibles comparées aux vignobles septentrionaux. Il est à noter que les chiffres bruts de cette comparaison doivent être analysés avec précaution du fait de la différence d'échelle lors de la comparaison (très grandes régions viticoles comparées à une relativement petite appellation). Il faut donc lire cette figure comme une position relative de l'appellation par rapport à un ensemble de climats beaucoup plus variés dans la réalité.

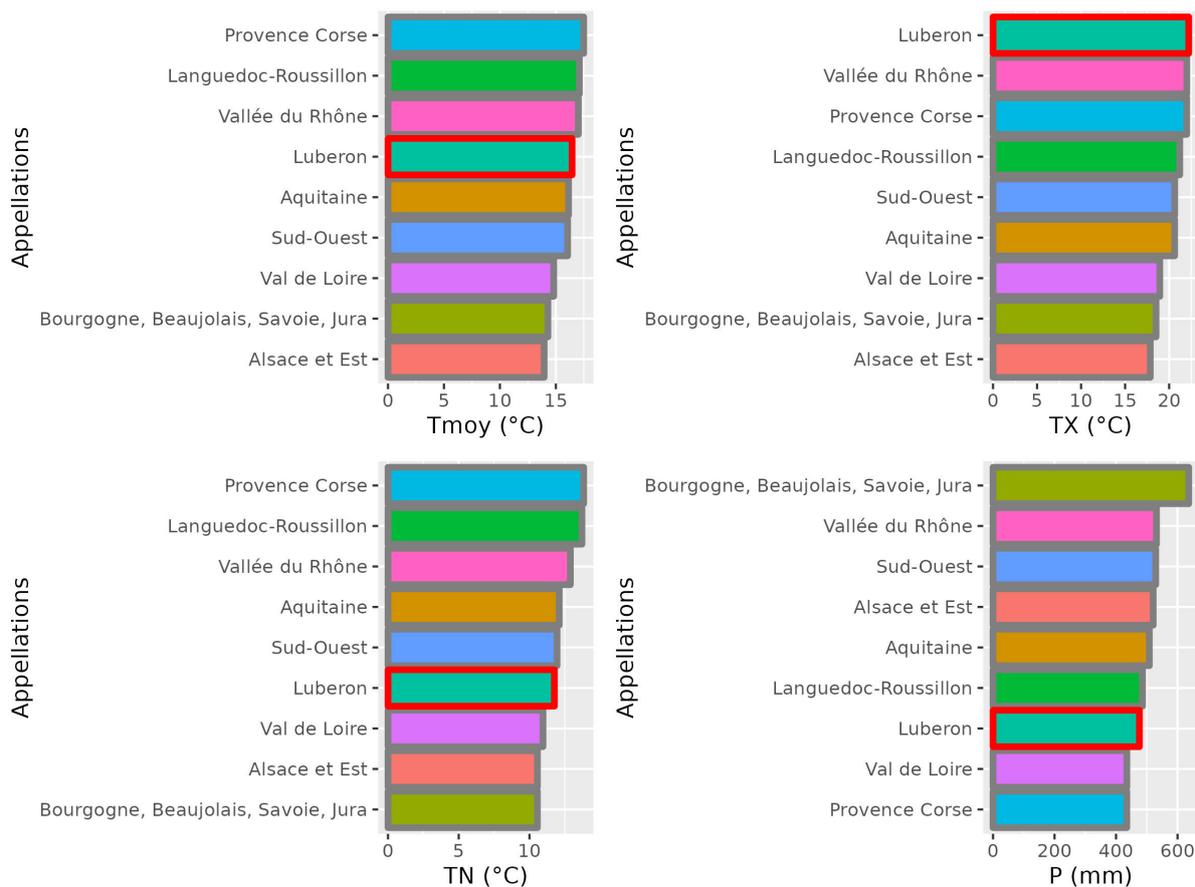


FIGURE 1.2 – Températures minimales (TN), maximales (TX), moyennes (Tmoy) et précipitations sur la période 1976-2005, du 01/03 au 31/10 pour les principales régions viticoles françaises en comparaison avec l’AOC Luberon. Source : SAFRAN, Météo France, résolution 8km.

1.0.3 Objectifs de l’étude

Cette étude sur l’évolution attendue des conditions climatiques dans le vignoble du Luberon se focalise sur les aléas climatiques pouvant avoir un impact sur la production et les styles de vins produits dans l’AOC. Elle présente l’originalité d’intégrer la phénologie de plusieurs cépages dans l’analyse, mettant ainsi en avant les conditions climatiques autour des stades clés du cycle végétatif. L’analyse a été réalisée sur plusieurs modèles climatiques et plusieurs scénarios d’émission de gaz à effet de serre, afin de prendre en compte la variabilité et les incertitudes des projections climatiques.

Chapitre 2

Méthodologie

2.1 Données climatiques

2.1.1 Scénarios de changement climatique

2.1.2 Les données Drias

Les données DRIAS sont les données simulées de projections climatiques futures à partir de plusieurs modèles climatiques. DRIAS est un produit du domaine public de Météo-France qui a pour vocation de mettre à disposition des projections climatiques régionalisées réalisées dans les laboratoires de modélisation du climat. Les données climatiques délivrées par DRIAS sont des données journalières et maillées sur une grille de 8 km par 8 km. Cette base de données couvre la période 1950-2100. Dans cette étude les données de projection du climat sont issues des modèles climatiques globaux CNRM-CM5 et EC-EARTH associés à deux modèles climatiques régionaux, ALADIN63 et RACMO22 et sous trois scénarios futurs RCP 2.6, RCP 4.5 et RCP 8.5.

Ces trois scénarios définis dans le rapport 5 du GIEC [1] représentent différentes évolutions possibles des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère

- RCP 2.6 : Scénario à très faibles émissions avec un point culminant en 2050. C'est le scénario qui permet de maintenir la température moyenne globale de la terre en dessous de 1.5°C
- RCP 4.5 : Scénario avec stabilisation des émissions avant la fin du siècle
- RCP 8.5 : Les émissions continuent d'augmenter au rythme actuel.

Les modèles sélectionnés dans cette étude correspondent aux simulations réalisées en couplant les modèles globaux et régionaux prenant en compte l'évolution dynamique de la concentration en aérosols, celle-ci impactant le calcul de la variable rayonnement (et donc le calcul de l'évapotranspiration). En effet, les aérosols (naturels et anthropiques) ont des effets importants sur le climat, à travers leurs interactions avec le rayonnement et les nuages [3] et depuis les années 1980, les émissions anthropiques d'aérosols ont fortement diminué, entraînant une diminution de l'effet radiatif des aérosols, et donc un réchauffement de la surface [7].

Sur la figure 2.1, nous pouvons voir que les trois modèles couplés couvrent trois évolutions du climat : EC-EARTH/RACMO22E est représentatif de l'ensemble médian de Drias, CNRM-

CM5/ALADIN63 présente un réchauffement moyen sans évolution des précipitations annuelles et CNRM-CM5/RACMO22E présente un réchauffement faible et une augmentation assez forte des précipitations.

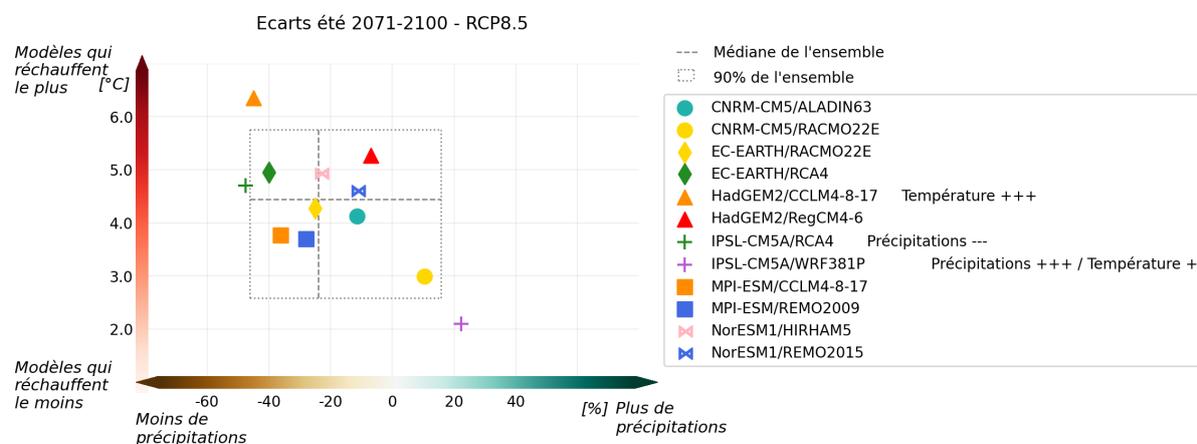


FIGURE 2.1 – Répartition des modèles climatiques en terme d'évolution des températures et des précipitations annuelles. Source : Drias

2.2 Indicateurs écoclimatiques

Les cultures sont très dépendantes des effets climatiques qui se produisent au cours de leur cycle et ceux-ci définissent leur distribution spatiale. Les indicateurs agroclimatiques (par exemple la température moyenne, le nombre de jours de gel ou encore le cumul de précipitations sur des périodes spécifiques) sont utilisés classiquement pour fournir des informations synthétiques sur les effets du climat sur le fonctionnement des cultures. Des études récentes ont utilisé des indicateurs agroclimatiques calculés sur des périodes phénologiques (ci-après dénommés indicateurs écoclimatiques [4]). L'intérêt de calculer de tels indicateurs est d'intégrer l'évolution inter-annuelle de la phénologie des plantes et ainsi obtenir des informations plus précises sur les effets du climat sur la croissance et le développement de la plante.

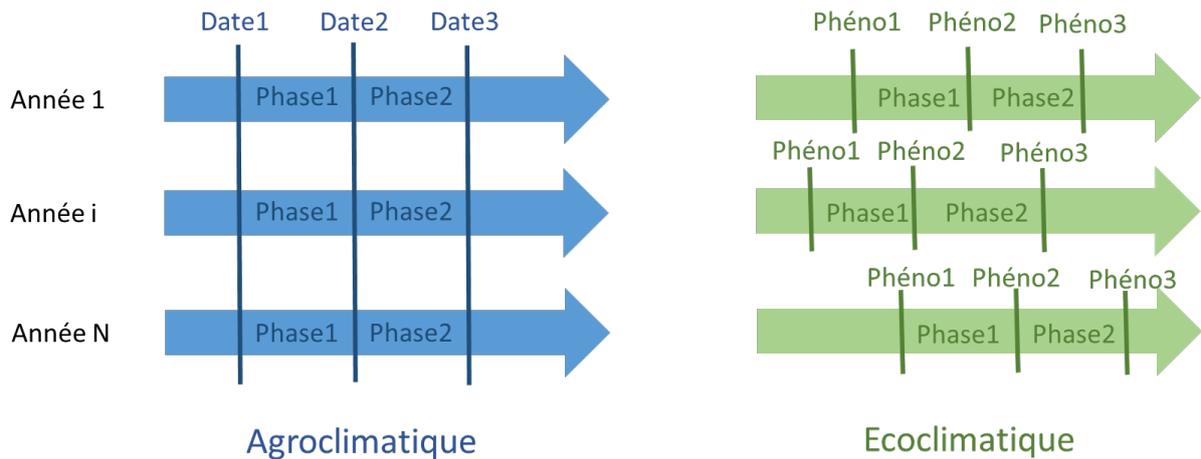


FIGURE 2.2 – Schéma conceptuel d'un indicateur agroclimatique (à gauche) et d'un indicateur écoclimatique (à droite) (d'après P.Bertuzzi)

2.2.1 Cépages

Pour cette étude, nous avons choisi deux cépages existants sur l'appellation, un cépage plutôt précoce pour le sud de la France (Syrah) et un cépage plus tardif (Ugni blanc). De plus les modèles phénologiques utilisés sont déjà calibrés pour ces deux cépages [6]. Pour la floraison, les deux cépages sont généralement tardifs, particulièrement l'Ugni blanc. Par contre pour la véraison, les deux cépages ont des comportements assez différents avec une véraison plutôt tardive pour l'Ugni blanc et précoce pour la Syrah.

