



Mémoire

Présenté pour l'obtention du Master 2

Mention : Eau

Parcours : Eau et Agriculture

**De l'aléa climatique estimé au risque vécu : confrontation des échelles
macro et micro-locales dans la perception et l'adaptation aux risques
climatiques par les acteurs agricoles.**

Par Nève CASSEL

Mémoire présenté le : 31/08/2026

Membres du jury :

Gilles BELAUD

Flavie CERNESSON

Mélisande NOIROT

Yvan ALTCHENKO

Jean-Stéphane BAILLY

Organisme d'accueil : CHAIRE AGROSYS

Enseignant tuteur : Flavie CERNESSON

Maître de stage : Mélisande NOIROT



RESUME

Face aux pressions climatiques croissantes en région méditerranéenne, l'évaluation du risque climatique agricole ne peut plus s'envisager sous le seul angle météorologique. Ce travail étudie le croisement entre des aléas éco-climatiques estimés à l'horizon 2060 (scénario RCP 8.5, résolution 8 km) et la perception du risque par les agriculteurs, sur le terrain à travers d'enquête semi-directive, au sein du réseau de sites partenaires de la Chaire AgroSYS (viticulture, arboriculture, maraîchage). La confrontation entre les projections climatiques et les enquêtes de terrain montrent une sous-estimation globale du risque par rapport à l'aléa estimé, par les agriculteurs. Ce décalage s'explique d'abord par le rôle de filtre des caractéristiques biophysiques locales (sol, relief, microclimat), qui amortissent ou amplifient les contraintes selon l'aléa considéré. Il provient également d'une perception centrée sur le risque résiduel. Celui-ci est fortement atténué par les infrastructures de protection déjà en place, notamment l'accès sécurisé à l'irrigation sur le réseau. L'étude met en lumière que la nature et la temporalité du risque perçu guident souvent l'orientation des réponses entre adaptations incrémentales sur le court terme, systémiques sur le temps durable et transformationnelles comme ruptures profondes du système.

Néanmoins, malgré la conscience du risque, le choix et le déploiement de ces leviers restent influencés et freinés par des contraintes structurelles majeures : le verrou réglementaire des cahiers des charges d'appellation (AOP), les limites financières, les contraintes liées à la charge et à l'organisation de travail. Enfin, ce travail met en garde contre les risques de maladaptation induits par une dépendance technologique et l'invisibilisation des risques. L'étude soulève la faisabilité agronomique des démarches agroécologiques « sans regret » pour concilier l'organisation de travail des agriculteurs, l'adaptation locale et l'atténuation globale.

Mots clés

Aléa et risque agro-climatique, Bassin méditerranéen, Perception du risque, Filtre biophysique, Typologie de l'adaptation, Atténuation, Actions sans regret, Freins à l'action, Maladaptation, Chaire AgroSYS.

ABSTRACT

In the face of intensifying climatic pressures in the Mediterranean region, agricultural climate risk assessment can no longer be approached solely through a meteorological lens. This study examines the intersection between eco-climatic hazards projected for the 2060 horizon (RCP 8.5 scenario, 8 km resolution) and farmers' risk perceptions, investigated through on-farm semi-structured surveys across the AgroSYS Chair partner network (viticulture, arboriculture, and market gardening). The comparison between climate projections and field surveys reveals an overall underestimation of risk by farmers relative to the projected hazard levels. This discrepancy is primarily explained by the filtering effect of local biophysical characteristics (soil, topography, microclimate), which either buffer or amplify constraints depending on the specific hazard. Furthermore, it stems from a perception centered on residual risk, which is substantially mitigated by existing protective infrastructure—notably secure access to collective irrigation networks. The findings reveal that the nature and timeframe of perceived risks dictate adaptation trajectories, ranging from short-term incremental adjustments and enduring systemic changes to transformational disruptions of the farming system.

Nevertheless, despite risk awareness, the selection and implementation of these adaptation levers remain constrained by major structural bottlenecks: regulatory lock-ins within Protected Designation of Origin (PDO) specifications, financial limitations, and labor organization constraints. Finally, this work cautions against maladaptation risks driven by technological dependency and the invisibilization of risk. It underscores the agronomic viability of "no-regret" agroecological pathways to reconcile farm labor constraints, local adaptation, and global mitigation.

Key words

Agro-climatic hazard and risk, Mediterranean basin, Risk perception, Biophysical filter, Adaptation typology, Mitigation, No-regret actions, Barriers to action, Maladaptation, AgroSYS Chair.

REMERCIEMENTS

Je souhaite avant tout remercier l'équipe de la Chaire AgroSYS pour m'avoir accueillie et offert cette opportunité de stage qui correspondait à mes intérêts de recherches et aux thématiques que j'aimerais poursuivre dans mes futurs projets professionnels. Je remercie sincèrement les partenaires de la Chaire AgroSYS et les 9 acteurs agricoles que j'ai pu rencontrer lors des entretiens. J'ai énormément appris à leur côté, et je les remercie pour leur écoute, leur bienveillance et leur temps qu'ils m'ont accordé malgré leurs emplois du temps chargés. Je remercie Mélisande Noirot, ma maître de stage, pour son accueil, son aide, sa bienveillance, sa bonne humeur et son accompagnement durant ces 6 mois de stage. Je remercie également Léo Pichon et François Colin, mes encadrants, pour leurs précieux conseils, leur pédagogie, leur assistance et leur disponibilité tout au long de l'étude. Je remercie Aurélie Metay et Elsa Ballini, membres de la Chaire AgroSYS, pour leur patience et leurs relectures appliquées du présent mémoire. Je remercie Flavie Cernesson, ma tutrice de stage, pour sa bienveillance et sa réactivité tout au long du Master. En cas de questionnement, je savais que je pouvais compter sur toutes ces personnes, sans qui je n'aurais pas pu autant apprendre et aller aussi loin dans ce stage.

TABLE DES MATIERES

RESUME	1
ABSTRACT.....	2
REMERCIEMENTS.....	3
TABLE DES FIGURES	6
Avant-Propos	8
Glossaire.....	9
Sigles et acronymes	11
INTRODUCTION	1
ÉTAT DE L'ART.....	3
I. Le bassin Méditerranéen, un «hotspot» de vulnérabilité agro-climatique.....	3
II. Risque, aléa et vulnérabilité	5
III. État de l'art des méthodes pour caractériser et spatialiser le risque climatique	6
IV. L'approche socio-agronomique : de la perception à l'action.....	7
V. Verrous scientifiques actuels et questions non résolues.....	9
OBJECTIFS.....	11
Sous-objectifs.....	11
Hypothèses de travail.....	12
MÉTHODOLOGIE.....	14
1) Évaluation biophysique des aléas climatiques.....	14
2) Qualification de la vulnérabilité, de la perception du risque et de l'adaptation	22
RÉSULTATS.....	24
1) Caractérisation de l'exposition des aléas.....	24
1.1) Degré d'exposition des aléas horizon 2060 pour chacun des sites.	24
1.2) Evolution de l'exposition des types d'aléas par périodes de 30 ans, de 1970 à 2060.....	26
1.3) Modélisation de l'évolution de l'exposition des aléas en frise temporelle.....	27
2. Vulnérabilités, perceptions et action	28
2.1) Explications des écarts entre l'aléa estimé et le risque perçu.....	28
2.2) Le rôle des caractéristiques physiques locales comme filtre du risque	30
2.3) Modalités de la perception : dérives chroniques et chocs extrêmes.....	31
2.4) Recensement et typologie des actions d'adaptation et d'atténuation	33
2.5) Modalités de déploiement des pratiques : autonomie, ruptures et atténuation du risque perçu	35
DISCUSSION.....	40
1. La construction de la perception et le rôle de filtre de la vulnérabilité locale	40

1.1. Dérive chronique versus chocs traumatiques : deux voies de conscientisation du risque	40
1.2. Le filtre biophysique local : pourquoi les modèles surestiment la réalité vécue	41
2. Dynamiques de décision, inerties et pièges de la maladaptation.....	42
2.1. De l'action immédiate et locale à la rupture transformationnelle.....	42
2.2) La perception des tendance climatiques lentes comme frein à la mise en action	43
2.3. L'effet de rétroaction, conséquences de l'inaction et les dérives de maladaptation	44
3. Actions à bénéfices multiples dites « sans regret », opportunités d'atténuation et les verrous d'adaptation.....	45
3.1. Les mesures « sans regret » pour concilier adaptation et atténuation.....	45
3.2. Les verrous de la mise en place des actions pour s'adapter	46
4. Discussion des méthodes.....	47
4.1. Les savoirs situés au sein de l'exploitation	47
4.2. Limites de la méthode	47
5. Discussion des perspectives	48
5.1. Perspectives de réponses aux verrous initiaux.....	48
5.2. Champs d'actions possibles pour la Chaire AgroSys	50
Conclusion	51
Références bibliographiques	53

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Typologie des stratégies d'adaptation agricole face au changement climatique (Debaeke et al., 2025 ; Termeer et al., 2016).	9
Figure 2 : Carte du réseau des sites partenaire de la Chaire AgroSys dans l'étude	14
Figure 3 : Graphique des différents RCP. L'étude suit le RCP 8.5 en rouge. Source : Stéphane Sénési (CNRM-GAME, Météo-France / CNRS), d'après GIEC AR5 / Meinshausen et al. (2011).	16
Figure 4 : Matrice d'exposition absolue des aléas pour chacun des sites du réseau partenariale de la Chaire AgroSYS à horizon 2060. Les lettres en noires correspondent aux sites enquêtés, et les lettres en grises correspondent aux autres sites du réseau. Les points correspondent à la somme des niveaux absolus d'exposition, par aléa, et par site.....	24
Figure 5 : Matrice d'exposition relative des aléas pour chacun des sites du réseau partenariale de la Chaire AgroSYS à horizon 2060. Les lettres en noires correspondent aux sites enquêtés, et les lettres en grises correspondent aux autres sites du réseau.	25
Figure 6 : Matrices de l'évolution du degré d'exposition absolue pour chaque aléa climatique et pour chaque site, par périodes de 30 ans, de 1970 à 2060.....	26
Figure 7 : Frises chronologiques en courbes lissées représentant l'évolution temporelle du niveau d'exposition estimé par aléa entre 1970 et 2060 pour les sites enquêtés. Les autres sites partenaires de la Chaire AgroSys sont en courbes grises claires.	27
Figure 8 : Graphiques en barre par aléa, comparant la note donnée (Y) par les enquêtés sur le degré de risque perçu, par rapport au niveau d'exposition (Y) de l'aléa estimé entre les sites. Les flèches rouges marquent les surestimations d'exposition par la perception.....	28
Figure 9 : Diagramme de dispersion comparant les moyennes et variances de chaque type d'aléa entre le risque perçu affilié et leur exposition estimée. Les losanges représentent les notes d'exposition moyennes des aléas pour le risque perçu en Y (note des agriculteurs) et pour l'estimation climatique en X (calculs par les indicateurs). Les traits représentent l'écart type : plus il est grand, plus les notes d'exposition sont hétérogènes. La ligne pointillée est la zone d'accord parfait, où l'aléa perçu par les agriculteurs concorde parfaitement avec l'exposition calculée.	29
Figure 10 : Hiérarchisation des actions énoncées par les enquêtées, selon leur type d'adaptation. La taille des blocs est proportionnelle au nombre de sites l'appliquant.	33
Figure 11 : Graphiques représentant a) le statut des actions selon le mode d'action b) La répartition des groupes d'actions selon leur nombre d'occurrence et selon le statut de mise en œuvre.	33
Figure 12 : Répartition et hiérarchisation des actions mises en place ou envisagées selon les aléas.	34
Figure 13 : Les risques de maladaptations.....	44
Figure 14 : Les limites des actions dites "sans regret" et d'atténuation.	45
Figure 15 : Schéma sur les différentes approches et visions selon le rôle de l'interlocuteur dans l'entreprise agricole	47
Figure 16 : Levier d'actions possibles pour la Chaire AgroSYS et au champs plus élargis.	50

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Tableau des 5 hypothèses de travail.....	13
Tableau 2 : Liste des 17 indicateurs climatiques issus des variables climatiques brutes.....	19
Tableau 3 : Tableau montrant la constitution des 7 groupes d'aléas à partir des différentes variables climatiques.....	19
Tableau 4 : Irrigation chez les partenaires enquêtés.....	37

AVANT-PROPOS

Créée en 2014, la Chaire AgroSYS est une chaire partenariale de mécénat portée par l'Institut Agro Montpellier et sa Fondation. Actuellement engagée dans son quatrième cycle d'action (2025-2028), sa mission principale est d'accompagner la transition agroécologique des filières agricoles. Pour répondre à ce défi, la Chaire s'appuie sur la formation, la recherche et l'innovation comme leviers principaux pour la production de connaissances et de méthodes. Le projet est porté par une équipe pluridisciplinaire (François Colin, Aurélie Metay et Elsa Ballini), et coordonné par Mélisande Noirot. Le présent stage est encadré par cette dernière ainsi que Léo Pichon, chercheur de l'UMR ITAP et François Colin, chercheur de l'UMR G-eau et membre du comité scientifique de la Chaire AgroSYS. Jusqu'à présent, aucun projet de la Chaire AgroSYS n'avait impliqué l'ensemble des partenaires de la Chaire. Les enjeux des entreprises partenaires étaient vus sous un angle plutôt individualisé. Faire cette étude permet pour la première fois, de s'intéresser in situ, à la vulnérabilité climatique des sites de tous les partenaires, et de faire l'objet d'une quantification croisée entre estimations climatiques des aléas couplés à la perception humaine. Ce travail offre à la Chaire AgroSYS une vision globale du réseau tout en révélant la fine granularité physique de chaque terroir. Cette double lecture devient alors le socle méthodologique indispensable pour orienter l'action publique et collective.

En effet, l'objectif pour la Chaire n'est pas seulement d'accompagner la transition agroécologique de manière globale, mais de l'adapter aux réalités micro-locales. En mettant en lumière la nature des risques climatiques vécue sur chaque site, il devient possible d'individualiser cet accompagnement. Les répercussions attendues de ce stage sont de fournir à la Chaire une évaluation assez objectivée et micro-locale du risque pour les sites concernés, un inventaire des actions mises en place actuelles et futures, et de mettre en lumière s'il existe des synergies entre les actions d'adaptation mises en place avec des actions d'atténuation du changement climatique. Aussi, cela permettra de comprendre si des trajectoires d'adaptations et leurs feins à la mise en oeuvre, sont communs entre les différents sites ou s'il est nécessaire d'individualiser les transitions. In fine, les résultats de ce présent stage feront l'objet d'une présentation lors d'un événement organisé par la Chaire AgroSys le 21 janvier, centré sur cette thématique.

GLOSSAIRE

Adaptation : Capacité d'ajustement d'un système en réponse aux conditions nouvelles ou changeantes de son environnement afin d'en atténuer les dommages ou d'en exploiter les opportunités. Dans la littérature, elle se décline en plusieurs niveaux :

- **Adaptation incrémentale** : Ajustement tactique ou technique (souvent à court terme) qui s'attache à préserver les attributs principaux du système de production en place (ex. : modification de la date de taille de la vigne).
- **Adaptation systémique** : Modification plus profonde de l'itinéraire technique et structurel de l'exploitation, nécessitant des investissements ou une refonte partielle (ex. : introduction de nouveaux cépages, vitiforesterie).
- **Adaptation transformationnelle** : Adaptation stratégique (à long terme) qui modifie les attributs fondamentaux d'un système en réponse au climat et à ses conséquences (ex. : conversion de terres viticoles très vulnérables en zones de pâturage).

Agriculteur : Le terme sera employé dans la méthodologie, les résultats et la discussion pour désigner les personnes enquêtés de l'étude comprenant :

1. **Des responsables/chefs d'exploitations agricole**
2. **Des directeurs techniques**
3. **Des responsables techniques**

Aléa climatique (Estimé) : Potentielle survenue d'un phénomène ou événement climatique physique (météorologique) qui peut avoir un impact négatif sur les systèmes agricoles (ex. : sécheresse, gel, pluie intense). Dans cette étude, l'aléa estimé correspond à la probabilité météorologique brute calculée par les projections climatiques, indépendamment du terrain.

Atténuation : Mesures et actions d'intervention humaine visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) ou à augmenter les puits de carbone, dans le but de limiter l'ampleur du réchauffement climatique global.

Downscaling (Descente d'échelle) : Méthode consistant à décliner des projections climatiques globales à une échelle régionale ou locale. Les modèles climatiques lissant souvent la micro-

topographie et la pédologie, cette méthode nécessite une validation par les observations de terrain pour évaluer le risque réel.

Écart Valeur-Action (Value-Action Gap) : Concept de sociologie cognitive décrivant le décalage entre la prise de conscience d'un problème (ex. : le besoin de s'adapter au climat) et la mise en œuvre effective d'actions. Cet écart est souvent expliqué par des freins structurels : manque de temps, coûts financiers, ou freins réglementaires (cahiers des charges).

Endogénéité de la perception : Biais cognitif selon lequel la perception d'un risque par un individu est indissociable des actions qu'il a déjà entreprises pour s'en protéger. Un agriculteur ayant investi dans une adaptation efficace (ex. : irrigation, serres agrivoltaïques) percevra logiquement le risque associé comme étant faible, indépendamment de la violence de l'aléa météorologique brut.

Maladaptation : Action mise en place pour faire face aux risques climatiques mais qui, paradoxalement, augmente la vulnérabilité du système sur le long terme ou aggrave les émissions de gaz à effet de serre globales (ex. : surconsommation d'eau par pompage fossile pour lutter contre une canicule ou lutter contre le gel avec des brûleurs thermiques).

Perception du risque : Évaluation subjective du risque par les acteurs du terrain, influencée par leurs expériences passées, l'ancrage émotionnel des événements climatiques extrêmes vécus, ainsi que par leurs capacités d'action cognitives, techniques et matérielles.

Risque climatique : Le risque découle de l'interaction entre un aléa climatique (le phénomène météorologique) et la vulnérabilité (ainsi que l'exposition) du système agricole qui le subit.

Vulnérabilité : Propension d'un système à être impacté négativement par un aléa. En agriculture, elle est fonction du caractère des variations climatiques, de la sensibilité intrinsèque du site (géographie, pédologie, type de culture) et de sa capacité d'adaptation.

SIGLES ET ACRONYMES

AOC : Appellation d'Origine Contrôlée (évoqué dans les entretiens)

AOP : Appellation d'Origine Protégée (évoqué dans les entretiens)

DRIAS : Donner un accès aux scénarios climatiques Régionalisés français pour l'Impact et l'Adaptation de nos Sociétés et environnements (les modèles climatiques que vous utilisez en Partie 1)

ETCCDI : Expert Team on Climate Change Detection and Indices (Groupe d'experts sur la détection des changements climatiques et les indices) (les indicateurs que vous utilisez en Partie 1)

GES : Gaz à Effet de Serre (au cœur de votre définition de l'atténuation)

GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (cité dans votre introduction)

SAU : Surface Agricole Utile (utilisé pour définir la taille des exploitations dans vos entretiens)

SIG : Système d'Information Géographique (cité dans votre méthodologie Partie 1)

SWOT : Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats (Forces, Faiblesses, Opportunités, Menaces)
(l'outil d'analyse stratégique utilisé pour vos sites)

INTRODUCTION

L'agriculture est aujourd'hui aux premières loges du dérèglement climatique. Les années s'enchaînent et franchissent des seuils critiques : la décennie écoulée a vu l'occurrence des vagues de chaleur multipliée par six et le nombre d'épisodes de sécheresse par 1,5 en France par rapport à la période 1961-1990 (P. Debaeke et al. 2025). Sur le terrain, face aux aléas de plus en plus extrêmes et fréquents la question n'est plus de savoir si le climat change, mais à quelle vitesse nos systèmes de production et les acteurs qui les font vivre pourront s'y adapter (IPCC, 2021, 2022).

Le bassin méditerranéen, l'aire d'étude de nos recherches, est reconnu comme très sensible au changement climatique (GIEC, 2014). Dans cette région, les pertes de récoltes liées aux sécheresses et aux canicules ont triplé ces cinquante dernières années (Bras et al. 2021). Les filières agricoles, particulièrement les cultures pérennes (arboriculture, viticulture) ainsi que la polyculture, font face à de plus en plus de contraintes extrêmes : des déficits hydriques estivaux de plus en plus sévères, des canicules entraînant le blocage de la photosynthèse et l'échaudage des fruits, des épisodes cévenols de pluies intenses ou encore des gels printaniers paradoxalement aggravés par la douceur hivernale qui avance le débourrement des cultures (Legave, 2022). L'un des enjeux majeurs est de dépasser l'analyse des moyennes climatiques annuelles qui lissent et invisibilisent les événements extrêmes, pour cibler les seuils de ruptures physiologiques et physiques réels subis par la culture.

Le consensus scientifique porté par le GIEC nous rappelle que le risque climatique ne se résume pas à la météorologie. Il naît de la combinaison entre un aléa (le phénomène climatique brut externe au système) et la vulnérabilité du système, c'est-à-dire sa sensibilité géo-pédologique, biologique et sa capacité d'adaptation (Smit et Wandel, 2006 ; IPCC, 2022). Cependant, au-delà de la biophysique, l'agriculture est avant tout une affaire humaine. Le risque est un construit social : la décision de s'adapter, de modifier ses pratiques ou de restructurer son exploitation dépend intimement de la perception qu'a l'agriculteur de ce risque et des moyens dont il dispose (R. Raghuvanshi et M. Aslam Ansari, 2019). Le défi sociétal consiste donc à faire converger l'objectivité des données climatiques avec la réalité humaine et technique des agriculteurs.

C'est au cœur de cette dualité entre réalité biophysique et réalité perçue que s'inscrit mon stage de fin d'études, réalisé au sein de la Chaire AgroSYS. En agriculture, un même aléa climatique ne se traduit pas par un risque uniforme : à menace équivalente, le niveau de risque sera différent selon la physiologie des cultures (Eldin et Milleville, 1989 ; Ollat et Touzard, 2024), les propriétés géopédologiques de l'exploitation (Van Leeuwen et Darriet, 2016) et les actions d'adaptation déjà mises en place (Smit et Skinner, 2002). L'objectif principal de cette étude est donc d'analyser de manière générale les relations qui lient l'aléa climatique estimé et la perception du risque par les acteurs agricoles, afin de comprendre comment cette subjectivité oriente leurs stratégies de réponse et d'adaptation. Cette démarche s'appuie sur un réseau de 20 sites agricoles partenaires de la Chaire AgroSYS situés dans le pourtour méditerranéen, dont 8 sites enquêtés sur le terrain (polyculture, arboriculture, viticulture), qui servent de cadre d'étude. Dès lors, la problématique qui guide ce mémoire est la suivante : **Dans quelle mesure le croisement entre l'estimation des aléas climatiques par calculs, et l'analyse de la perception des acteurs permet-il de caractériser le risque local des exploitations méditerranéennes, et de mettre en lumière les verrous et les arbitrages qui sous-tendent la mise en place et le rôle des trajectoires d'adaptation et d'atténuation ?**

Pour répondre à cette problématique, la réflexion de ce mémoire s'articule autour de quatre grands axes. Dans un premier temps, un état de l'art dressera le bilan des connaissances scientifiques actuelles sur le risque climatique en agriculture et les concepts liés à la perception du risque climatique. Ensuite, la section matériels et méthodes vise à présenter notre cadre expérimental autour du réseau des sites de la Chaire AgroSYS, la démarche liée à l'estimation des aléas climatiques, ainsi que la démarche d'enquêtes semi-directives mobilisée sur le terrain. Sur cette base, la partie dédiée aux résultats expose le croisement entre les aléas estimés à échelle spatiale large et le risque local perçu subjectif des acteurs agricole, ainsi que tout ce qui englobe les actions relatives pour faire face au risque. Ces éléments font l'objet d'une discussion approfondie visant à confronter nos résultats à nos hypothèses de départ. Enfin, une conclusion synthétise nos travaux et ouvre des perspectives et ouvertures.

ÉTAT DE L'ART

I. Le bassin Méditerranéen, une zone critique de vulnérabilité agro-climatique

1.1) L'évolution des forçages climatiques à grande échelle

À l'échelle mondiale, le dérèglement climatique se traduit par une augmentation globale des températures et une modification du cycle de l'eau, affectant directement "l'eau verte" contenue dans le sol et utilisée par la végétation (Richardson *et al.*, 2023). Le bassin méditerranéen est aujourd'hui identifié par le GIEC en 2014 comme l'un des 25 "*hotspots*" au monde sur le plan du changement climatique, où les forçages climatiques s'expriment clairement. Sur ce territoire, les projections prévoient non seulement une hausse continue des températures moyennes qui pourrait atteindre d'ici à la fin du siècle 4°C à 5°C en été, mais surtout une forte multiplication des jours dépassant les 30°C (Stéphane *et al.*, 2018 ; Giannakopoulos *et al.*, 2005). Au-delà des moyennes en hausse, le pourtour Méditerranéen connaîtra surtout une accentuation de la variabilité interannuelle et des phénomènes météorologiques extrêmes tels que les vagues de chaleur, les sécheresses sévères et les événements pluvieux intenses (Bras *et al.*, 2021). Cette dynamique a d'ores et déjà des répercussions mesurables sur la productivité primaire des écosystèmes à l'échelle continentale. A titre d'exemple, on citera la canicule de 2003 qui a provoqué une perte de 30 % de la production primaire en Europe (Ciais *et al.*, 2005). En effet, la sécheresse provient d'un emballement thermodynamique de l'interface sol-atmosphère. Dans le contexte méditerranéen, l'intensification de la sécheresse édaphique est désormais davantage conduite par l'augmentation de la demande évaporative (ETP) que par la seule diminution des précipitations (van Leeuwen *et al.* ; Soubeyroux *et al.*).

1.2) Les impacts biophysiques sur les agrosystèmes variables selon la vulnérabilité des cultures

Les cultures emblématiques du bassin méditerranéen telles que la vigne, l'arboriculture et le maraîchage sont particulièrement sensibles au dérèglement climatique, mais les mécanismes biologiques qui entrent en jeu diffèrent fortement entre les cultures (Ollat et Touzard, 2024 ; Debaeke *et al.*, 2025). Pour bien comprendre les risques agronomiques réels dans notre contexte, il faut distinguer les différences ce qui se joue au niveau de la physiologie.