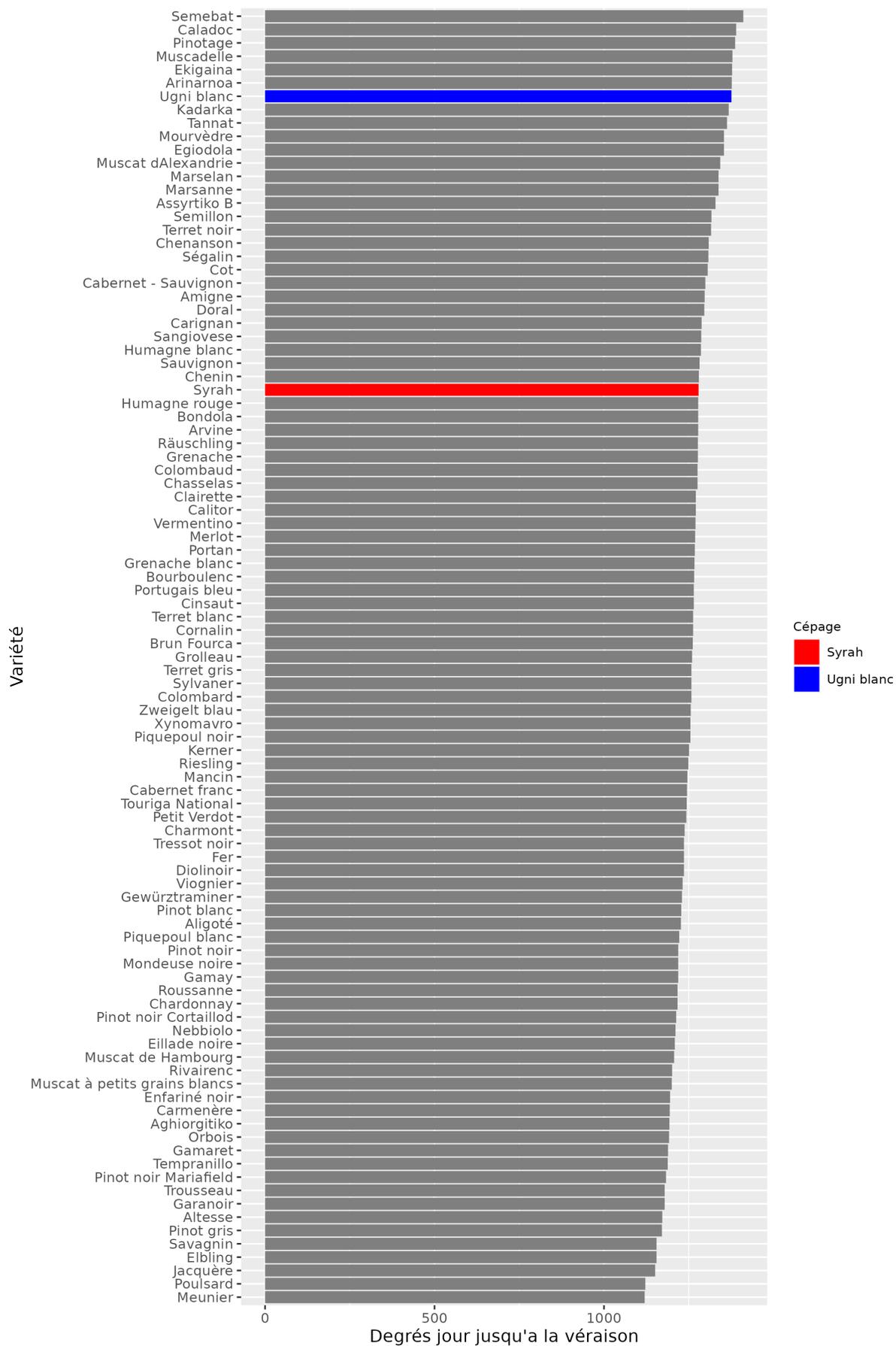


FIGURE 2.3 – Précocité d’une gamme de cépage⁷ pour la floraison d’après le modèle Grapevine Florewing Veraison [8]

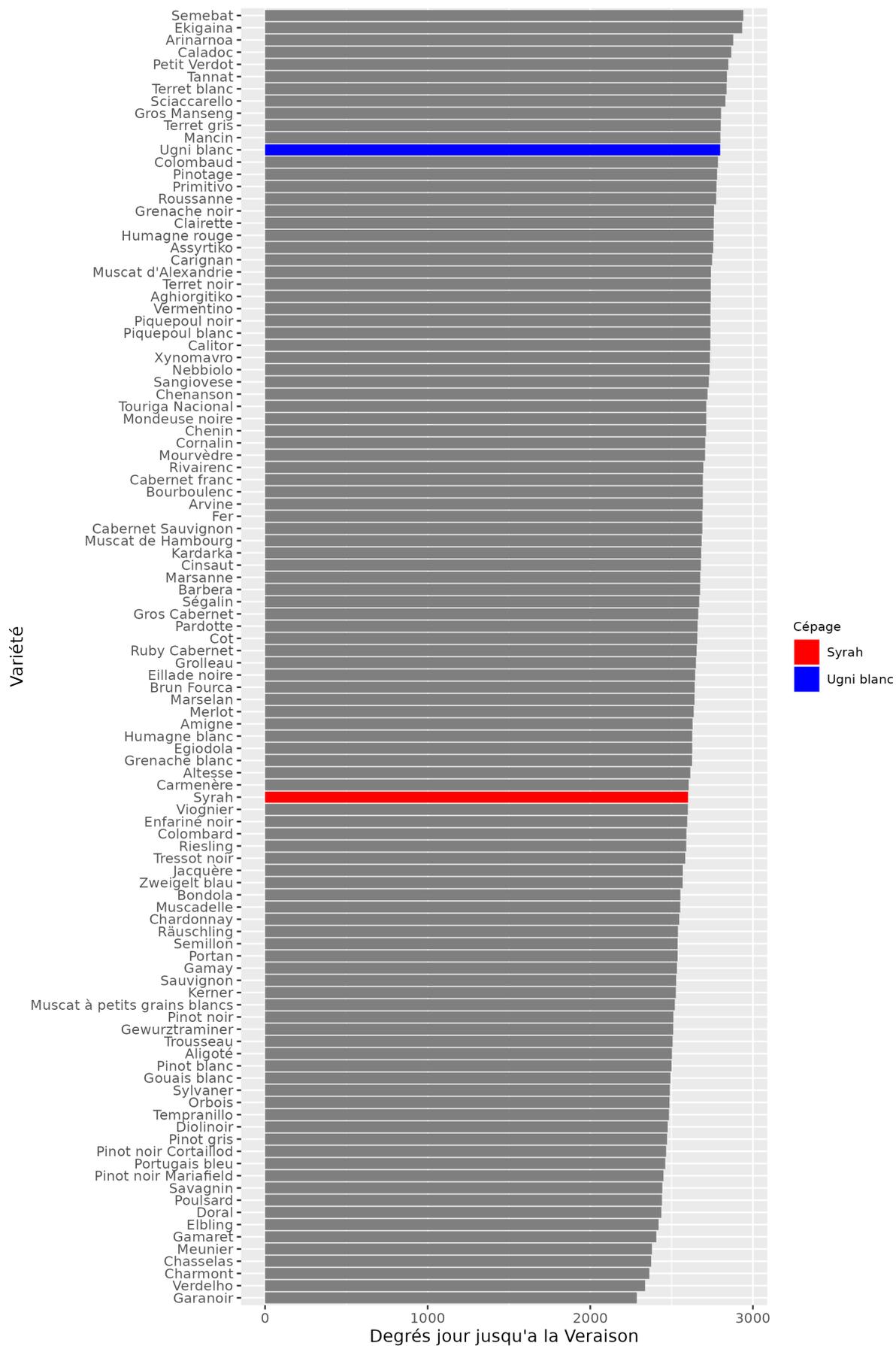


FIGURE 2.4 – Précocité d'une gamme de cépages pour la véraison d'après le modèle Grapevine Floewing Veraison [8]

2.2.2 Modèles phénologiques

La phénologie de la vigne sur le terroir du Luberon a été simulée par un modèle phénologique séquentiel [5]. Ce modèle utilise comme données d'entrée la température journalière. Le modèle est initialisé pendant l'été au moment où les bourgeons fructifères de l'année suivante rentrent en dormance. Ensuite par le cumul des températures fraîches et de températures au dessus d'un seuil le modèle calcule les dates des différents stades phénologiques de la vigne. Ici les stades calculés sont le débourrement, la floraison et la véraison. La maturité a été fixée à 35 jours après la véraison car la date de vendange est très dépendante du type de vin produit. La simulation a été réalisée sur deux cépages de l'appellation, la Syrah et Ugni blanc.

2.2.3 Indicateurs retenus

Les indicateurs retenus pour évaluer l'impact du climat sur la viticulture dans le vignoble du Luberon sont issus de l'étude produite par Bécart et al (2022) [2] et sont décrits dans la table 2.1. Les indicateurs sont calculés suivant plusieurs horizons temporels :

- La période de référence (1976-2005) : Il s'agit de la période qui sert de référence historique pour les études de changements climatiques.
- horizon court (2021-2050) : C'est le futur proche, dans ces conditions, les scénarios influent peu sur les impacts climatiques, la variabilité est principalement dû à la variabilité naturelle du climat
- horizon moyen (2041-2070) : Période qui représente le climat du milieu du siècle, l'influence des scénarios commencent à jouer sur le climat
- horizon lointain (2071-2100) : Conditions de la fin du siècle, les scénarios sont prépondérants sur les valeurs des variables climatiques

TABLE 2.1 – Indicateurs retenus

Indicateur	Description	Débourrement-Floraison	Floraison-Véraison	Véraison-Maturité
maxt	Températures moyennes maximales	X	X	X
meant	Températures moyennes	X	X	X
ranget	Amplitude thermique	X	X	X
sumsorad	Rayonnement globale	X	X	X
sumwd	Déficit hydrique (ETP - précipitations)	X	X	X
rainsum	Précipitations	X	X	X
raifreq	Fréquence des jours de pluies (Jour avec P>0mm)	X	X	X
phalen	Durée de la phase	X	X	X
cdaystmin	Jour de gel	X		
cfreqtmin	Fréquence des jours de gel	X		
hwindfreq	Fréquence des jours de grand vent	X	X	X
hsdays	Nombre de jours chaud (tmax > 35°C)		X	X
xhsdays	Nombre de jours très chaud (tmax > 40°C)		X	X
hsfreq	Fréquence de jours chaud (tmax > 35°C)		X	X

Chapitre 3

Résultats

3.1 Climatologie

3.1.1 Évolution des températures et des précipitations au cours des différentes phases phénologiques de la vigne

Quelque soit le scénario d'émission envisagé (RCP 2.6 / 4.5 / 8.5), on observe une augmentation des températures sur le site d'étude. Les évolutions des précipitations sont en revanche plus variables entre scénarios 3.1.