Pour la vigne, le réchauffement accélère l'ensemble du cycle végétatif, ce qui expose les jeunes bourgeons à un risque de gels printaniers, dont les seuils létaux se situent autour de -2°C (Derreudre et al., 1993 ; Sgubin et al., 2018). Le gel est un événement climatique bref qui a des conséquences dévastatrices, pouvant affecter une récolte entière pour le reste de l'année (Ollat et Touzard, 2024). Dans la période estivale, c'est le stress thermique qui menace la plante. Quand la température franchit les 30°C , l'activité de photosynthétique chute brutalement (Greer et Weedon, 2012). Au-delà de 35°C , les organes végétatifs (baies et feuilles) peuvent être brûlés. Si cette chaleur s'accompagne d'une sécheresse prolongée, la vigne épuise ses réserves carbonées (Smith et Holzapfel, 2009 ; Van Leeuwen et al., 2024). Le manque d'eau limite ainsi la croissance des rameaux (Lebon et al., 2003) et provoque la cavitation des vaisseaux du xylème (des embolies), ce qui menace la survie des ceps (Volaire et al., 2016 ; Lamarque et al., 2023). Enfin, ce double stress thermique et hydrique modifie la qualité œnologique des grappes récoltées : les raisins perdent leur acidité, concentrent trop de sucres, et développent des arômes de fruits cuits qui altèrent la typicité des vins (Allamy et al., 2018 ; Bécart et al., 2022 ; Van Leeuwen et al., 2022). La vigne possède des besoins en froid globaux moindres que d'autres espèces fruitières comme le pommier ou le cerisier, mais le manque de froid hivernal peut tout de même entraîner un débourrement erratique, une mauvaise qualité de floraison et un décalage dans le cycle, notamment concernant les vendanges (Wenden et al., 2022).

L'arboriculture (amandiers, poiriers, pistachiers, pommiers et oliviers dans notre étude) fait face à un défi physiologique différent. Contrairement à la vigne, les arbres fruitiers ont un besoin de froid hivernal plus important pour accomplir leur processus de levée d'endodormance (Legave et al., 2022 ; Wenden et al., 2022). La douceur croissante des hivers méditerranéens provoque des débourrements instables, d'importantes anomalies florales, et désynchronise le cycle de l'arbre de celui des insectes pollinisateurs (Legave, 2022 ; Wenden et al., 2022 ; Kovaleski et al., 2023). Ce déphasage cause des conséquences sur la plante et la production sur plusieurs mois, voire des années. En période estivale, les températures dépassant les 35°C détruisent les protéines végétales et stérilisent le pollen (Rajasekaran et Mullins, 1985 ; Wahid et al., 2007 ; Lizaso et al., 2017). Les fruits eux-mêmes sont victimes de l'insolation directe (échaudage) et d'une perte de fermeté, ce qui fait chuter la part de récolte commercialisable (Dalhaus et al., 2020). L'olivier voit sa production compromise par les fortes températures qui ralentissent le grossissement des olives et provoquent

des chutes précoces de fruits à cause d'une évapotranspiration trop importante (Bentouati, 2023).

Bien que les cultures maraîchères en plein champ ou sous abri aient des cycles beaucoup plus courts (d'en moyenne 90 à 120 jours), elles sont extrêmement réactives aux stress thermiques intenses (Husson et Lefèvre, 2023). Pour les légumes d'été comme la tomate, le melon ou l'aubergine, l'optimum de photosynthèse se situe entre 25°C et 27°C. Au-delà, les stomates se ferment et la synthèse de biomasse se stoppe. Lorsque le thermomètre franchit les 30 à 32°C, la chaleur provoque des avortements floraux (coulture), des défauts de nouaison, et une mauvaise pollinisation, d'autant que les bourdons s'avèrent inactifs sous les serres surchauffées (Husson et Lefèvre, 2023). L'association de la canicule et du manque d'eau génère aussi des dommages physiques directs sur les produits, comme la nécrose apicale ou des brûlures sur le bord des feuilles de salade (Bisbis et al., 2018 ; GRAB, 2021 ; Gautier et al., 2022).

II. Risque, aléa et vulnérabilité

Le risque climatique n'est pas un phénomène purement météorologique, il est une construction conceptuelle qui se définit par le croisement entre un aléa et une vulnérabilité (Leone et Vinet, 2006 ; Agossou, 2008). En agriculture, le risque représente le potentiel de survenue de conséquences néfastes comme une perte de récolte, la destruction des cultures ou une baisse de revenu.

$$\textbf{Risque} = \textbf{aléa} \times \textbf{vulnérabilité}$$

L'aléa désigne un phénomène naturel, comme une sécheresse, un gel destructeur ou des précipitations intenses, caractérisés par leur probabilité d'occurrence, leur intensité et leur durée (Domiho, 2018 ; Erne-Heintz et Martin, 2020). L'aléa est une contrainte météorologique (une menace externe) qui est subie par l'homme ou ses activités, et sur laquelle on ne peut pas agir immédiatement (Domiho, 2018 ; Erne-Heintz et Martin, 2020). L'aléa ne devient un risque que s'il menace des enjeux exposés.

La vulnérabilité est une propriété interne des sociétés ou des agroécosystèmes. Le GIEC la définit comme la prédisposition d'un système à être affecté de manière négative par les aléas climatiques (Mach et al. 2014). Elle dépend de trois éléments : le degré d'exposition à la contrainte climatique, la sensibilité du système (le degré d'impact biologique ou économique subi), et enfin sa capacité

d'adaptation (sa faculté à se prémunir des dommages ou à récupérer) (Giec, 2001).

III. État de l'art des méthodes pour caractériser et spatialiser le risque climatique

3.1) Le cadre conceptuel du risque et la standardisation des méthodes

À l'échelle internationale, la structuration des indicateurs du risque climatique s'appuie généralement sur des cadres reconnus tels que le modèle DPSIR (Driving forces, Pressures, State, Impacts, Responses) développé et promu par l'Agence Européenne pour l'Environnement (AEE). Comme le souligne un rapport de synthèse du Service des Données et Études Statistiques (Dahoo / SDES, 2025) ce cadre structure l'évaluation de l'environnement en analysant les chaînes de cause à effet entre les activités humaines, les changements du milieu, et les actions correctives mises en œuvre. Aussi, pour objectiver les aléas de manière reproductible, la communauté scientifique se réfère aux standards dictés par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM, 2012 ; Vissin, 2007) et le groupe d'experts ETCCDI (Karl et al., 1999 ; Peterson, 2001). Ces derniers définissent un ensemble d'indices standardisés (souvent basés sur des percentiles) permettant de détecter et de comparer l'intensité, la fréquence et la durée des événements météorologiques extrêmes à partir de séries de données quotidiennes (Zhang et Yang, 2004).

3.2) Indicateurs éco climatiques et descente d'échelle

L'utilisation des valeurs moyennes annuelles s'avère insuffisante pour évaluer la faisabilité d'une culture parce qu'elles lissent et invisibilisent les événements météorologiques extrêmes, et masquent ainsi les seuils de rupture physiologiques et physiques qui déterminent la survie et le rendement des cultures (Caubel et al., 2015 ; Ollat et al., 2025). L'agronomie s'est donc d'abord dotée d'indicateurs agroclimatiques globaux. Ceux-ci intègrent des données de températures actives et de longueurs de jours, à l'image de l'indice héliothermique permettant d'évaluer le potentiel d'un milieu viticole (Huglin, 1986) et de classifier les régions productrices mondiales (Tonietto, 2000 ; Tonietto et Carbonneau, 2004). Cependant, l'accélération de la phénologie liée au réchauffement climatique rend le calcul d'indicateurs sur des périodes calendaires fixes inadapté. Aujourd'hui, l'évaluation de la vulnérabilité nécessite une descente d'échelle spatiale (pour corriger le lissage topographique des modèles globaux), couplée à un calcul d'indicateurs éco-climatiques dynamiques (Caubel et al., 2015). Contrairement aux précédents, ces indicateurs synchronisent l'évaluation du climat avec les

stades phénologiques sensibles réels de la plante. Des outils d'évaluation génériques ont été développés pour calculer les fréquences de franchissement de seuils physiologiques lors de ces stades critiques (García de Cortázar-Atauri et Maury, 2019).

IV. L'approche socio-agronomique : de la perception à l'action

4.1) La perception comme déterminant de l'action

Avant d'agir face au risque, l'agriculteur doit d'abord en avoir conscience. C'est ici qu'intervient la notion de perception, qui se définit comme une « opération psychologique complexe par laquelle l'esprit, en organisant les données sensorielles, se forme une représentation des objets extérieurs et prend connaissance du réel » (Chapelon, 2023). Dans le contexte de notre étude, elle traduit la compréhension qu'ont les agriculteurs des effets néfastes du changement climatique et de leur propre vulnérabilité (Agossou, 2008). La perception du risque varie d'un individu à l'autre : elle est influencée par les caractéristiques socio-économiques (Barry, 2016 ; Opiyo et al., 2016 ; Sale et al., 2014), les expériences vécues par le passé (Uddin et al., 2017 ; Kosmowski et al., 2016 ; Opiyo et al., 2016 ; Loko et al., 2013), le niveau d'éducation (GIEC, 2007) et la « distance psychologique » face à la menace (Michel-Guillou, 2014 ; Trope et al., 2007).

La littérature scientifique souligne que la perception du risque par les agriculteurs est d'une importance majeure, car c'est cette part de subjectivité qui dictent leurs intentions comportementales et leurs décisions d'adaptation (Raghuvanshi et Aslam Ansari, 2019). En effet le risque n'est pas qu'une probabilité mathématique. S'il peut être quantifié objectivement, il constitue également un « construit social » dont la perception revêt une dimension subjective qui peut évoluer (Erne-Heintz, Martin, 2020). Ainsi, le risque n'a de réalité concrète que parce que des individus y sont confrontés au quotidien. L'efficacité de la conception et de la mise en œuvre de stratégies d'adaptation repose fondamentalement sur la compréhension de cette perception (Eitzinger et al. 2018). En agriculture, la perception que les exploitants ont du changement climatique est le principal moteur qui les pousse à adopter (ou non) des stratégies d'adaptation et d'atténuation (Raghuvanshi et Aslam Ansari, 2019). Si un modèle diagnostique un risque (par exemple un stress hydrique), mais que l'agriculteur ne fait pas la différence entre un simple changement météorologique ponctuel et

un changement climatique de fond durable, ou s'il estime que la probabilité d'être directement affecté est faible, il ne s'engagera dans aucune démarche d'adaptation (Finnis et al. 2015). L'engagement des acteurs de la chaîne de valeur dans des stratégies adaptatives est donc dépendant de leurs perceptions des risques et de leurs conditions d'acceptation du changement (Ollat, J. Touzard, 2024). Ainsi, la perception a plusieurs spécificités :

- La relation entre la perception et la décision va dans les deux sens. Si la perception du risque influe les choix de l'agriculteur, les décisions qu'il prend modifient en retour sa perception du risque (Nauges, 2022).
- Les agriculteurs n'isolent pas le risque climatique. Ils l'intègrent dans un ensemble de menaces liées à leurs moyens de subsistance. Par exemple, une étude en Colombie a montré que les agriculteurs classent la vulnérabilité sociale (accès à la santé, à l'éducation) et l'échec des cultures comme leurs risques majeurs, tandis que les experts extérieurs estiment que la météo imprévisible est la préoccupation première des agriculteurs (Eitzinger, 2018).
- Les facteurs qui modulent la perception du changement climatique sont le niveau d'éducation, l'expérience de l'agriculteur, son intégration dans des réseaux professionnels et son habitude à solliciter des conseils (Boyer et Touzard, 2021). Le type de culture a aussi son importance : les cultures pérennes rendent les agriculteurs beaucoup plus sensibles au risque climatique que les cultures annuelles, car elles engagent le capital sur le long terme et les stades phénologiques sont entièrement dépendants des variables climatiques (Nauges, 2022).

L'analyse empirique de l'écart entre l'aléa modélisé et le risque perçu par les exploitants a déjà fait l'objet de recherches à l'étranger, notamment en Colombie et au Népal sur de petits exploitants agricoles et des agriculteurs de subsistance (Eitzinger et al., 2018 ; Ricart et al., 2023 ; Shrestha et al., 2022). Or, cette confrontation *in situ* demeure encore non documentée dans le contexte agricole français. Cette étude vise à combler ce manque en mettant la complémentarité des échelles au cœur de l'analyse, entre les estimations macro-climatiques régionales à grande échelle (mailles de 8 km²) et la réalité biophysique (pédologie, topographie) et humaine à l'échelle de la parcelle.

4.2) Stratégies d'adaptation et atténuation

Une fois le risque perçu, les stratégies mises en œuvre par les chefs de culture s'articulent autour du

trioletyque classique d'adaptation : incrémentale, systémique et transformante. Ce classement est théorisé par Catrien Termeer et son équipe de l'Université de Wageningue, et appliqué agronomiquement par Philippe Debaeke, directeur de recherche à l'INRAE de Toulouse.

Incrémentale (court terme) Ajustements tactiques sur l'itinéraire technique pour préserver le système de production en place. Ex : avancée des dates de récolte, modification de l'enherbement ou de stratégies d'évitement temporaire (Gontier et Gaviglio, 2013).	Systémique (moyen terme) Nécessite des modifications plus lourdes à l'échelle de la parcelle ou de l'exploitation. Ex : choix du matériel végétal (cépages, porte-greffes), modification de l'architecture des couverts, utilisation d'outils de protection active contre les aléas comme le gel (Drepper et al., 2022 ; Piquet, 2018).	Transformationnelle (long terme) Pour faire face à des contraintes climatiques dépassant les capacités d'ajustement de l'exploitation. Rupture profonde et à long terme en modifiant les attributs fondamentaux du système Ex : abandon d'une culture au profit d'une espèce plus résiliente, relocalisation, changement total de système de culture.
---	---	---

Figure 1 : Typologie des stratégies d'adaptation agricole face au changement climatique (Debaeke et al., 2025 ; Termeer et al., 2016).