– **RCP 2.6**

Dans ce scénario, les températures entre débourrement et floraison et entre floraison et véraison augmentent peu (0.5°C à moyen terme et 1°C à long terme), avec peu de distinction entre les cépages. Entre la véraison et la maturité, les températures augmentent plus fortement, avec plus de 2°C d'augmentation sur cette phase phénologique. Au niveau des précipitations, il n'y a pas de signal clair avec ce scénario.

– **RCP 4.5**

Pour ce scénario, les augmentations de températures sont plus intenses, notamment pour la phase véraison-maturité, avec +3.5°C attendus en milieu de siècle et plus de 4°C d'augmentation en fin de siècle. Pour cette même période, on constate une diminution des précipitations pour la dernière phase du cycle et pour les deux cépages, cependant plus marquée pour la Syrah.

– **RCP 8.5**

Pour le scénario le plus pessimiste en termes d'émission de gaz à effet de serre, la fin de cycle est particulièrement affectée, avec à la fois une très forte hausse des températures, 4°C en milieu de siècle et plus de 7 degrés en fin de siècle accompagnée d'une baisse des précipitations.

Cette première analyse des variables climatiques couramment étudiées révèle une grande disparité dans les intensités des variations climatiques futures, dépendant étroitement des phases phénologiques examinées. Les premiers stades du cycle semblent moins sensibles aux changements que la fin de cycle. Néanmoins, pour approfondir cette observation, ces résultats doivent être confrontés à l'évolution phénologique de ces deux cépages, afin d'appréhender plus finement leur influence sur l'évolution des conditions climatiques tout au long du cycle végétatif.

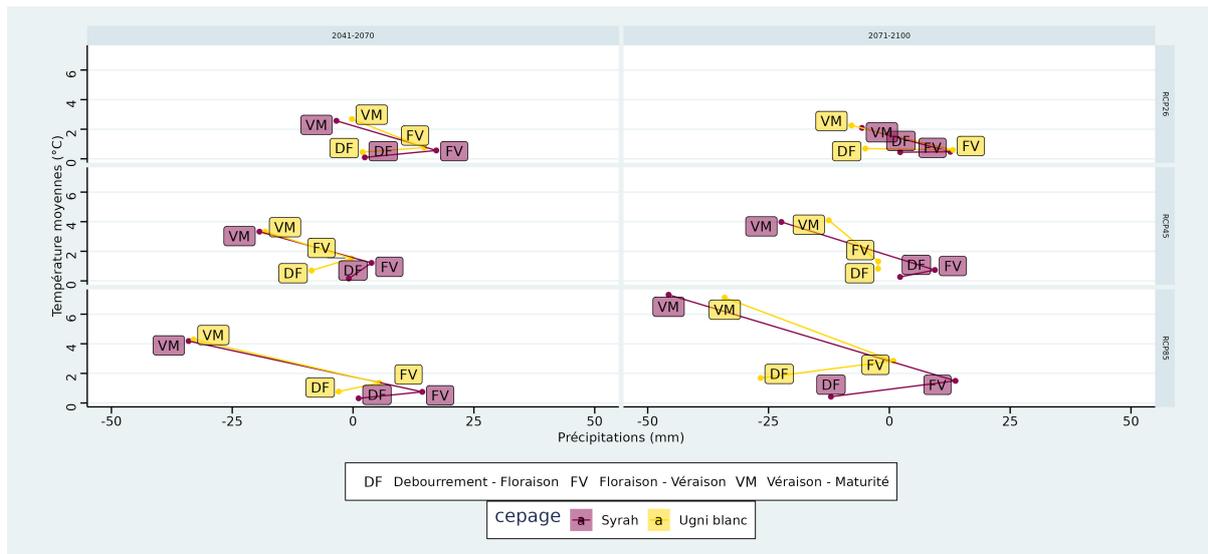


FIGURE 3.1 – Anomalies* des températures et des précipitations par phase phénologique pour les périodes 2041-2070 et 2071-2100 par rapport à la période 1976-2005 pour les deux cépages. Les données représentent les médianes des 25 mailles du site d'étude et des trois couples de modèles.

* Une anomalie est une différence entre la médiane de la période historique et la médiane des périodes futures

3.2 Phénologie

3.2.1 Débourrement

La table 3.1 représente les dates de débourrement des deux cépages étudiés. On voit une avancée de ce stade phénologique quel que soient les scénarios et les horizons temporels, pour les deux cépages étudiés. Cependant les avancées sont plus bien plus marquées pour la Syrah, avec près de trois semaines d'avancée du stade débourrement attendue pour la fin de siècle pour le scénario RCP 8.5. L'Ugni blanc subit quand à lui une avancée d'une dizaine de jours en moyenne pour la fin du siècle pour les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5.

TABLE 3.1 – Evolution de la date du débourrement pour les cépage Syrah et Ugni

		Debourement								
		Syrah				Ugni				
scenario	1976-2005	2041-2070	Jour fu-ture proche	2071-2100	Jour futur loin-tain	1976-2005	2041-2070	Jour fu-ture proche	2071-2100	Jour futur loin-tain
RCP26	04-21	04-12	-9	04-16	-5.0	04-29	04-23	-6	04-24	-5
RCP45	04-21	04-13	-8	04-08	-12.5	04-29	04-23	-6	04-20	-9
RCP85	04-21	04-07	-14	03-30	-21.5	04-29	04-20	-9	04-20	-9

Floraison

Pour la floraison, les différences d'avancées entre les deux cépages sont moins marquées que pour le débourrement. On attend un avancée de 6 à 18 jours suivant les cépages, les horizons et les scénarios, faisant passer d'une floraison autour de la mi-juin à début juin voir fin mai.

TABLE 3.2 – Evolution de la date de floraison pour les cépage Syrah et Ugni

Floraison										
scenario	Syrah					Ugni				
	1976-2005	2041-2070	Jour fu- ture proche	2071-2100	Jour futur loin- tain	1976-2005	2041-2070	Jour fu- ture proche	2071-2100	Jour futur loin- tain
RCP26	06-14	06-08	-6.5	06-07	-7.5	06-18	06-12	-6	06-10	-8
RCP45	06-14	06-05	-9.5	05-31	-14.5	06-18	06-09	-9	06-06	-12
RCP85	06-15	05-30	-16.0	05-21	-24.5	06-18	06-05	-13	05-31	-18

3.2.2 Véraison

Pour la véraison 3.3 on observe un avancement plus marqué de la Syrah de nouveau avec jusqu'à 25 jours pour le futur lointain sous le scénario RCP 8.5 ce qui amènerait à une véraison moyenne fin juillet pour ce cépage , tandis que pour l'Ugni blanc, la véraison se maintiendrait en août.

TABLE 3.3 – Evolution de la date de véraison pour les cépages Syrah et Ugni

Véraison										
scenario	Syrah					Ugni				
	1976-2005	2041-2070	Jour fu- ture proche	2071-2100	Jour futur loin- tain	1976-2005	2041-2070	Jour fu- ture proche	2071-2100	Jour futur loin- tain
RCP26	08-14	08-07	-7.5	08-06	-8.5	08-23	08-17	-6	08-15	-8.0
RCP45	08-14	08-04	-10.5	07-31	-14.5	08-23	08-14	-9	08-10	-12.5
RCP85	08-15	07-30	-16.0	07-21	-25.0	08-23	08-10	-13	08-05	-18.0

3.2.3 Fin de cycle

Sachant que le modèle phénologique que nous utilisons dans cette étude considère une maturité 35 jours après la véraison, les écarts sont les mêmes que pour la véraison. Avec cette

approche, la maturité aurait lieu entre début et mi-septembre pour la Syrah à moyen terme (2050) et de fin août à mi-septembre pour l'horizon lointain. Pour l'Ugni blanc, la maturité se situerait entre fin septembre (milieu de siècle, RCP 2.6) et mi septembre (fin de siècle, RCP 8.5).

TABLE 3.4 – Evolution de la date de maturité pour les cépages Syrah et Ugni

		Maturité								
		Syrah				Ugni				
scenario	1976-2005	2041-2070	Jour fu-ture proche	2071-2100	Jour futur loin-tain	1976-2005	2041-2070	Jour fu-ture proche	2071-2100	Jour futur loin-tain
RCP26	09-23	09-16	-7.5	09-15	-8.5	10-02	09-26	-6	09-24	-8.0
RCP45	09-23	09-13	-10.5	09-09	-14.5	10-02	09-23	-9	09-19	-12.5
RCP85	09-24	09-08	-16.0	08-30	-25.0	10-02	09-19	-13	09-14	-18.0

La figure 3.2 illustre graphiquement cette avancée des stades phénologiques. La zone grisée représente la variabilité spatiale et interannuelle (intervalle 95%) montrant une grande variabilité suivant les années.

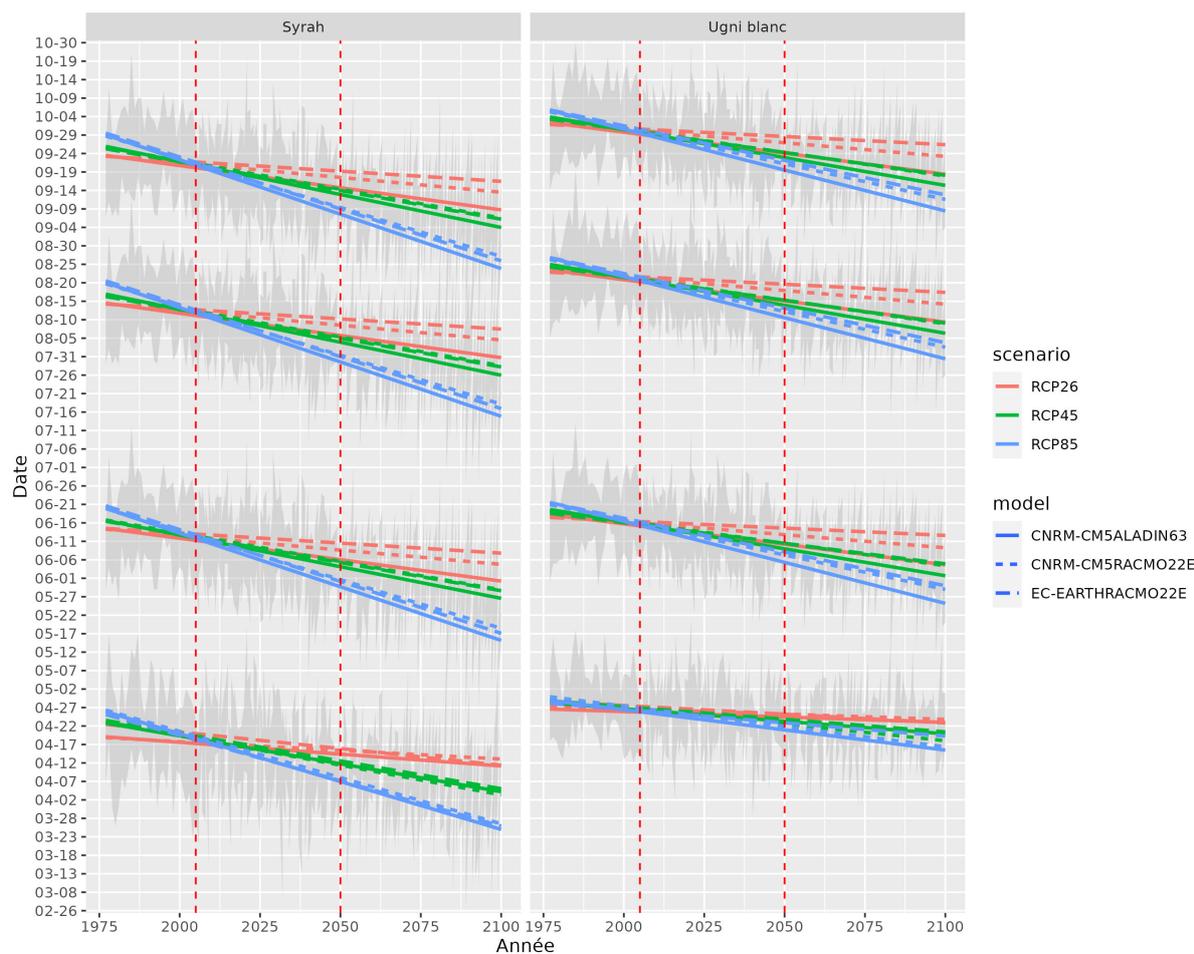


FIGURE 3.2 – Évolution des dates d’occurrences des différentes phases phénologiques pour la période 1976-2100 pour les deux cépages. Les données représentent les 25 mailles du site d’étude et la médiane des trois couples de modèle.

L’avancée des stades phénologiques permet de mieux comprendre les résultats issus de la section précédente. La phase véraison à maturité va se décaler plus tôt en été, au coeur des mois qui sont par définition les plus chauds, et cette augmentation de températures due aux décalages des stades sera accentuée par le réchauffement climatique. Cependant, cette figure permet également de montrer la grande variabilité inter annuelle du climat et des modèles climatiques. Afin d’obtenir un niveau de confiance dans les valeurs brutes des indicateurs calculés dans le futur, il est nécessaire de réaliser une analyse des tendances des différents modèles pour chacun des indicateurs. Plus il y a de modèles significatifs, plus le degré de confiance dans le résultat est élevé.

3.3 Evolution des risques climatiques

3.3.1 Grille de lecture des cartes

Les cartes suivantes présentent une vision spatio-temporelle de l'évolution des indicateurs sur l'appellation avec trois modèles climatiques et selon trois scénarios. L'analyse proposée prend en compte la significativité de l'évolution, en apportant une information sur le degré de confiance que nous pouvons avoir dans les projections futures.. Sur la figure 3.3, la cohérence des modèles dans la tendance représente le nombre de modèles qui présentent une tendance significative. Si il n'y a pas de modèle significatif, on ne peut pas conclure sur l'évolution de la tendance, si les trois modèles présentent une tendance, on peut avoir une plus forte confiance dans l'évolution de l'indicateur. Cette analyse servira notamment pour la section suivante pour faire une focale sur les tendances les plus marquantes de l'évolution des risques sur la région viticole du Luberon.

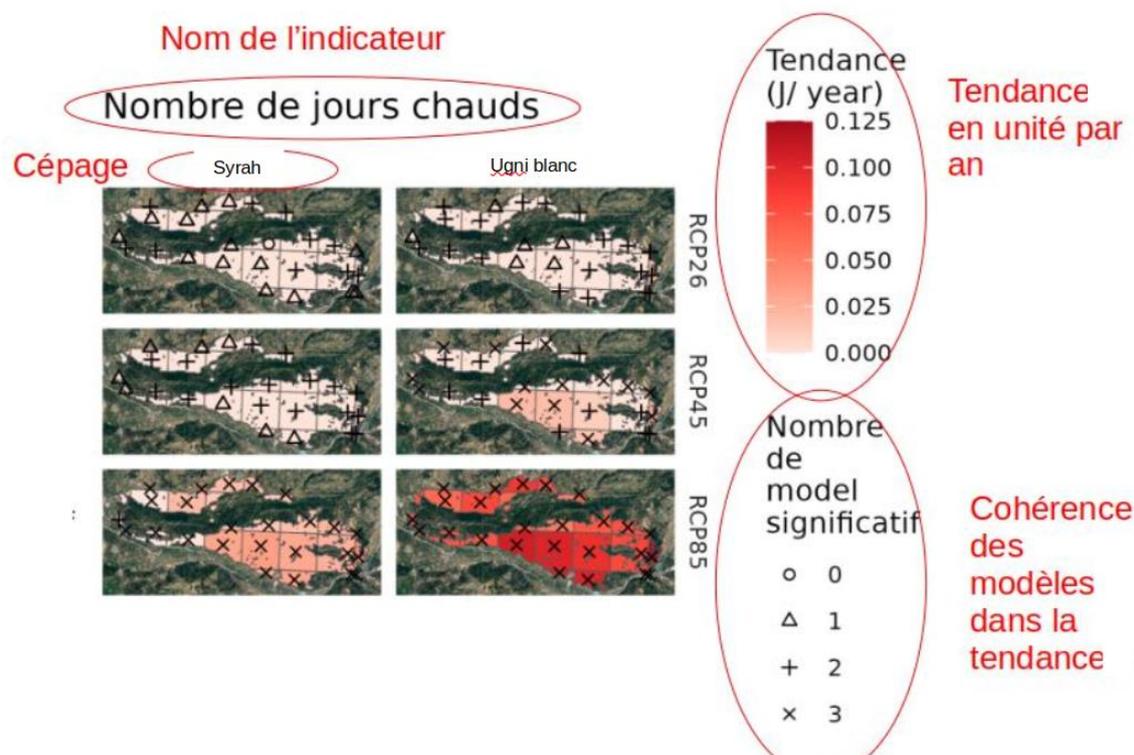


FIGURE 3.3 – Exemple de carte présentant les tendances des indicateurs

3.3.2 Débourrement - floraison

Pour la période du débourrement à floraison 3.4, il n'existe pas de tendance significative pour l'évolution du gel. Cela veut dire qu'il est difficile de se prononcer sur l'évolution de ce risque dans le futur, donc ce risque reste présent de la même façon qu'aujourd'hui. L'évolution des températures sur cette phase phénologique est variable en termes de cohérence entre les modèles. Dans le cas de la Syrah, un seul modèle présente des tendances d'augmentation des

températures minimales pour le RCP 2.6, aucun pour le RCP 4.5 tandis que pour le RCP 8.5 les tendances présentées par les modèles sont très variables spatialement. Pour le cépage Ugni blanc, on voit une augmentation des températures significative pour le scénario 8.5 sur l'ensemble du territoire. En ce qui concerne les précipitations sur cette période, il n'est pas possible d'avoir une évolution significative sur le secteur, de même que pour les jours de vent, ou le déficit hydrique. Pour les jours humides, on observe une baisse de la fréquence des jours humides pour le cépage Ugni blanc dans le cas du scénario RCP 8.5. Pour cette phase, il est donc assez difficile de conclure sur une évolution franche des conditions climatiques pour la Syrah sur cette période, et on peut s'attendre à une augmentation significative de la température pour l'Ugni blanc sur cette période dans le cas du scénario RCP 8.5

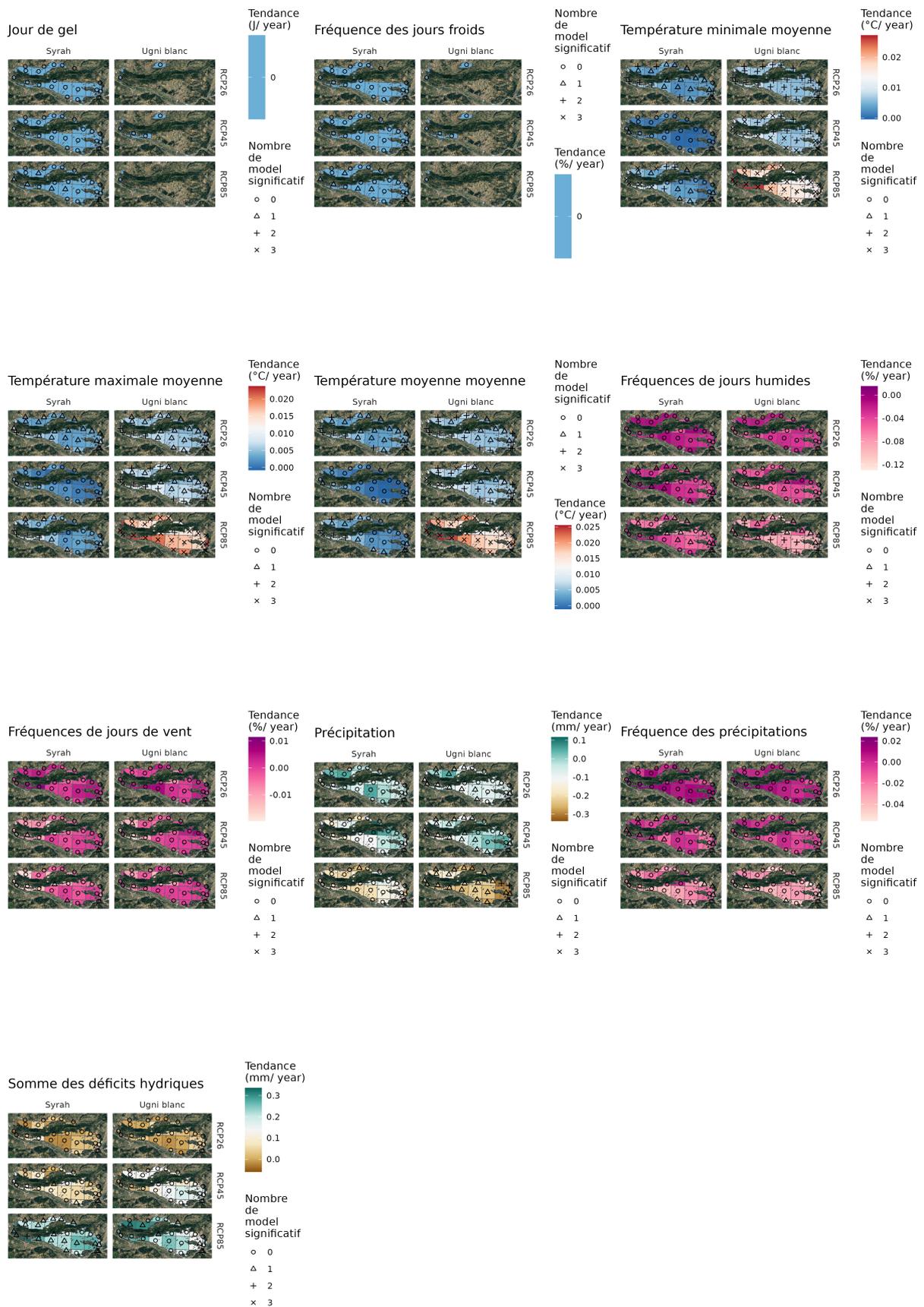


FIGURE 3.4 – Cartographie des indicateurs de risques pour la période entre débourrement et floraison pour 3 modèles, 3 scénarios et deux cépages