La pérennité des systèmes passe par le besoin de coupler ces mesures d'adaptation à une reconception des pratiques qui ont pour but de réduire l'empreinte environnementale (l'atténuation) comme stocker le carbone dans le sol, ou propulser la biodiversité.

V. Verrous scientifiques actuels et questions non résolues

Là où les sciences du climat et de l'eau ont affiné les calculs d'indicateurs agroclimatiques et éco climatiques pour quantifier l'aléa futur, les sciences sociales ont démontré que l'adaptation des exploitants dépendait moins de ces estimations théoriques que de leur propre perception du risque, ancrée dans les spécificités de leur exploitation (sol cultures, localisation...) (Eitzinger et al, 2018). Le rapprochement de ces deux sphères disciplinaires constitue aujourd'hui un enjeu faisant émerger trois verrous scientifiques principaux :

5.1) Le verrou du changement d'échelle et de la spatialisation plus fine du risque

Les projections climatiques fournissent des données sur des mailles de plusieurs km carrés qui lissent souvent les effets de la micro-topographie, de l'exposition des versants ou de la nature exacte des sols et des cultures. Or, la littérature démontre que l'impact de ces caractéristiques topographiques (comme les bas-fonds favorisant l'accumulation d'air froid) modifie de façon déterminante

l'exposition locale au risque (Beltrando et al., 2003). Ainsi, comment caractériser et localiser objectivement les risques climatiques à l'échelle locale des exploitations, en intégrant les limites de résolution des modèles climatiques actuels ?

5.2) Le verrou de l'alignement entre le risque estimé (objectif) et le risque réel perçu (subjectif)

La vulnérabilité d'un site agricole ne se résume pas à son exposition physique face à un aléa extrême, mais elle est filtrée par le prisme cognitif de l'agriculteur et la mémoire des événements récents. Cependant, les études confrontant directement l'exposition d'un risque climatique estimé avec le risque tel qu'il est vécu par les chefs de culture à une échelle locale, voire intra-parcellaire, restent rares dans le contexte méditerranéen. Dans quelle mesure les simulations d'aléas climatiques théoriques correspondent-elles à la réalité empirique, spatiale et historique perçue par les exploitants sur le terrain ?

5.3) Le verrou des déterminants de l'adaptation et de l'atténuation

Identifier un risque majeur ne conduit pas forcément à la mise en œuvre d'une stratégie d'adaptation. Les freins socio-économiques, financiers, institutionnels ou cognitifs (Moser et Ekstrom, 2010 ; Fankhauser, 2017) créent un décalage structurel (le "*climate action gap*") entre l'urgence perçue par l'agriculteur et la concrétisation de l'action réelle sur l'exploitation (Niles et al., 2016 ; Blake, 1999). Comment la qualification fine du risque (à la fois objective et perçue) permet-elle d'identifier les freins à l'action et d'optimiser le déploiement de stratégies d'adaptation et d'atténuation pertinentes à court, moyen et long terme ?

La présente étude a précisément pour objectif de répondre à ces interrogations. En s'appuyant sur le réseau de sites des mécènes de la Chaire AgroSYS, ce travail propose de confronter l'estimation spatiale d'indices climatiques extrêmes à une caractérisation in situ du risque climatique et de la perception des acteurs du terrain.

OBJECTIFS

L'évaluation du risque climatique en agriculture ne peut se limiter à une approche purement météorologique. L'enjeu réside dans la prise en compte de la vulnérabilité micro-locale et, surtout, du facteur humain en tant que moteur de la prise d'action. Dès lors, la problématique qui guide ce travail de recherche est la suivante : **Dans quelle mesure le croisement entre l'estimation des aléas climatiques par calculs, et l'analyse de la perception des acteurs permet-il de caractériser le risque local des exploitations méditerranéennes, et de mettre en lumière les verrous et les arbitrages qui sous-tendent la mise en place et le rôle des trajectoires d'adaptation et d'atténuation ?**

Pour répondre à cette problématique, l'objectif principal de cette étude est de fournir une évaluation des risques climatiques locaux et des actions relatives, sur le réseau de sites méditerranéen partenaires de la Chaire AgroSYS. En croisant une estimation largement spatialisée des aléas climatiques théoriques avec la réalité locale du terrain et la perception des acteurs, il s'agira ensuite d'identifier et d'évaluer les stratégies d'adaptation et d'atténuation mises en œuvre et envisagées par les chefs de culture.

Sous-objectifs

Pour atteindre cet objectif principal, la démarche a été structurée autour de trois sous-objectifs :

Sous-objectif 1 : Évaluer l'exposition des sites aux aléas climatiques.

Réaliser un inventaire géolocalisé des 20 sites agricoles partenaires et caractériser leur niveau d'exposition aux aléas climatiques (sécheresse, chaleur, gel, précipitations extrêmes) à travers une démarche de calcul d'indicateurs agro et éco climatiques. Cette étape se base sur une estimation et une projection climatique à échelle large de 8 km², sur trois périodes de 1971 à 2000 ; 2001 à 2030 et 2031 à 2060.

Sous-objectif 2 : Évaluer la vulnérabilité des sites et la perception des acteurs vis-à-vis des risques liés au changement climatique.

Recueillir et analyser la perception du risque climatique par les agriculteurs aux aléas estimés, et la croiser avec les caractéristiques de leurs terrains et leurs trajectoires d'adaptations. Il s'agit de

recenser de manière exhaustive les pratiques déjà mises, envisagées ou prochainement mises en place, ainsi que leurs freins.

Sous-objectif 3 : Caractériser le risque climatique réel et les actions mises en place.

Croiser l'évaluation des aléas estimés avec le risque réellement perçu par les acteurs pour mettre en lumière :

1. Les surestimations ou sous estimations des aléas estimés
2. Les tendances et explications générales des écarts entre l'aléa estimé et perçu
3. Le rôle des caractéristiques physiques des exploitations et leur lien avec les aléas affiliés
4. Les déterminants et le rôle des actions d'adaptation et d'atténuation selon les aléas, les synergies possibles entre elles, et leurs freins
5. Et de repérer et caractériser les risques de maladaptation

sur les sites partenaires du réseau AgroSYS qui ont fait l'objet d'enquêtes lors de cette étude.

Hypothèses de travail

Notre démarche de recherche s'appuie sur cinq hypothèses qui seront testées durant notre étude :

1) La prise de conscience du CC chez un chef de culture diffère selon les aléas climatiques vécus sur son exploitation	Selon les aléas, la prise de conscience et la perception du changement climatique des chefs de culture se forgent plutôt : - Soit par l'expérience de terrain et la mémoire d'événements météorologiques extrêmes récents - Soit par l'observation des tendances climatiques graduelles.
2) La vulnérabilité locale d'une exploitation agricole joue un rôle de filtre important dans la perception du risque par l'agriculteur	L'évaluation subjective du risque climatique par un chef de culture/responsable d'exploitation ne dépend pas uniquement de l'exposition à l'aléa climatique, mais est très fortement modulée par la vulnérabilité interne liée aux caractéristiques physiques du site et de la parcelle (topographie, type de sol, microclimat, génétique des plants). Un même aléa ne sera donc pas perçu avec la même gravité selon les caractéristiques physiques de l'exploitation.

3) La perception du risque par l'agriculteur influe sur l'organisation et la mise en place des actions sur une exploitation agricole	Le niveau de perception du risque et la projection dans l'avenir déterminent la nature des stratégies mises en œuvre : les risques perçus comme extrêmes, à court terme et dans l'urgence déclenchent principalement des ajustements tactiques (incrémentale), tandis qu'une perception graduelle des aléas à long terme favorise des projets structurels (transformationnelle) (Termeer et al., 2016 ; Debaeke et al., 2025).
4) Les actions mises en place sur une exploitation agricole influent sur la perception des risques par l'agriculteur	La relation entre la perception et la décision n'est pas unidirectionnelle : les actions d'adaptation déjà déployées par l'agriculteur (par exemple, la sécurisation de l'irrigation) modifient en retour sa perception actuelle de son exposition au risque (Nauges, 2022). Sans accompagnement, les pratiques d'adaptation risquent d'entrer en opposition avec les nécessités d'atténuation globale (hausse des consommations d'eau et d'énergie fossile), ce qui amène à de la maladaptation.
5) Les actions mises en place sur une exploitation agricole pour faire face aux risques climatiques peuvent aussi représenter des opportunités	Les agriculteurs n'isolent pas le risque lié au changement climatique (Eitzinger, 2018). Mettre en place ou envisager des actions d'adaptation et d'atténuation pour faire face aux risques climatiques ne sont pas uniquement perçues comme des contraintes : les agriculteurs essaient d'en tirer des opportunités pour le développement de l'exploitation.

Tableau 1 : Tableau des 5 hypothèses de travail

MÉTHODOLOGIE

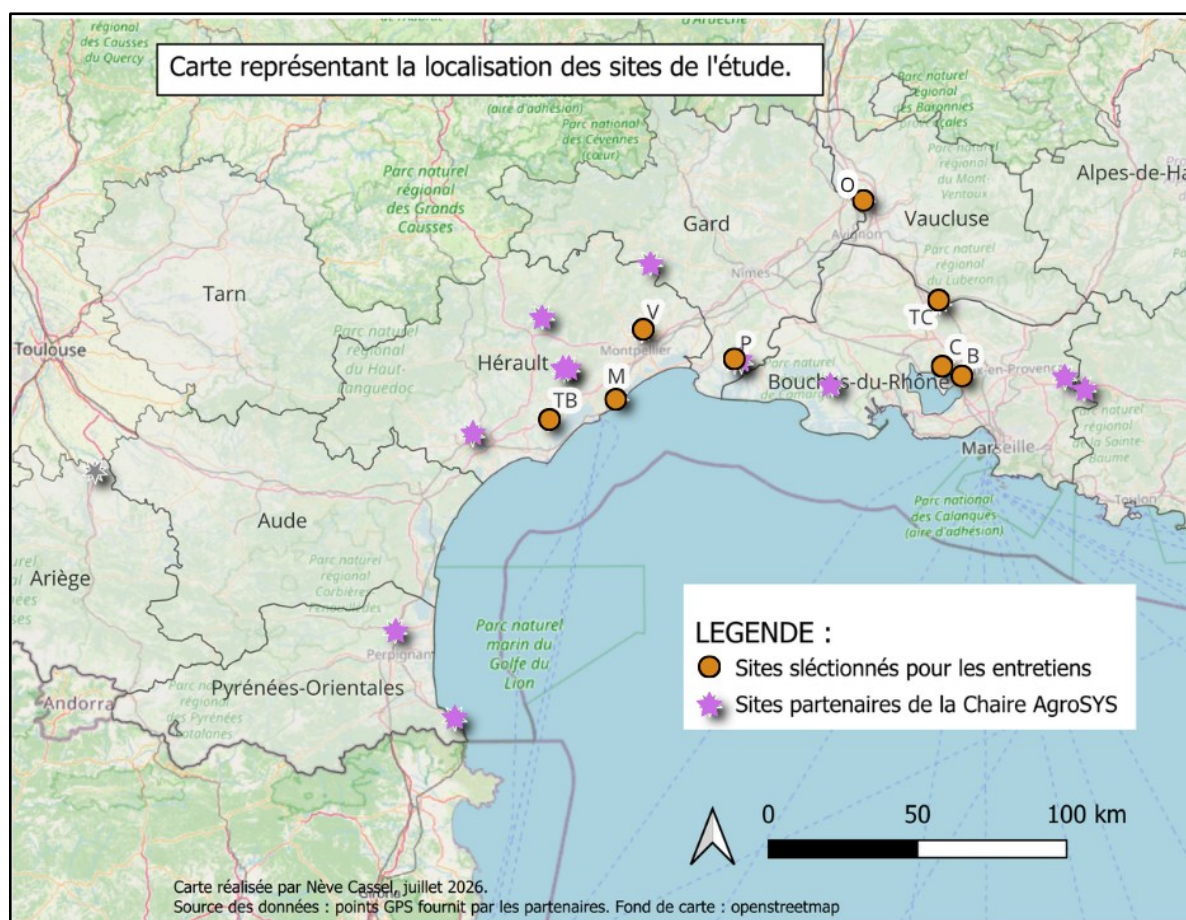


Figure 2 : Carte du réseau des sites partenaires de la Chaire AgroSys dans l'étude

1) Évaluation biophysique des aléas climatiques

Cette première phase a pour objectif d'évaluer les aléas, c'est-à-dire la menace climatique externe pesant sur les sites présélectionnés et de mettre en évidence l'évolution de l'exposition des aléas climatique par site et par périodes de 30 ans, de 1970 jusqu'à 2060. Les aléas se caractérisent par des variables climatiques, indépendamment des caractéristiques locales des sites et de ce qui y est cultivé. En effet, la vulnérabilité des exploitations présente une trop grande variabilité locale inter et intra-parcellaire (liée aux sols, à la topographie, aux cultures et aux pratiques) pour être fusionnée à l'échelle des données climatiques sur lesquelles nous travaillons. Une telle agrégation générerait un flou statistique, atténuerait les particularités locales, et conduirait à une généralisation trop importante. La première phase de la méthodologie permet de fournir :

1. Une matrice d'exposition de très faible (1) à extrême (5) des types d'aléas en fonction des sites

horizon 2060.