3.3.3 Floraison - Véraison

Pour la période de la floraison à la véraison, les signaux sont plus clairs. Il y a une augmentation des températures pour les deux cépages avec une variation de l'intensité et du niveau de confiance suivant les scénarios. L'intensité est plus élevée pour l'Ugni blanc. L'ensemble du territoire est concerné par cette évolution. De même, il y a une augmentation significative du nombre et de la fréquence des jours avec des températures supérieures à 35°C avec un indice de confiance élevé pour le RCP 8.5 et moyen pour le RCP 4.5, l'intensité de cette évolution est plus marquée pour le cépage Ugni blanc que pour la Syrah. Pour les précipitations, il y a peu d'accord entre les modèles, avec des variations spatiales assez fortes. Les indices de confiance sont faibles, mise à part pour une légère augmentation des précipitations dans l'ouest de l'appellation pour la Syrah pour le scénario RCP 8.5 et une baisse pour cette même région. Au vu de ces résultats, il est plus prudent de ne pas conclure sur ce paramètre. Par contre, il y a une augmentation significative pour tous les scénarios et les deux cépages du déficit hydrique, avec des indices de confiance allant de moyen (RCP 2.6) à fort (RCP 8.5). L'intensité de l'évolution de ce déficit hydrique est plus importante pour l'Ugni blanc. Il existe également un signal pour l'augmentation de la fréquence des jours de vent avec une intensité assez forte sur l'ouest de l'appellation pour les deux cépages ainsi qu'une augmentation de la fréquence de jours humides pour les scénarios RCP 2.6 et RCP 8.5.

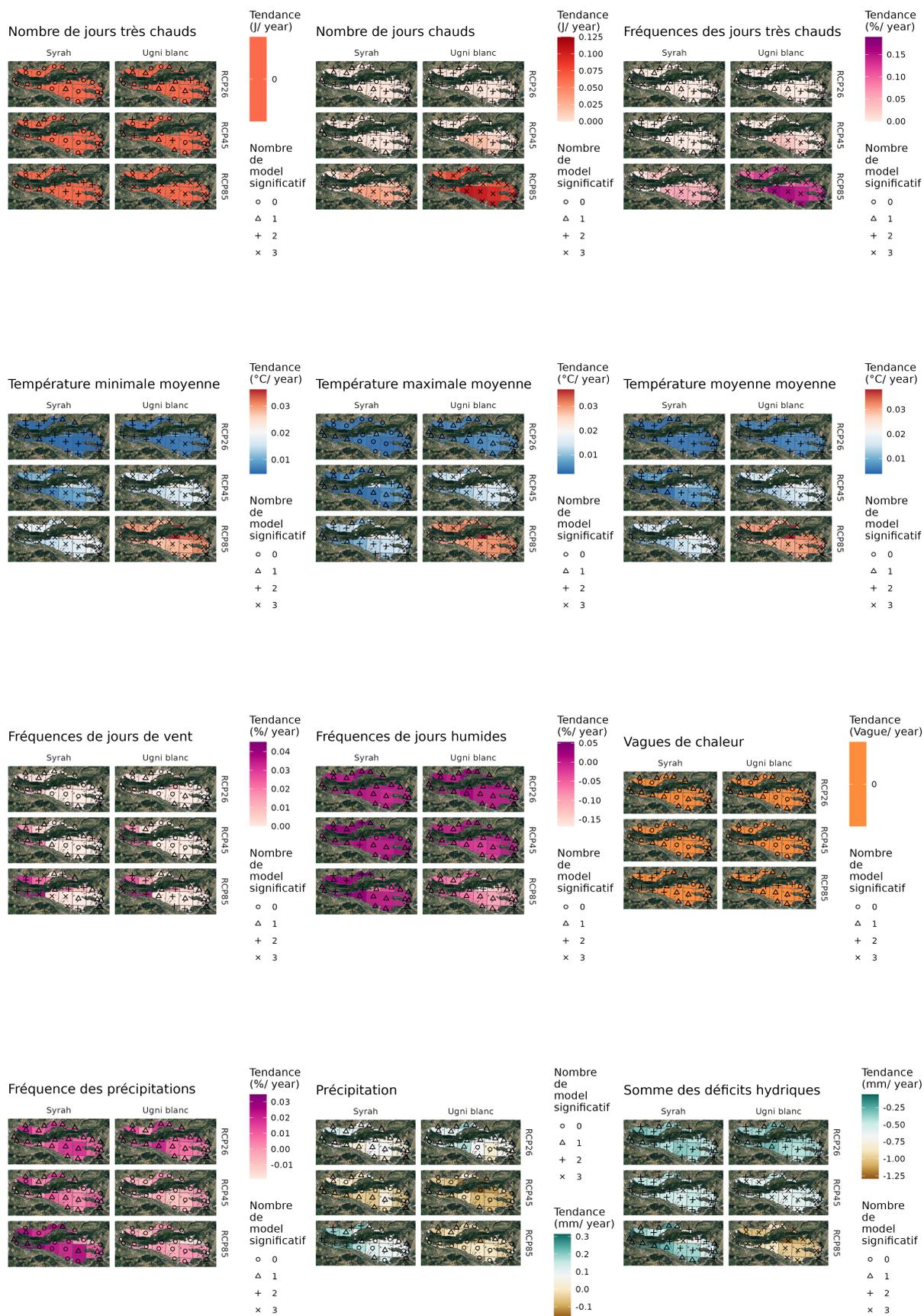


FIGURE 3.5 – Cartographie des indicateurs de risques pour la période entre floraison et véraison pour 3 modèles, 3 scénarios et deux cépages.

3.3.4 Véraison - maturité

Au cours de la fin du cycle, les signaux sont également assez marqués pour les températures, avec notamment une augmentation de la fréquence et du nombre de jours chauds (>35°C), l'apparition de jours très chauds (>40°C) ainsi que des vagues de chaleur (au moins 6 jours consécutifs à 35°C). 3.6. Une baisse des précipitations au cours de cette période est attendue qui, couplée avec la hausse des températures, amènera une forte augmentation du déficit hydrique pour les deux cépages. L'ensemble de ces évolutions sont plus fortes si le scénario comprend des concentrations de gaz à effet de serre plus importante dans l'atmosphère. Mis à part pour le vent, les évolutions des indicateurs pour cette période ont un niveau de confiance élevée, confirmant la hausse de températures et la baisse des précipitations au cours des étés méditerranéen, qui est de plus intensifié par l'avancée de la phénologie. Pour cette phase, le cépage le plus précoce, la Syrah, sera confronté à des risques climatiques de plus forte intensité que le cépage tardif, l'Ugni blanc

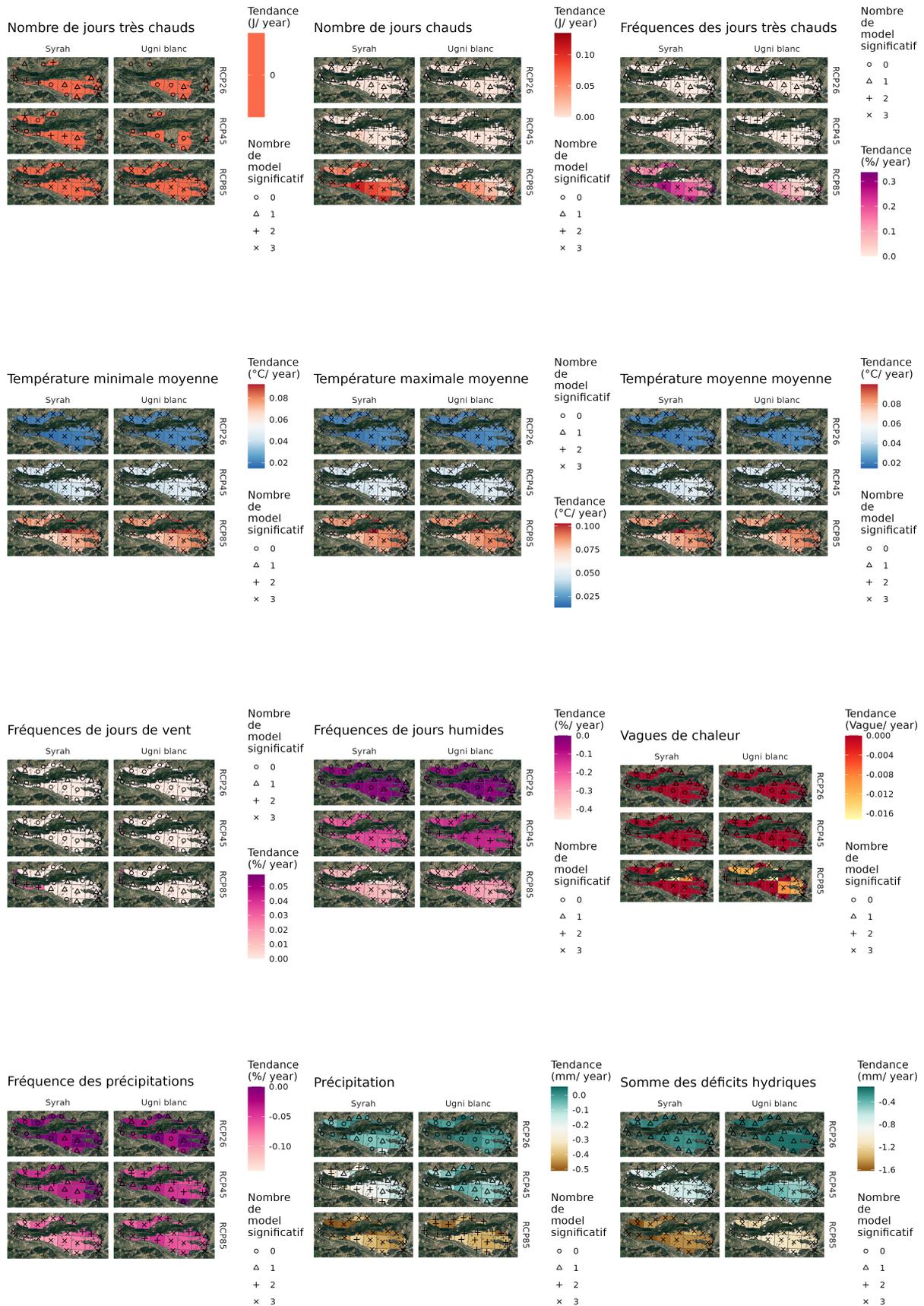


FIGURE 3.6 – Cartographie des indicateurs de risques pour la période entre véraison et maturité pour 3 modèles, 3 scénarios et deux cépages.

3.4 Valeurs brutes possibles des risques climatiques

Dans la sections précédentes, les évolutions les plus significatives du climat concernent principalement les températures, le déficit hydrique, les et jours chauds, ainsi que les jours humides. Ici nous présenteront des résumé des médianes et la dispersion des valeurs brutes attendues pour différentes périodes pour ces indicateurs.

3.4.1 Températures attendues

Températures minimales

Comme dit précédement les températures minimales entre le débourrement et la floraison n'augmentent significativement que pour le cépage le plus tardif en fin de siècle pour le scénario le plus pessimiste, passant d'une valeur de 11.5°C en moyenne sur l'ensemble du secteur, à environ 13°C 3.7. Pour les deux premiers stades considérés, les températures sont moins élevées pour la Syrah, car plus précoce. Mais lors de la phase véraison - maturité, les températures sont plus élevées pour ce cépage et augmentent de 14°C à 16°C dans le cas d'une réduction forte des émissions. Mais pourraient dépasser les 20°C en fin de siècle dans le cas du scénario le plus pessimiste. Concernant l'Ugni blanc, elles se maintiennent autour de 20°C. Il y a donc un risque, particulièrement marqué pour la Syrah.

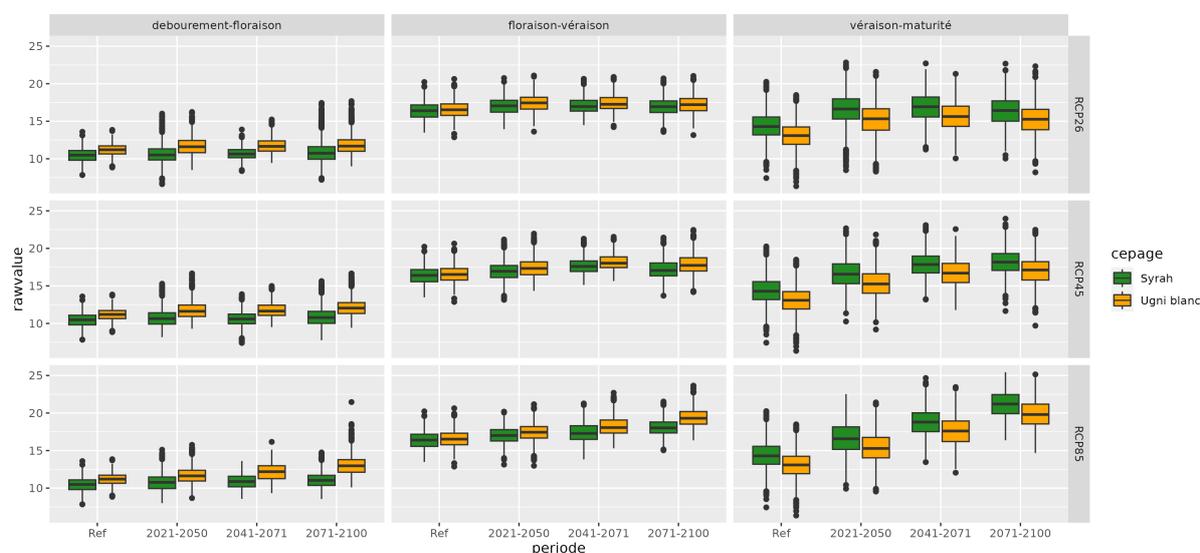
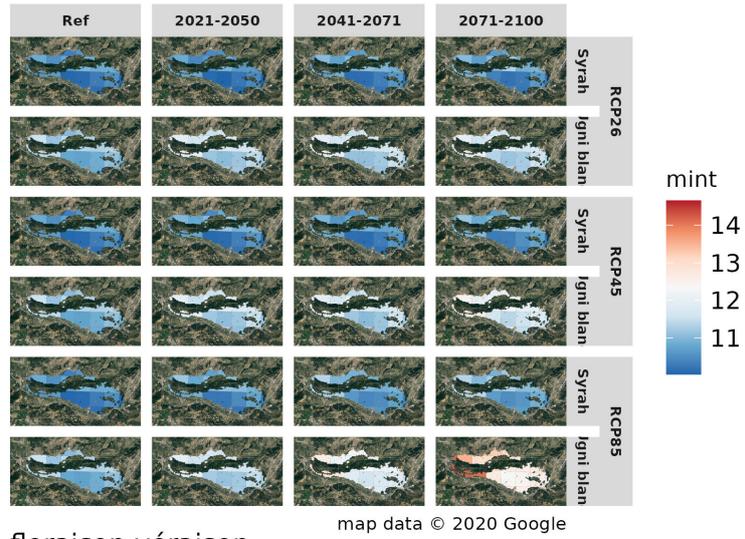


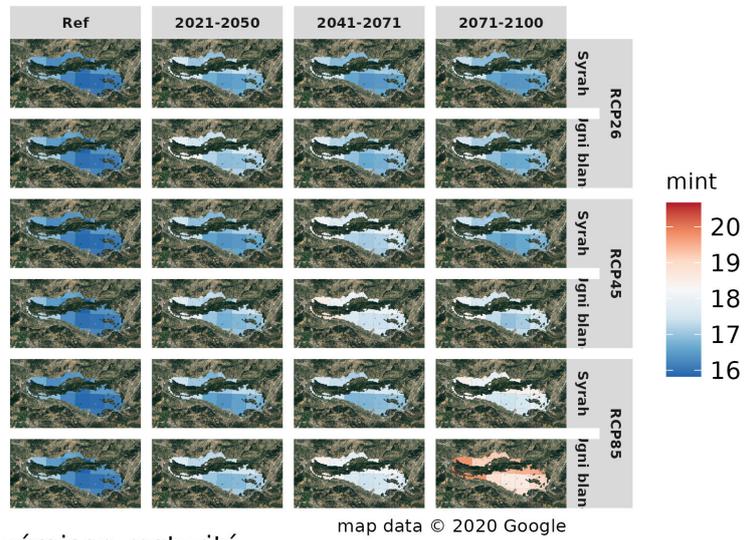
FIGURE 3.7 – Températures minimales pour 3 modèles, 3 scénarios et deux cépages

Spatialement 3.8, on observe une variabilité des températures minimales, entre un secteur ouest et nord plus chaud que le sud est l'est du site d'étude. Cela peut représenter 1 à 2 °C d'écart.

débourrement-floraison



floraison-véraison



véraison-maturité

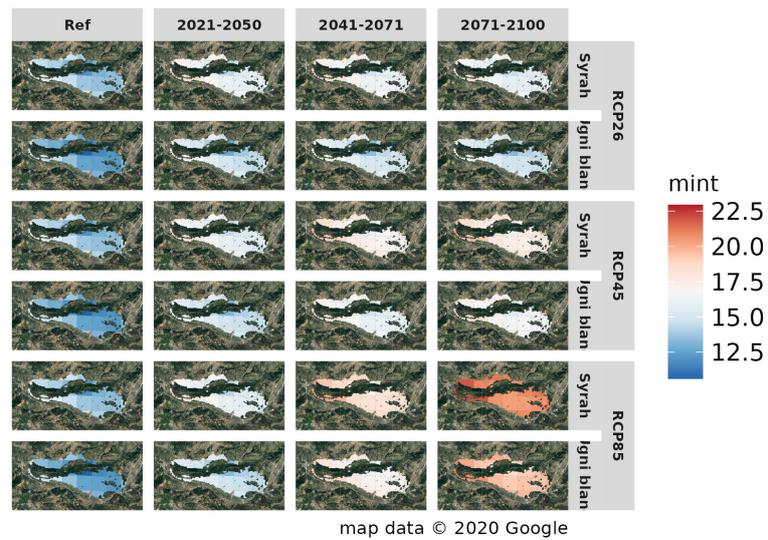


FIGURE 3.8 – Températures minimales pour 3 modèles, 3 scénarios et deux cépages

Températures maximales

En ce qui concerne les températures maximales 3.9, le discours est relativement similaire, montrant qu'il y a peu de risque de modification de l'amplitude thermique sur l'ensemble de la période. On peut cependant noter, que pour les 3 modèles, toutes les années ont une température maximale moyenne supérieure à 30°C pour l'ensemble du territoire pour le scénario RCP 8.5 en fin de cycle, et quelque soit le scénario envisagé. Par ailleurs, dans ce scénario, il ne devrait plus y avoir d'années avec des températures maximales moyennes en dessous de 25°C, et cela dès la floraison.

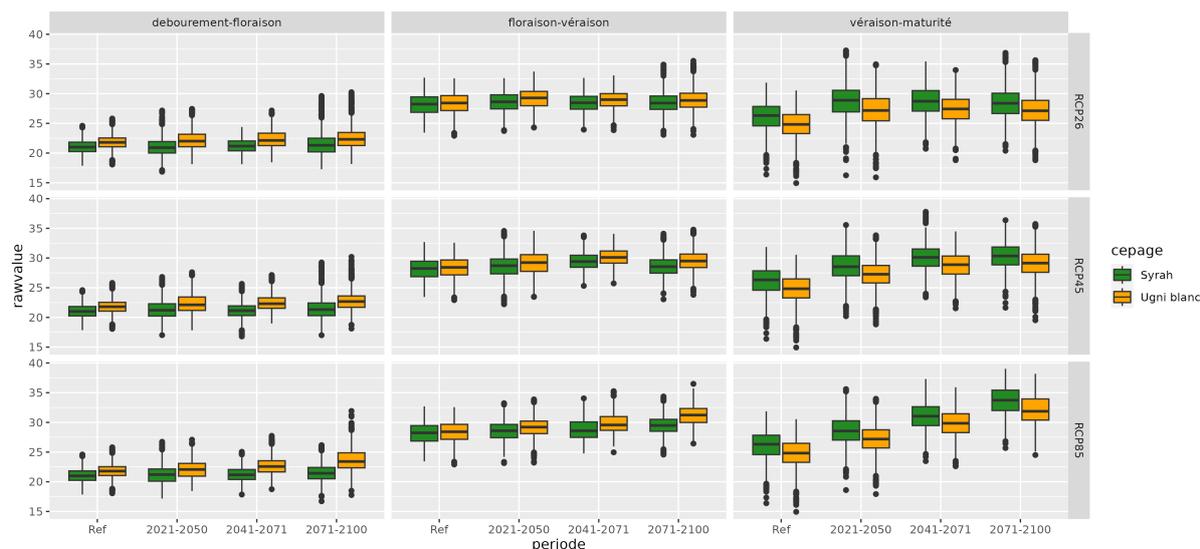
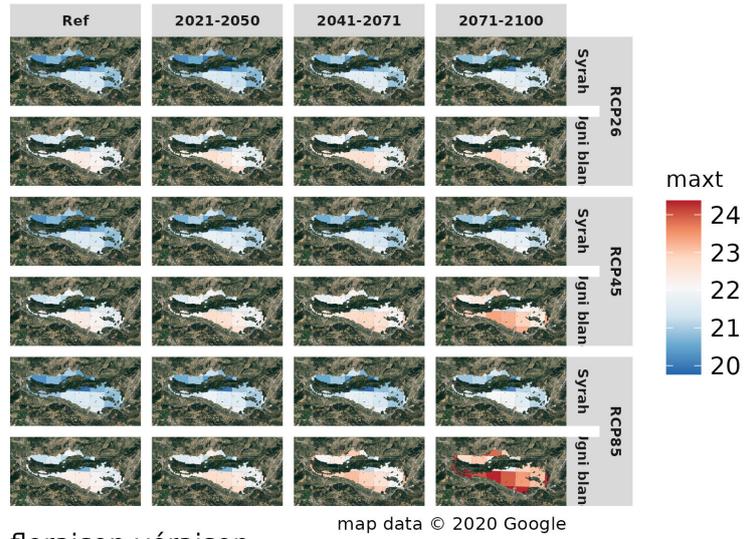