2. Une matrice par aléa montrant l'évolution de leur exposition de très faible (1) à extrême (5) par site sur les périodes de 30 ans.
3. Une frise temporelle de l'exposition de très faible (1) à extrême (5) des aléas par site pour identifier des ruptures.

Cela nous permet de mettre en lumière les sites les plus exposés selon les aléas ainsi que leur évolution selon les périodes, et d'identifier les aléas les plus intenses et récurrents à l'échelle de notre réseau d'étude.

1.1) Acquisition des données climatiques.

Chaque site a été géolocalisé sur le logiciel de système d'information géographique (SIG) QGIS à partir de leurs coordonnées GPS, puis chacun affilié à une maille correspondante issue de la grille SAFRAN (Système d'Analyse Fournissant des Renseignements Atmosphériques à la Neige) avec une résolution 8x8 km. Les données climatiques historiques et les projections futures de chaque maille ont été extraites du portail DRIAS (Donner accès aux scénarios climatiques Régionalisés français pour l'Impact et l'Adaptation de nos Sociétés et environnement) de Météo-France. L'étude s'appuie sur les sorties du modèle climatique régional CNRM (Centre National de Recherches Météorologiques)-ALADIN63 (Aire Limitée Adaptation dynamique Développement InterNational), forcé par le modèle global CNRM-CM5, et corrigées par la méthode ADAMONT¹ pour chacune des mailles correspondantes aux sites de l'étude. En plus des variables météorologiques atmosphériques classiques, les données intègrent les sorties du modèle hydrologique SIM2 de Météo-France, forcé par les projections du modèle CNRM-ALADIN63.

En termes de temporalité, pour capturer l'évolution du climat à long terme, nous nous appuyons sur les standards de l'OMM (L'Organisation Météorologique Mondiale) qui recommandent d'agréger les données journalières modélisées sur des normes de référence de trente années (Vissin, 2007). Cette

¹ Développée par Verfaillie et al. (2017), la méthode ADAMONT est une technique d'ajustement statistique permettant de corriger les biais des projections climatiques régionales afin d'obtenir des données plus fidèles aux observations historiques à une échelle spatiale fine.

méthode de lissage affranchit la forte variabilité météorologique interannuelle et met en lumière des tendances climatiques objectives. Ainsi, notre analyse est découpée en trois périodes climatiques de trente ans :

- **Passé** : 1971 – 2000
- **Actuel** : 2001 - 2030
- **Futur** : 2031 - 2060 (Scénario RCP 8.5)

Le scénario RCP²(Representative Concentration Pathways) 8.5 est le plus pessimiste et simule la trajectoire croissante des émissions de gaz à effet de serre actuelles. L'utiliser permet de tester les véritables limites de résilience de nos exploitations agricoles. C'est le meilleur moyen de concevoir des stratégies

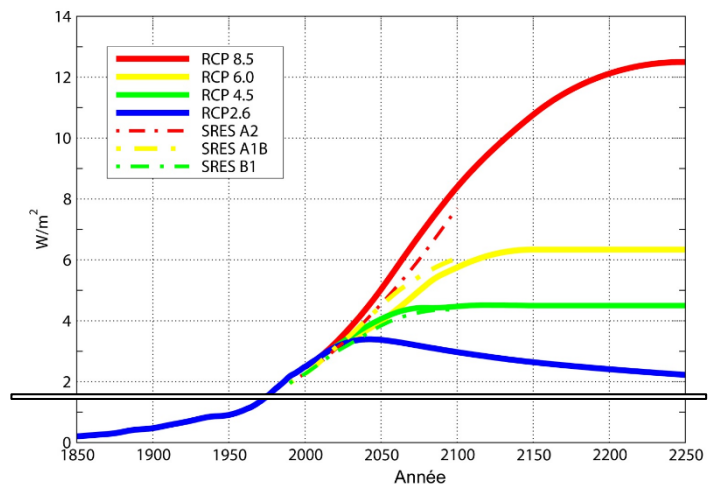


Figure 3 : Graphique des différents RCP. L'étude suit le RCP 8.5 en rouge. Source : Stéphane Sènesi (CNRM-GAME, Météo-France / CNRS), d'après GIEC AR5 / Meinshausen et al. (2011).

d'adaptation qui seront efficaces si la situation climatique se dégrade fortement. En France, la stratégie nationale d'adaptation s'appuie sur la TRACC (Trajectoire de Réchauffement de référence pour l'Adaptation au Changement Climatique). Cette trajectoire officielle utilise exclusivement le scénario RCP 8.5, car c'est le seul qui permet de modéliser des niveaux de réchauffement élevés (+4°C en France) et qui dispose du plus grand nombre de simulations disponibles (17 au total), ce qui justifie notre choix. Ainsi, chacune des 19 mailles attribuées aux 20 sites, possède 4 types de données au format texte :

- Deux fichiers comprenant les données journalières issues du modèle hydrologique SIM2, pour la période actuelle et la projection à 2060, dont les variables sont les suivantes :
 - Évapotranspiration potentielle (ETP) en mm
 - Drainage en mm
 - Ruissellement en mm
 - Le Soil Wetness Index (SWI), indicateur sans unité de l'humidité des sols

² Profils représentatifs d'évolution de concentration de GES

- Deux fichiers comprenant les données météorologiques journalières issues du modèle CNRM-CM5 / CNRM-ALADIN63 (GCM - RCM), pour la période actuelle et la projection à 2060, dont les variables sont les suivantes :
 - Température moyenne, maximale et minimale journalière à 2 m du sol en °C
 - Les précipitations totales et solides en mm
 - L'humidité spécifique à 2m en Kg/Kg
 - Le rayonnement visible incident à la surface en W/m²
 - Le rayonnement infra-rouge incident à la surface en Wm²
 - La vitesse du vent à 10m du sol en m/s
 - Évapotranspiration potentielle (ETP) Hargreaves en mm.

Une fois collectées, les données brutes ont été vérifiées, nettoyées, puis structurées dans un format standardisé exploitable pour l'étape de traitement des données. Cette étape de traitement de données a été réalisée sur le langage de programmation RStudio.

1.2) Choix des indicateurs climatiques à inclure dans les aléas climatiques modélisés

Dans le cadre conceptuel mondial, souvent structuré par le modèle DPSIR (Driving forces, Pressures, State, Impacts, Responses) promu par l'Agence Européenne pour l'Environnement (AEE), notre étude se concentre sur les métriques d'impacts et d'extrêmes. Bien que la température soit déterminante pour la phénologie, en agronomie méditerranéenne (viticulture, arboriculture, polyculture), l'évolution des rendements ou la survie des plantations ne sont plus dictées par la simple dérive des moyennes annuelles, mais par le franchissement de seuils de rupture physiologiques (Ollat et al., 2025).

Ainsi, l'approche par indicateurs a été structurée autour de trois exigences :

L'aléa local	Plutôt que d'évaluer le changement climatique à l'aide de moyennes globales (annuelles ou saisonnières), les variables choisies ont été construites comme des indicateurs « écoclimatiques ». L'objectif est de cibler les processus physiologiques limitants en synchronisant le calcul de
---------------------	---

	l'aléa avec les phases de développements sensibles de la plante. Alors, un aléa tel que le gel n'est pas calculé sur l'année entière, mais uniquement durant la fenêtre de vulnérabilité post-débourrement où le risque est présent.
L'alignement sur les standards internationaux	Les algorithmes utilisés pour calculer ces indicateurs s'alignent sur les standards mondiaux de l'OMM (Vissin, 2007 ; OMM, 2012) et du groupe d'experts ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices) (Karl et al., 1999 ; Peterson, 2001 ; Zhang et Yang, 2004). Cette standardisation permet à notre évaluation du risque physique d'être objective et reproductible.
La réduction de la dimensionnalité pour l'analyse systémique	Il existe un large nombre de variables et d'indicateurs climatiques. En sélectionnant un petit nombre de variables qui reflètent des processus indépendants, nous évitons la colinéarité.

La traduction des variables climatiques brutes (issues des 4 fichiers textes de données) en indicateurs d'impacts basés sur les extrêmes et la phénologie nous permet de passer d'une simple observation météorologique à la caractérisation des aléas climatiques perçu par les cultures du site.

1.3) Groupement des indicateurs en groupe d'aléas.

Ainsi, après le traitement des variables brutes, nous continuerons l'analyse avec les 17 indicateurs suivants. Leur intérêt est justifié par la littérature dans l'Annexe C.

1. Déficit précipitation – évapotranspiration (en mm)	2. Nombre de jours de froid (tasmin < 7°C) hivernal
3. Nombre de jours consécutifs sans pluie	4. Nombre de nuits fraîches (T < 14°C)
5. Nombre de jours sec avec SWI < 0,4	6. Numéro du dernier jour de gel de printemps (Tmin > 0°C)
7. Jours avec humidité relative > 80% au printemps	8. Numéro du premier jour de débourrement théorique au printemps
9. Nombre de jours d'échaudage (Tmax>35 °C)	10. Nombre de vagues de chaleur

11. Indice de Huglin d' avril à septembre	12. Amplitude thermique (en °C)
13. Précipitations solides en kg/m ² /s de mai à septembre	14. Nombre de jours humide avec SWI > 0
15. Nombre de jours de pluies intenses avec P > 100mm/jour	16. Nombre de jours avec vitesse du vent moyen 11 m/s
17. Température Tmax>18°C	

Tableau 2 : Liste des 17 indicateurs climatiques issus des variables climatiques brutes

Afin d'évaluer l'exposition des aléas selon sites, les 17 variables climatiques brutes précédentes sont arrangées en 7 groupes d'aléas. La justification par la littérature sur l'intérêt de chaque variable constituant l'aléa est en Annexe D.

ALÉA	VARIABLES CLIMATIQUES À INTÉGRER
1. Sécheresse estivale et stress hydrothermique cumulé	Déficit P-ETP (en mm) Nombre de jours consécutifs sans pluie Nombre de jours sec avec SWI < 0,4 Nombre de vagues de chaleur Nombre de jours d'échaudage (Tmax > 35°C) Indice de Huglin
2. Cycle de dormance et qualité	Nombre de jours de froid (tasmin < 7°C) hivernal Nombre de nuits fraîches (T < 14°C)
3. Gel printanier et déphasage phénologique	Numéro du dernier jour de gel de printemps (Tmin > 0°C) Numéro du premier jour de débourrement théorique
4. Pression cryptogamique (maladies)	Jours avec humidité relative > 80% au printemps Amplitude thermique
5. Excès d'eau et asphyxie racinaire	Nombre de jours humide avec SWI > 0,8 Pluies intenses avec P > 100mm/jour
6. Dégâts mécaniques et érosion	Nombre de jours avec vitesse du vent moyen 11 m/s Pluies intenses avec P > 100mm/jour
7. Grêle	Précipitations solides en kg/m ² /s Température Tmax>18°C

Tableau 3 : Tableau montrant la constitution des 7 groupes d'aléas à partir des différentes variables climatiques

1.4) Quantification de l'exposition des aléas et réalisation des matrices.

L'objectif est maintenant de quantifier l'exposition des 7 aléas, par période de 30 ans et par site. En d'autres termes, cela permet de mettre en évidence à quel degré chaque aléa est subi par chaque site. Cette quantification se fait sous deux angles : une quantification absolue visant à être la plus objective possible, et une quantification relative au sein du réseau.

1.4.1) Quantification absolue

Les variables climatiques brutes possèdent des unités hétérogènes (millimètres, nombre de jours, degrés Celsius, degré-jour...), elles ont donc été discrétisées afin de leur attribuer une unité commune, une note d'exposition allant de 0 (exposition nulle) à 20 (exposition extrême). Selon le type de variable et son unité de base, cette discrétisation s'appuie sur une grille d'évaluation (voir en Annexe E) qui croise des seuils physiologiques absolus justifiés par la littérature, et des seuils statistiques relatifs (répartition par quintiles). Le choix d'associer ces deux types de seuils selon les variables répond à la volonté d'isoler les ruptures physiologiques de la plante, qui s'avèrent bien plus révélatrices des seuils de tolérance biologiques que de simples évolutions statistiques linéaires.

De ce fait, il est important de saisir que, même en essayant de quantifier objectivement les aléas, le degré d'exposition de certaines variables est quantifié avec une part de statistiques relative. En effet, à l'image des alertes canicules dont les seuils sont localisés en France, cette part de relativité vis-à-vis de l'exposition des aléas entre les sites persiste dans l'établissement des scores puisque l'évaluation du risque se fait sur l'équivalence d'une échelle régionale : le pourtour méditerranéen.

Agrégation linéaire par équipondération

Le score de chaque groupe d'aléa est obtenu en calculant la moyenne arithmétique des notes des indicateurs qui le constituent. Le choix de l'équipondération (poids égal pour chaque variable) se justifie du fait qu'en l'absence d'expérimentations physiologiques qui expliquerait le poids exact de chaque stress, les variables participent à parts égales à la définition du risque.