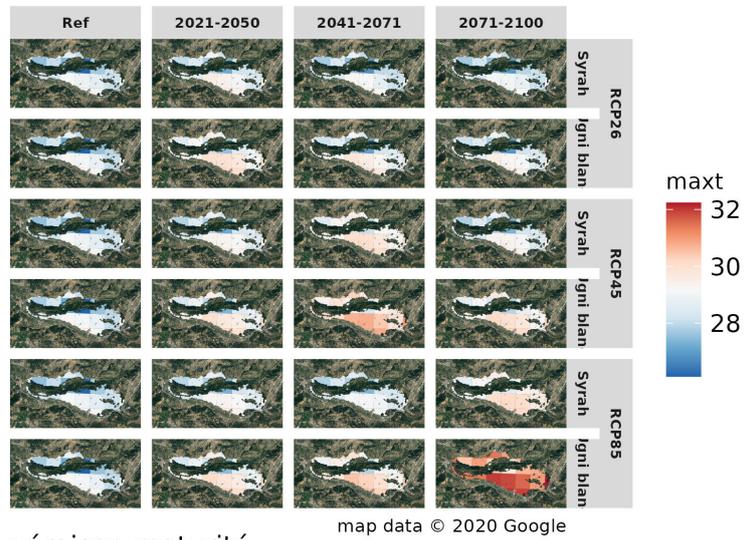
FIGURE 3.9 – Températures maximales pour 3 modèles, 3 scénarios et deux cépages

Comme pour les températures minimales, deux secteurs se détachent, mais cette fois ci c'est le sud de l'appellation qui connaît les valeurs les plus élevées.

débourrement-floraison



floraison-véraison



véraison-maturité

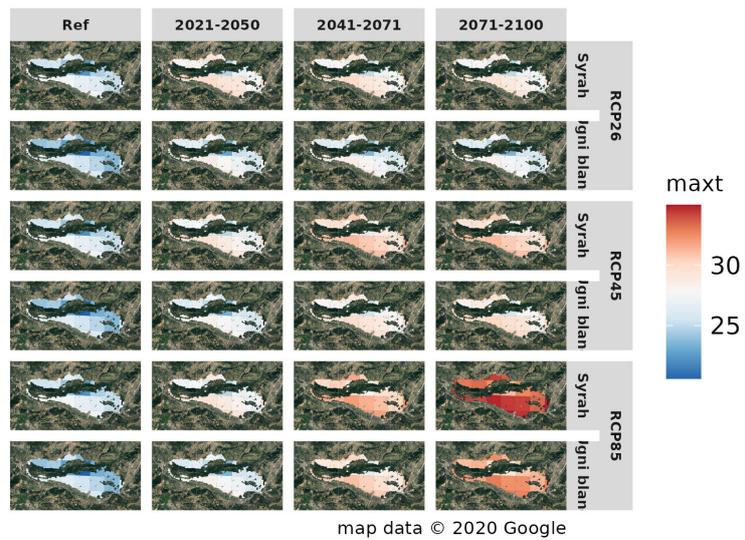


FIGURE 3.10 – Températures maximales pour 3 modèles, 3 scénarios et deux cépages.

Précipitations

Le Luberon se situant en climat méditerranéen, les précipitations au cours de la saison végétative de la vigne sont relativement faibles. La figure 3.11 montre cependant que les précipitations en fin de cycle vont être très faibles, surtout pour le cépage Syrah, mais avec une très grande variabilité.

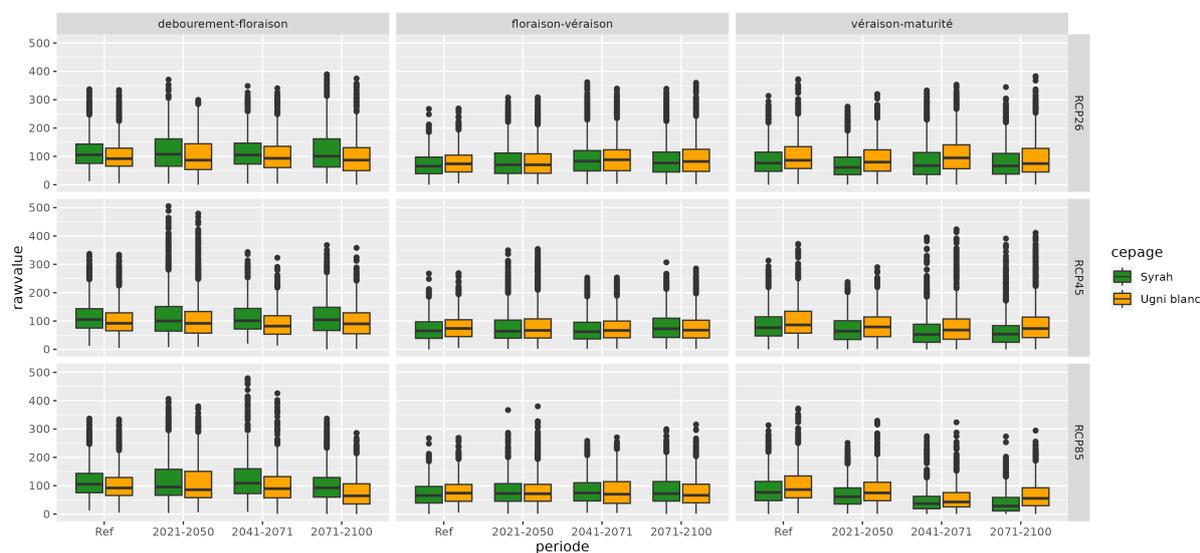
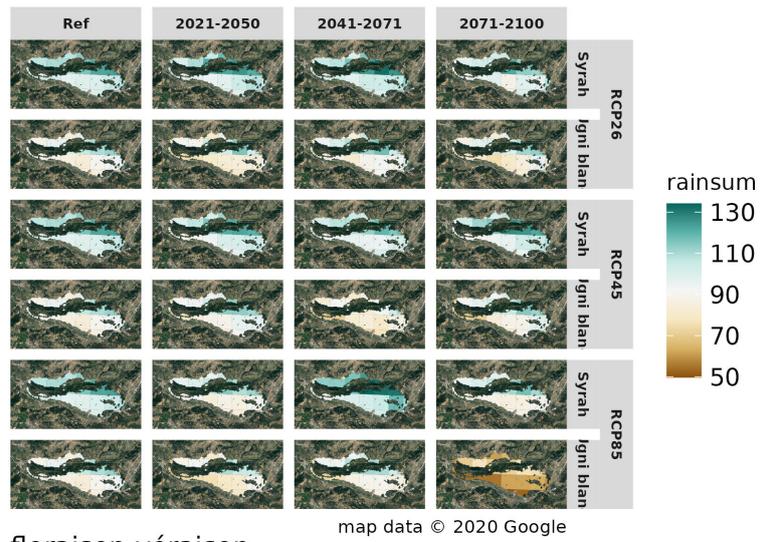


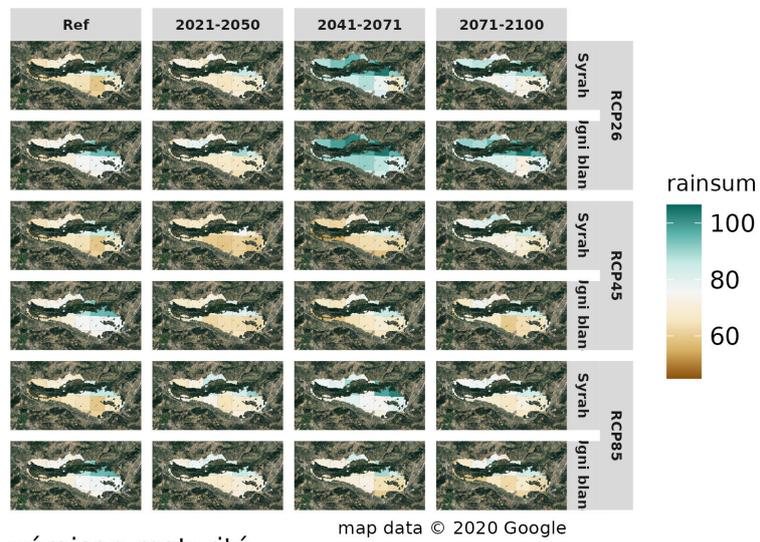
FIGURE 3.11 – Sommes des précipitations pour 3 modèles, 3 scénarios et deux cépages

Au niveau spatiale 3.12, il existe un gradient nord sud, avec un secteur nord légèrement plus arrosé qu'au sud. Dans ces secteurs les plus secs, les précipitations moyennes pendant l'été ne pourraient pas dépasser les 25mm, avec une grande variabilité temporelle. Il est donc probable d'avoir des étés complètement secs sur plusieurs mois, et cela plusieurs années consécutives.

débourrement-floraison



floraison-véraison



véraison-maturité

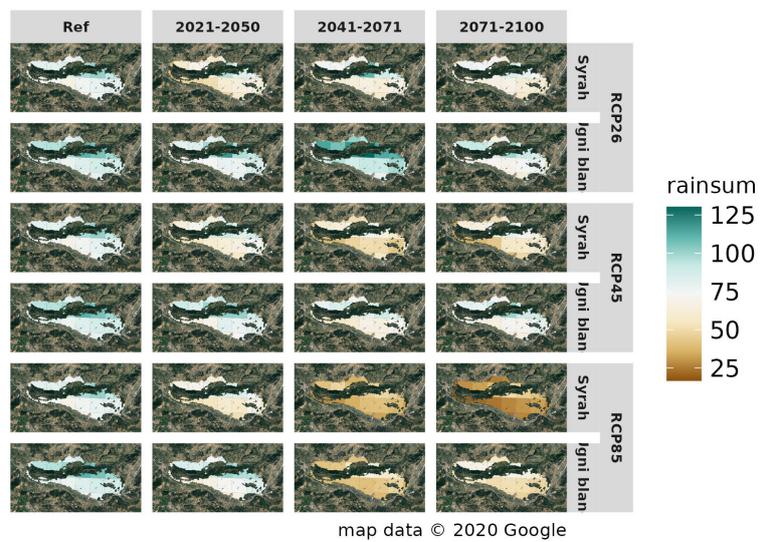


FIGURE 3.12 – Précipitations pour 3 modèles, 3 scénarios et deux cépages

Déficit hydrique

Lorsque l'on prend la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle (ETP) 3.13, on obtient un bilan hydrique climatique (gains - pertes). Ce bilan ne tient donc pas compte des ressources en eau dans le sol. La période qui connaît les plus forts déficits hydriques selon cet indicateur est entre floraison et véraison, notamment pour le cépage Ugni blanc, avec des déficits pouvant atteindre 400 mm. On observe une distribution assez homogène 3.14 de cet indicateur sur le territoire étudié. Il est difficile de distinguer des secteurs plus impactés que d'autres par le déficit hydrique.