Discrétisation équidistante des classes de risque

L'agrégation des notes entières génère un score continu compris entre 1 et 5. Pour représenter ces résultats sous forme de matrice lisible, l'ensemble a été découpé en 5 classes de risque selon des

amplitudes égales de 0.8 par palier :

[1.0 à 1.8 [	Exposition 1. Très faible
[1.8 à 2.6 [	Exposition 2. Faible
[2.6 à 3.4 [	Exposition 3. Modéré
[3.4 à 4.2 [	Exposition 4. Fort
[4.2 à 5.0]	Exposition 5. Extrême

1.4.2) Quantification relative des aléas par site dans le réseau.

Pour construire la matrice d'exposition relative et agréger des variables climatiques aux unités hétérogènes (jours, mm, °C), une double standardisation mathématique a été appliquée :

Standardisation des variables (Z-score)

Chacune des 17 variables brutes a été centrée-réduite afin de mesurer l'écart statistique de chaque domaine (X) par rapport à la moyenne du réseau AgroSYS (μ). Pour les variables où le déficit constitue le danger (comme le manque de froid hivernal), le Z-score a été inversé (multiplié par -1) afin qu'un score positif traduise toujours une surexposition au risque.

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

X = La valeur propre au site (ex : 35 jours de canicule) ; μ = La moyenne de tous les domaines du réseau AgroSYS (ex : 20 jours) ; σ = L'écart-type (la variation moyenne autour de cette moyenne).

Agrégation des variables en aléas

Les scores univariés obtenus (Zvariable) ont ensuite été moyennés au sein de leurs groupes respectifs pour former les 7 aléas. Pour ne pas écraser les extrêmes et permettre la comparaison entre ces groupes, ces moyennes ont fait l'objet d'une nouvelle standardisation (Zaléa). Chaque site possède ainsi une position relative exacte au sein du réseau pour chaque grande menace.

Discrétisation en 5 classes de risques

Enfin, pour rendre la matrice lisible, ces scores finaux (Zaléa) ont été répartis en cinq classes. Cela permet de repérer les domaines s'éloignant, ou si situant proche de la moyenne du réseau :

Très faible :	$Zaléa < -1.0$ (Site abrité de cet aléa par rapport au réseau)
Faible :	$-1.0 \leq Zaléa < -0.3$
Modéré :	$-0.3 \leq Zaléa \leq 0.3$ (Exposition dans la moyenne du réseau AgroSYS)
Fort :	$0.3 < Zaléa \leq 1.0$
Extrême :	$Zaléa > 1.0$ (Exposition critique)

2) Qualification de la vulnérabilité, de la perception du risque et de l'adaptation

La deuxième phase vise à caractériser le risque perçu par les enquêtés agricoles des sites partenaires comprenant : des chefs d'exploitation, des responsables techniques, des directeurs techniques. Elle s'articule en approche de terrain sous forme d'entretiens ciblés sur 8 sites (Figure 2).

Cette démarche poursuivra deux objectifs :

- **Le recueil des perceptions**

Premièrement, il s'agit d'explorer la manière dont les agriculteurs perçoivent les risques climatiques réels et locaux, en se fondant sur les impacts agronomiques et socio-économiques qu'ils ont pu observer sur leur exploitation et leurs parcelles.

- **L'analyse des pratiques en place**

Dans un second temps, nous procéderons au recensement des actions techniques et organisationnelles déjà déployées et envisagées sur ces terrains. Une distinction sera opérée entre les stratégies d'adaptation (qui visent à réduire l'impact subi par la culture) et les stratégies d'atténuation (qui visent à réduire l'impact émis par l'exploitation).

2.1) Les variables de vulnérabilité

Pour préparer au mieux les entretiens, chaque aléa a été croisé avec les propriétés physiques qui entrent en jeu. Cela détermine comment les spécificités du terrain agissent comme des amplificateurs ou des amortisseurs face à un aléa donné. Le croisement de ces variables, validé par la littérature (Annexes F et G), permet de spatialiser la vulnérabilité aux échelles inter et intra parcellaires, pour éviter de traiter l'exploitation comme un bloc homogène. Comprendre l'intérêt de chaque caractéristique physique (sol, topographie, microclimat, type de culture) pour chaque aléa contribue à structurer le guide d'entretien en amont, favoriser la compréhension des discours agricoles sur le terrain, et à fournir une analyse plus objective pour le post-traitement des données.

2.2) Déroulement des entretiens

Les entretiens se déroulent sans partager les aléas précédemment calculés aux enquêtés pour garder la part de perception totalement subjective, spontanée et fondée sur le terrain et leurs expériences. Conduits sur une durée moyenne d'une heure, ces entretiens semi-directifs sont structurés par un guide composé d'une quinzaine de questions. La démarche est complétée par l'utilisation de supports matériels visant à illustrer les propos et à stimuler l'interaction avec l'agriculteur. La grille complète d'entretien est visible à l'Annexe H, et les supports matériels sont visibles en annexe I et J.

2.3) Traitement des données

Les entretiens sont enregistrés avec l'accord de la personne enquêtée, puis retranscrits en format texte. Les verbatims obtenus sont mis au propre et triés par questions issues de la grille d'entretiens. Les réponses aux questions sont analysées et mises en relation avec les 5 hypothèses de travail. Afin de confronter la perception du risque des agriculteurs avec les expositions d'aléas estimés, les données quantitatives issues de la grille de notes sur la perception (Annexe I) sont mises en regard avec les notes d'aléa estimés issus des calculs de la phase précédente sur une feuille de calcul. Ainsi, est opéré le croisement entre :

- La matrice de l'exposition des aléas de 0 à 5 sur la période 2000-2030, issue de la partie Résultats
- La grille de notation de l'intensité du risque perçu par aléa de 0 à 10, issue de la partie 2 des résultats

L'échelle de notation a été standardisée pour ces 2 bases de données, et les scores ont été présentés en forme de graphiques radars afin de comparer le risque perçu de l'aléa modélisé. Ces écarts seront justifiés par les verbatims, qui constituent les données brutes issues des entretiens.

Les actions mentionnées dans les discours sont recensées de manière exhaustive, puis catégorisées par groupe, par statut de mise en place, par type d'action d'adaptation (incrémentale, systémique, transformationnelle) à l'aide de tableaux croisés dynamiques.

RÉSULTATS

1) Caractérisation de l'exposition des aléas

1.1) Degré d'exposition des aléas horizon 2060 pour chacun des sites.

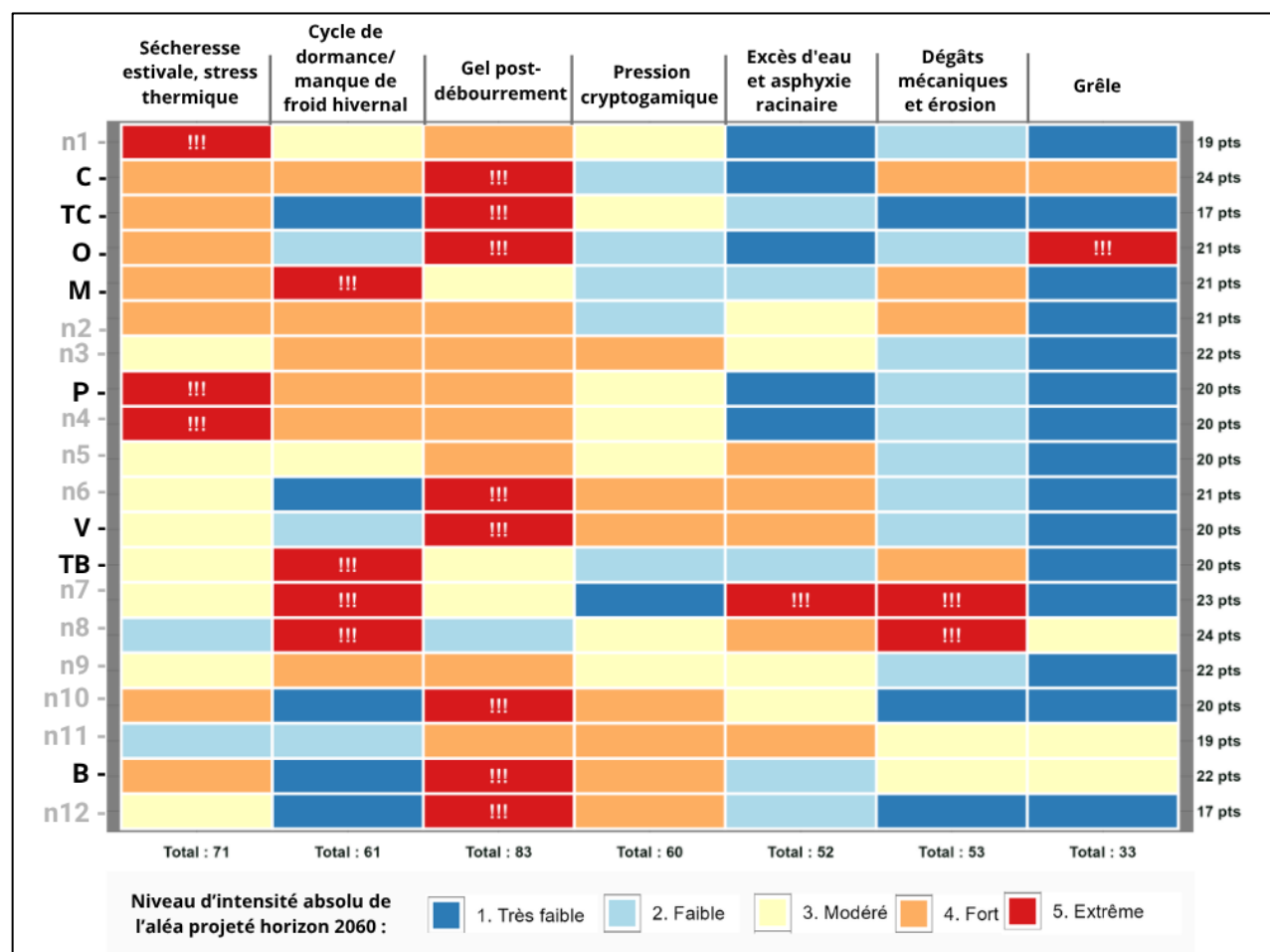


Figure 4 : Matrice d'exposition absolue des aléas pour chacun des sites du réseau partenariale de la Chaire AgroSYS à horizon 2060. Les lettres en noires correspondent aux sites enquêtés, et les lettres en grises correspondent aux autres sites du réseau. Les points correspondent à la somme des niveaux absolus d'exposition, par aléa, et par site.

Les aléas *gel* et *excès d'eau* sont ceux avec le plus de sites dont les expositions sont extrêmes (8 sites sur 20). Mais en termes de sommes des expositions, c'est le *gel* et la *sécheresse* qui sont les plus importants (83 et 71 points). L'aléa avec le plus de sites très faiblement exposés concerne la *grêle* ($\frac{3}{4}$ des sites). Mais les aléas dont la somme des expositions sont les plus faibles sont la *grêle* (33 points) et la *pression cryptogamique* (60 points).

Les sites enquêtés les plus exposés concernant l'ensemble des aléas sont les sites C (24 points) et B

(22 points); qui sont par ailleurs géographiquement très proches et gérés par les mêmes personnes. Les sites enquêtés les moins globalement exposés sont les sites TC (17 points), P et TB (20 points).

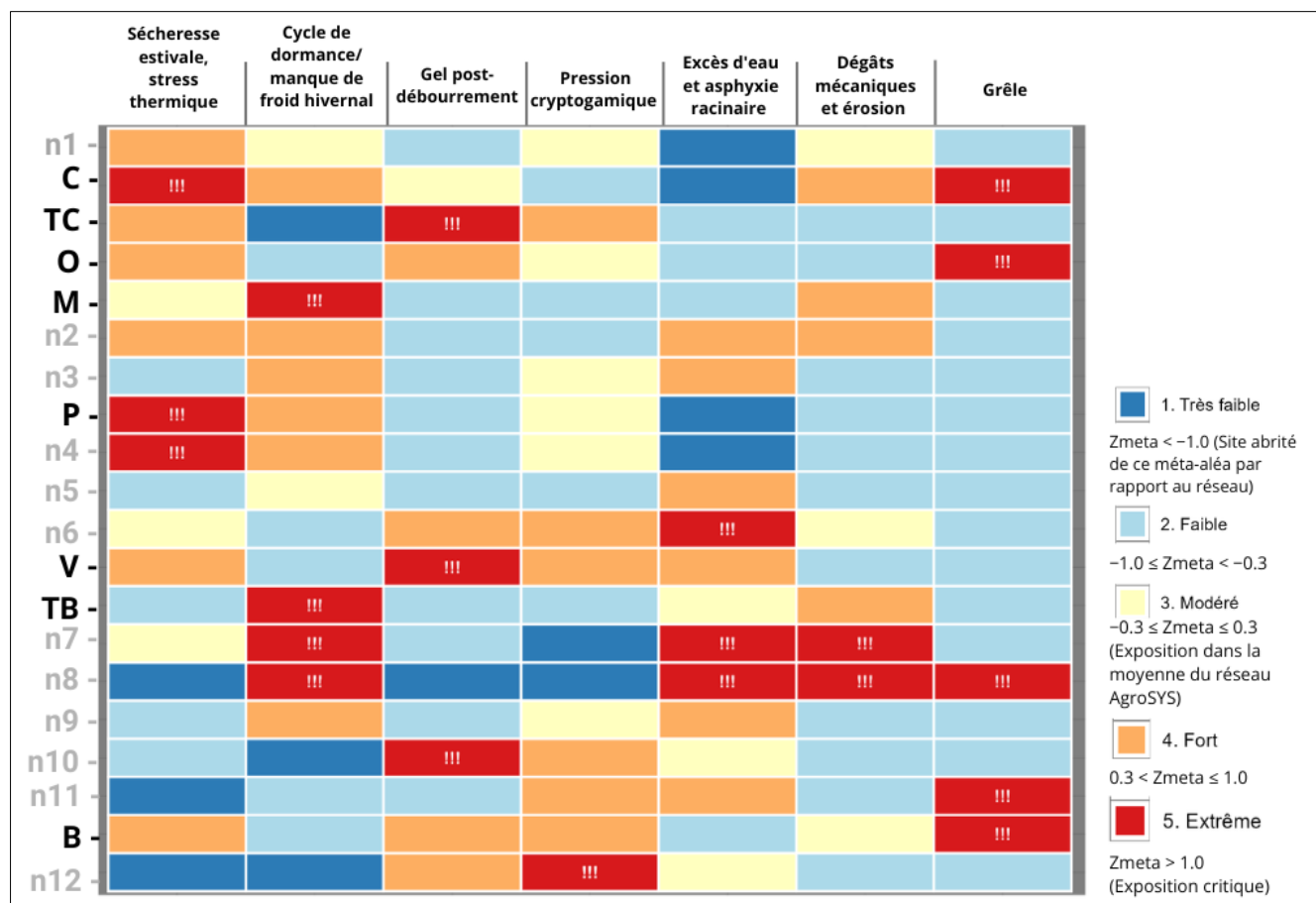


Figure 5 : Matrice d'exposition relative des aléas pour chacun des sites du réseau partenariale de la Chaire AgroSYS à horizon 2060. Les lettres en noires correspondent aux sites enquêtés, et les lettres en grises correspondent aux autres sites du réseau.

En termes d'exposition relative, les expositions des aléas sont plus dispersées : il y a moins d'exposition extrêmes et fortes. Cela permet de mettre davantage en évidence les écarts entre les sites et les aléas. Cela permet de mettre en lumière quel site est soumis à quel aléa en particulier, puisque chaque site a en moyenne un seul aléa considéré comme extrême par rapport au reste du réseau.

1.2) Evolution de l'exposition des types d'aléas par périodes de 30 ans, de 1970 à 2060.

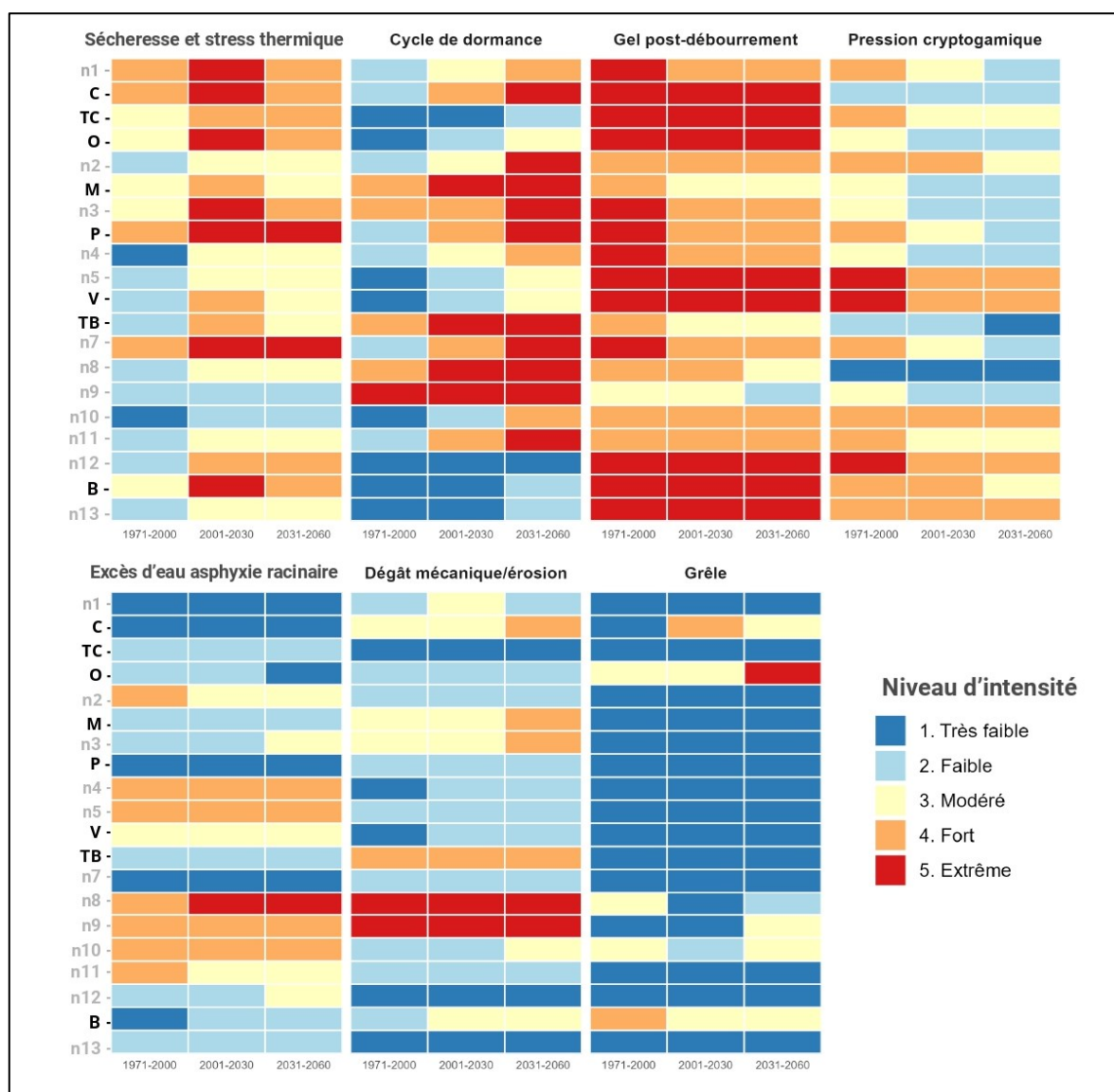


Figure 6 : Matrices de l'évolution du degré d'exposition absolue pour chaque aléa climatique et pour chaque site, par périodes de 30 ans, de 1970 à 2060.

L'analyse diachronique sur trois périodes de trente ans (1971–2000, 2001–2030 et 2031–2060) fait ressortir trois grandes dynamiques d'évolution (Figure 6) :

Aléas en augmentation : La sécheresse, dégât mécanique/érosion et le manque de froid hivernal voient leur niveau d'intensité s'accroître sur les 3 périodes, sur la quasi-totalité des sites.

Aléas en diminution : L'intensité des aléas pression cryptogamique, gel post-débourrement et l'excès d'eau/asphyxie racinaire diminue avec le temps à l'échelle globale.

Aléas stagnants : La *grêle* ne présente pas d'évolution temporelle notable, à l'exception des sites C et O où une hausse apparaît.

1.3) Modélisation de l'évolution de l'exposition des aléas en frise temporelle

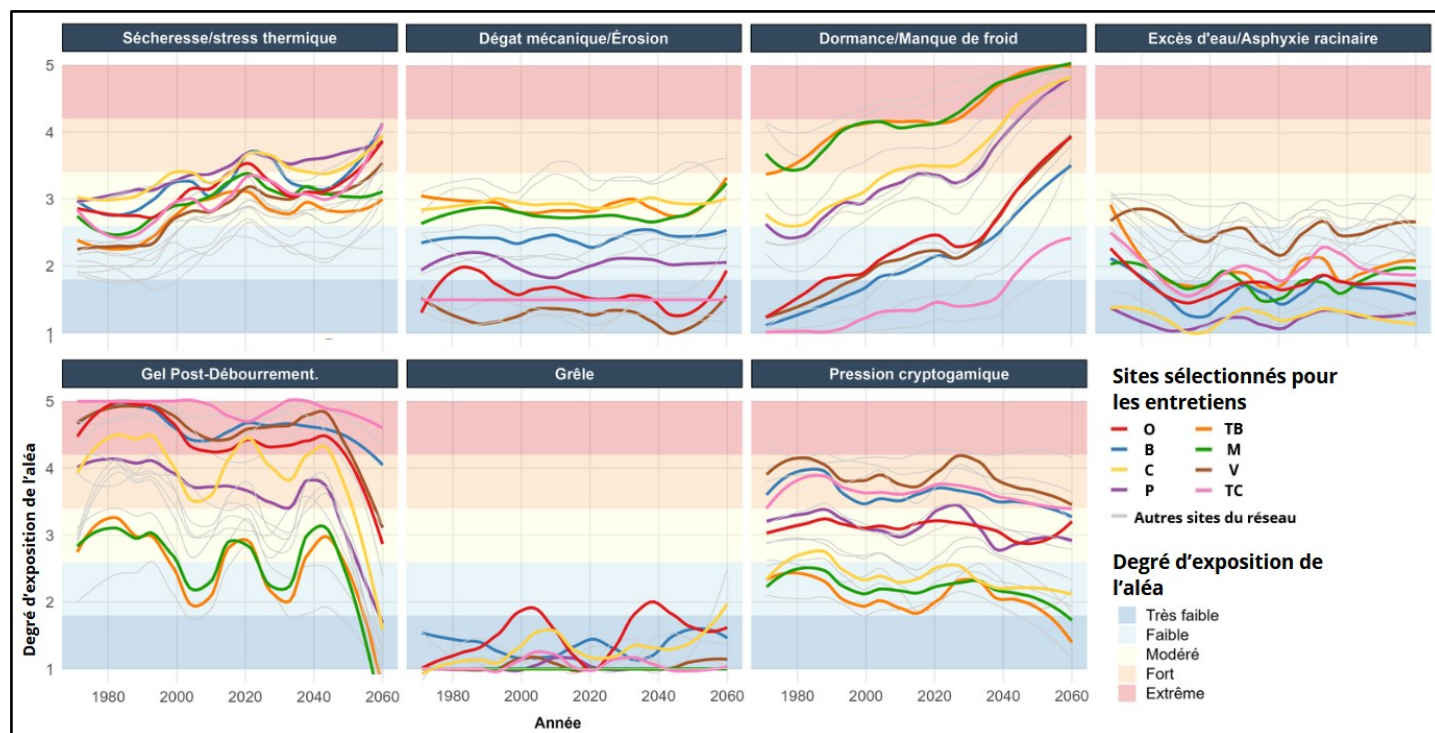


Figure 7 : Frises chronologiques en courbes lissées représentant l'évolution temporelle du niveau d'exposition estimé par aléa entre 1970 et 2060 pour les sites enquêtés. Les autres sites partenaires de la Chaire AgroSys sont en courbes grises claires.

La figure 7 permet de mettre en évidence que les sites de l'étude enquêtés suivent la même dynamique du reste de l'échantillon pour chaque aléa. Il s'agit aussi de montrer les dynamiques d'évolution par aléa ainsi que les grandeurs d'écart type moyen.

Sur le plan de la variabilité spatiale, les aléas *sécheresse* et *gel* présentent les plus faibles variances inter-sites, traduisant une dynamique régionale homogène. Les aléas *gel* et *cycle de dormance* affichent les plus fortes variances entre les domaines, avec une corrélation inverse nette : les sites les plus exposés au défaut de froid hivernal sont les moins exposés au gel de printemps, et inversement.

2. Vulnérabilités, perceptions et action

2.1) Explications des écarts entre l'aléa estimé et le risque perçu

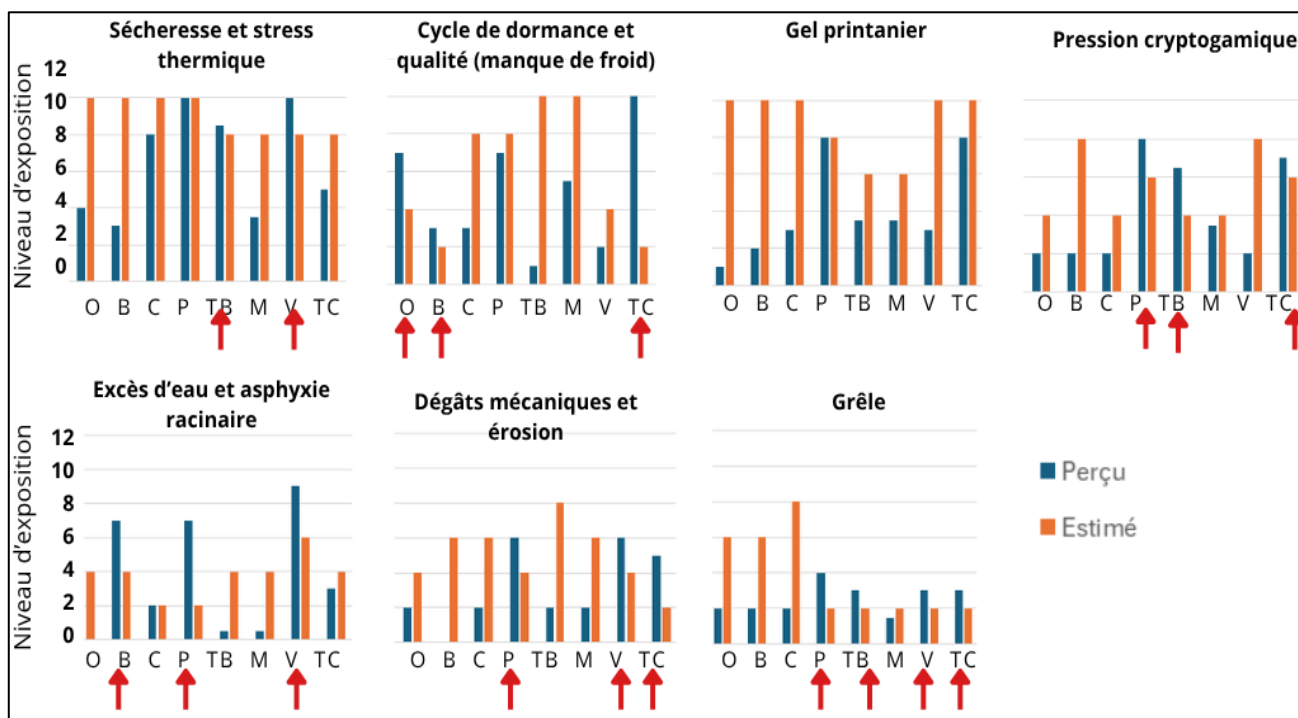


Figure 8 : Graphiques en barre par aléa, comparant la note donnée (Y) par les enquêtés sur le degré de risque perçu, par rapport au niveau d'exposition (Y) de l'aléa estimé entre les sites. Les flèches rouges marquent les surestimations d'exposition par la perception.