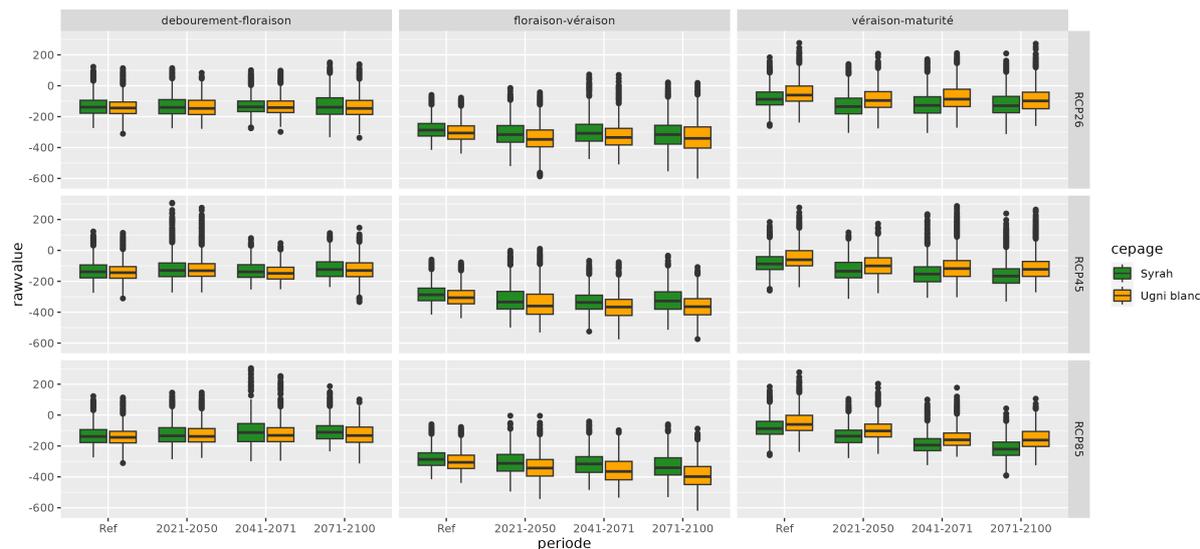
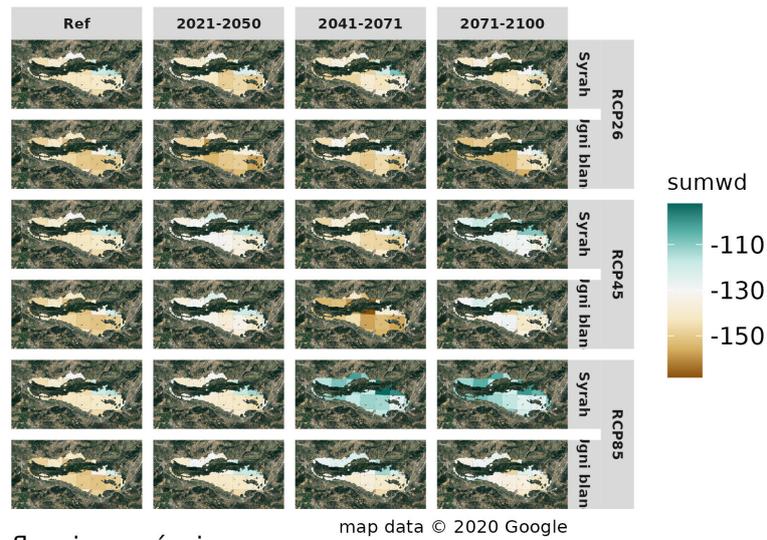
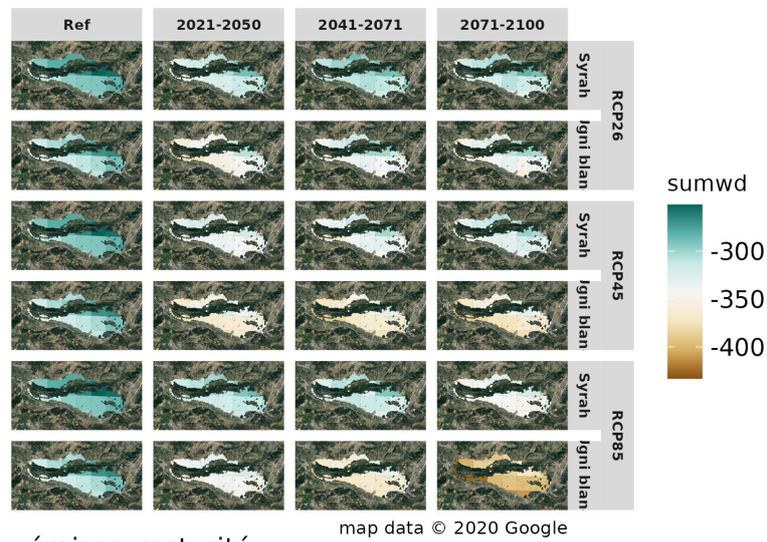


FIGURE 3.13 – Sommes des déficits hydriques (P-Etp) pour 3 modèles, 3 scénarios et deux cépages.

débourrement-floraison



floraison-véraison



véraison-maturité

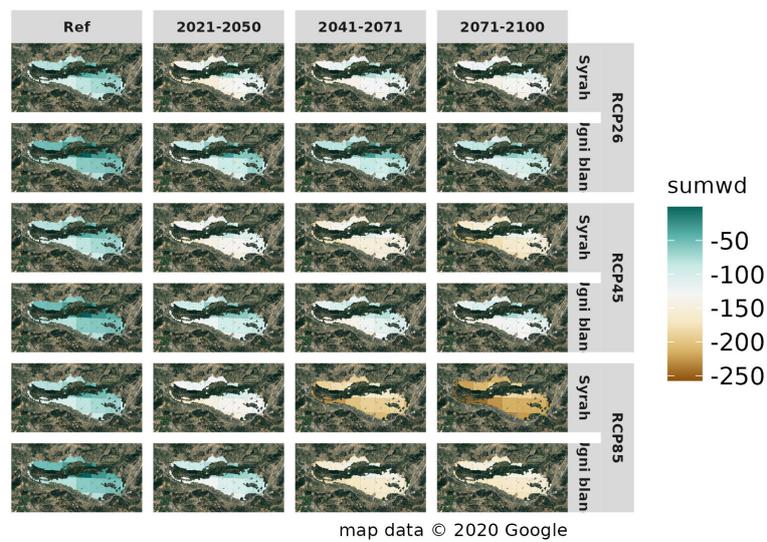


FIGURE 3.14 – Précipitations moins ETP pour 3 modèles, 3 scénarios et deux cépages.

3.5 Conclusion, limites et perspectives de l'étude

Les résultats de cette étude montrent que les conditions climatiques de l'appellation Luberon vont être modifiées fortement dans le futur. Cependant, l'intensité de ces changements est principalement conditionnée par le scénario d'émission envisagé, particulièrement pour la fin du siècle. Les températures et les indicateurs associés (jours chauds, vagues de chaleurs) augmentent tous, mais le risque de gel ne disparaît pas. Les conclusions sur les précipitations sont moins triviales, excepté pendant les phases de fin de cycle où on attend une baisse de celles-ci. Ces deux aspects combinés amènent un plus fort déficit hydrique et soulève donc la question de la gestion de la ressource hydrique dans l'appellation. Il s'agit là de résultats sur des valeurs résumées sur des périodes de trente ans afin de bien cerner l'évolution générale. Cependant la variabilité naturelle du climat, inter et intra annuelle, étant très importante il existera des années où ces tendances seront beaucoup plus marquées que les autres. Afin d'avoir une idée plus complète de la variabilité des conditions climatiques possibles, en particulier une représentativité des années extrêmes, il serait intéressant de réaliser les analyses sur un plus grand ensemble de modèles. Cela permettrait dans un premier temps de mieux comprendre les effets dus à une évolution générale du climat de cette région de la France face aux spécificités de ce territoire. Dans un second temps, il serait possible de produire un certain nombre d'années types, et de travailler sur les variations de la variabilité interne du climat.

Les différentes analyses cartographiques ont montré que, du fait de sa topographie accidentée, l'appellation connaît également une variabilité importante de son climat au sein de son territoire. L'étude a dessiné quelques grands secteurs avec des propriétés particulières. Tout d'abord une opposition nord/sud entre les deux vallées séparées par un petit massif, mais également, un gradient est/ouest pour certaines variables climatiques. Cependant du fait de la résolution spatiale des données climatiques (8km), la variabilité spatiale de l'AOC n'est que que faiblement prise en compte. Il serait nécessaire de réaliser d'affiner la résolution spatiale des analyses, à partir de données observées plus fines (comme les données Arômes par exemple) pour mieux comprendre les différents micro climats du territoire et leurs évolutions. L'impact de la phénologie est important, avec les cépages précoces esquivant les risques de début du cycle, mais étant largement plus impactés par les conditions estivales, du fait de l'avancement généralisés de leurs stades phénologiques. Les deux cépages étudiés montrent des différences notables en termes d'impacts climatiques suivants les stades. L'étude de l'utilisation de nouveaux cépages comme stratégie d'adaptation au changement climatique doit donc prendre en compte la phénologie des nouveaux cépages au même titre que les autres caractéristiques (organoleptiques, fonctionnelles) de la plante.

3.6 Remerciements

Merci à Nathalie Archambault pour les nombreux échanges et les rencontres avec les viticulteurs du Luberon. Nous remercions également Agnes Destrac et Cornelis van Leeuwen pour la fourniture de données de phénologie.

Bibliographie

- [1] Lisa V ALEXANDER. “[Climate change 2013] : Physical science basis : summary for policymakers”. In : (2013).
- [2] Viviane BÉCART et al. “Assessment of changes in Grenache grapevine maturity in a Mediterranean context over the last half-century”. In : *OENO One* 56.1 (2022), p. 53-72.
- [3] Olivier BOUCHER et al. “Clouds and aerosols”. In : *Climate change 2013 : The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press, 2013, p. 571-657.
- [4] Julie CAUBEL et al. “Broadening the scope for ecoclimatic indicators to assess crop climate suitability according to ecophysiological, technical and quality criteria”. In : *Agricultural and forest meteorology* 207 (2015), p. 94-106.
- [5] Iñaki García de CORTÁZAR-ATAURI et al. “Grapevine phenology in France : from past observations to future evolutions in the context of climate change”. In : (2017).
- [6] Olivier MAURY et al. *SICLIMA : Système d’information de données climatiques maillées*. Version V1. 2021. DOI : 10 . 15454 /HIPDPZ. URL : <https://doi.org/10.15454/HIPDPZ>.
- [7] Pierre NABAT et al. “Contribution of anthropogenic sulfate aerosols to the changing Euro-Mediterranean climate since 1980”. In : *Geophysical Research Letters* 41.15 (2014), p. 5605-5611.
- [8] Amber PARKER et al. “Classification of varieties for their timing of flowering and veraison using a modelling approach : A case study for the grapevine species *Vitis vinifera* L.” In : *Agricultural and Forest Meteorology* 180 (2013), p. 249-264.