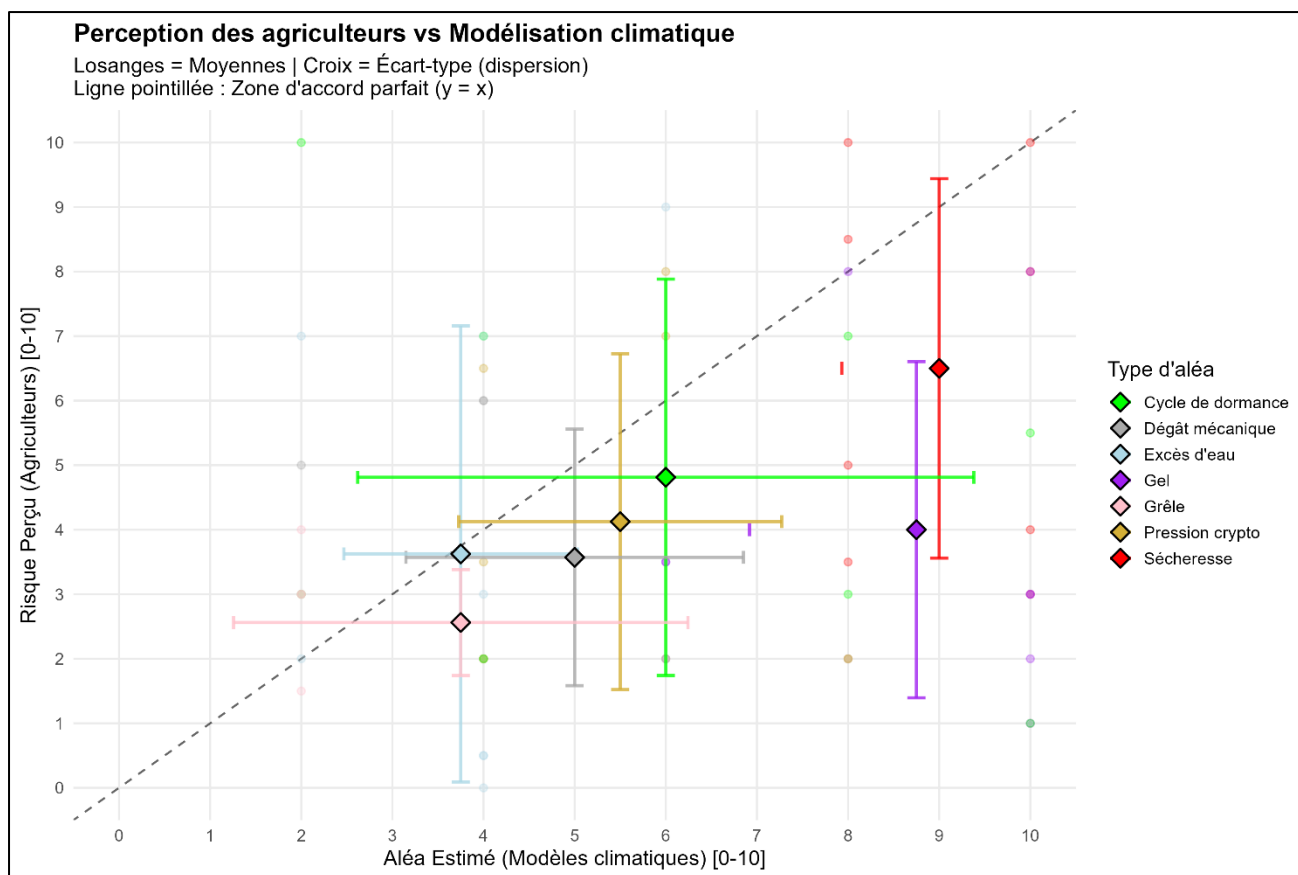


Figure 9 : Diagramme de dispersion comparant les moyennes et variances de chaque type d'aléa entre le risque perçu affilié et leur exposition estimée. Les losanges représentent les notes d'exposition moyennes des aléas pour le risque perçu en Y (note des agriculteurs) et pour l'estimation climatique en X (calculs par les indicateurs). Les traits représentent l'écart type : plus il est grand, plus les notes d'exposition sont hétérogènes. La ligne pointillée est la zone d'accord parfait, où l'aléa perçu par les agriculteurs concorde parfaitement avec l'exposition calculée.

Le croisement entre les scores d'exposition calculés (période 2000–2030) et les notes de risque perçu attribuées lors des entretiens (notées de 0 à 10) met en évidence deux constats majeurs (Figures 8 et 9).

Une tendance générale à la sous-estimation du risque perçu.

Sur la Figure 8, la plupart des barres oranges dépassent les barres bleues pour l'ensemble des aléas, indiquant une surestimation générale des aléas calculés par rapport aux risques perçus. Sur la figure 9, l'ensemble des moyennes d'aléas se positionne sous la droite linéaire d'accord parfait ($y=x$). Les expositions d'aléa estimées projettent des intensités élevées pour la *sécheresse* et le *gel* (moyennes calculées autour de 8,8 à 9/10), alors que le risque moyen perçu des risques par les exploitants se stabilise autour de 4/10, excepté pour la *sécheresse* qui est l'aléa le plus perçu et qui ressort de la

masse atteignant les 6,5/10.

L'existence de 16 exceptions de surestimation perçue.

La figure 11 identifie 17 situations (flèches rouges) où le risque perçu dépasse l'exposition modélisée:

Sécheresse/ stress thermique Sites V et TB	Cycle de dormance Sites V et TB	Pression cryptogamique Site P, TB et TC	Excès d'eau Sites B, P et V	Dégât mécanique/ érosion Sites P, V et TC	Grêle Sites P, TB, V et TC
---	--	--	---	---	--

Les sites TC et P sont ceux qui surestiment le plus leur niveau de risque par rapport à l'estimation (surestimation constatée sur 4 aléas chacun). L'aléa *sécheresse* et stress thermique obtient à la fois le score moyen estimé le plus élevé (9/10) et le niveau de risque perçu le plus important (6.5/10), tout en présentant une très large dispersion de perception (notes individuelles s'étalant de 3,5 à 9,2/10).

2.2) Le rôle des caractéristiques physiques locales comme filtre du risque

Les données recueillies des entretiens montrent que le décalage entre estimation globale et ressenti s'explique par les propriétés micro-locales propres à chaque parcelle, qui agissent soit comme des boucliers, soit des amplificateurs du risque. Les caractéristiques locales ressorties spontanément par les agriculteurs concernent (cf. verbatims associés dans le tableau 1 de l'annexe K) :

La texture et la profondeur du sol : La présence d'un sol très drainant et filtrant abaisse le risque d'inondation et d'asphyxie racinaire. Également, la composition argileuse des sols permet une forte capacité de rétention d'eau, et permet de limiter la sécheresse des sols en période estivale (Site M et TB).

Le microclimat et l'environnement paysager : La proximité d'un étang crée un effet tampon qui atténue les pics de chaleur et freine l'apparition des gelées (Sites C et B). De la même sorte, l'influence maritime côtière est vue comme un amortisseur des amplitudes thermiques importantes (Site M). L'alignement de haies de chênes de 15 m de hauteur créent des zones d'ombrage permettant de protéger les parcelles alentours du rayonnement solaire direct et de l'échaudage (Site O)

L'accès naturel et facilité à la ressource en eau : L'accès au Rhône et la présence d'une nappe alluviale accessible dès 6 m de profondeur favorisent l'alimentation hydrique des systèmes racinaires en profondeur (Site O). De même que la proximité de la Durance combinée à une nappe phréatique très superficielle (3 m) diminue le stress de manquer d'eau (Site TC).

Le matériel végétal et la mémoire biologique : L'enracinement profond d'oliviers centenaires leur apporte une forte résilience face aux stress hydriques (Site B).

L'ambivalence fonctionnelle des filtres physiques selon l'aléa : Une même caractéristique locale peut protéger la culture contre une menace tout en augmentant sa vulnérabilité face à une autre. Par exemple, les sols minces (Site V) ou très caillouteux et filtrants (Site M) évitent les inondations en hiver mais provoquent un dessèchement rapide de la végétation en période estivale. Bien que la topographie en pente favorise l'évacuation de l'air froid nocturne, elle canalise aussi les flux d'eau intenses pour former des ravinements sur les hauteurs (Site C) et des stagnations asphyxiantes dans les bas-fonds (Site V).

2.3) Modalités de la perception : dérives chroniques et chocs extrêmes

Les entretiens révèlent deux modes d'évaluation du changement climatique chez les exploitants. (cf. verbatims associés dans le tableau 2 de l'annexe K)

A. La perception par dérive lente et observation agronomique

Pour les aléas graduels et prévisibles (cycles phénologiques, manque de froid hivernal, pressions sanitaires), la conscience du risque s'établit par l'observation continue d'un glissement des calendriers culturels et du décalage progressif des pratiques :

Le décalage et la précocité du cycle végétatif : Les exploitants constatent une avancée de la phénologie de la vigne dans l'année, marquée par des débourrements plus précoces et des vendanges avancées qui se déroulent désormais dès le mois d'août (Sites O et C).

L'installation insidieuse de la pression sanitaire : Le chef de culture observe depuis 10 à 15 ans une hausse inhabituelle de l'humidité au printemps entraînant des difficultés pour maîtriser le mildiou,

qu'il associe à une dérive de fond du climat (Site M).

Le réchauffement hivernal et l'entrave à la levée de dormance : L'agriculteur ressent principalement le dérèglement climatique lors de la période automne-hiver, avec des températures qui ne baissent pas autant qu'avant. L'insuffisance d'heures de froid cumulées bloque le débourrement normal et menace de freiner 90 % à 95 % la production finale (ce qui explique sa note de risque perçu de 10/10 face à une estimation à 2/10) (Site TC).

B. La perception par chocs aigus et mémoire d'événements marquants

Face aux aléas brutaux et imprévisibles, la mémoire des exploitants se structure autour d'événements-repères datés, associés à des seuils de rupture biologique, mécanique ou humaine :

Grêle : L'aléa est décrit comme fulgurant et très hétérogène dans l'espace, frappant par couloirs étroits et imprévisibles (de 2 mètres à 20 kilomètres de large). Les agriculteurs soulignent une perte instantanée pouvant atteindre 100 % de la récolte sur les parcelles touchées (Sites TC, P).

Gel printanier tardif : L'aléa peut toucher soudainement et discrètement des parties précises de l'exploitation. Les agriculteurs ont vécu la destruction de plus de la moitié à la totalité du potentiel de récolte en quelques heures (épisode de référence : 6 avril 2021), avec des répercussions physiologiques sur la production des années suivantes (Sites M, P).

Stress thermique et canicules : L'aléa est perçu à travers des dépassements de seuils critiques de température (40 à 43 °C, épisode du 29 juin 2019) ainsi qu'un fort rayonnement solaire. Les agriculteurs font face à des coulures florales majeures entraînant jusqu'à deux tiers de pertes de rendement (en maraîchage), le blocage photosynthétique de la vigne, l'accentuation de la salinisation des parcelles (perte de 25 % de surface en 2021) et des risques physiques pour les travailleurs agricoles (Sites V, C, P).

Pluies extrêmes et vents érosifs : L'aléa est perçu par des cumuls pluviométriques très intenses et imprévisibles (> 600 mm), ainsi que des récurrences de vents violents (> 25 à 30 m/s sur plus de 100 jours/an). Ils assistent à l'emportement des parcelles, une érosion éolienne forte sur les sols sableux dénudés, et une casse des jeunes pousses lors de la fenêtre critique où le feuillage offre une prise au

vent sans être encore palissé (Sites V, P, M).

2.4) Recensement et typologie des actions d'adaptation et d'atténuation

Toutes les actions recensées par les entretiens, avec le nombre d'occurrences et catégorisées selon les 3 types d'adaptation, apparaissent dans l'Annexe L.

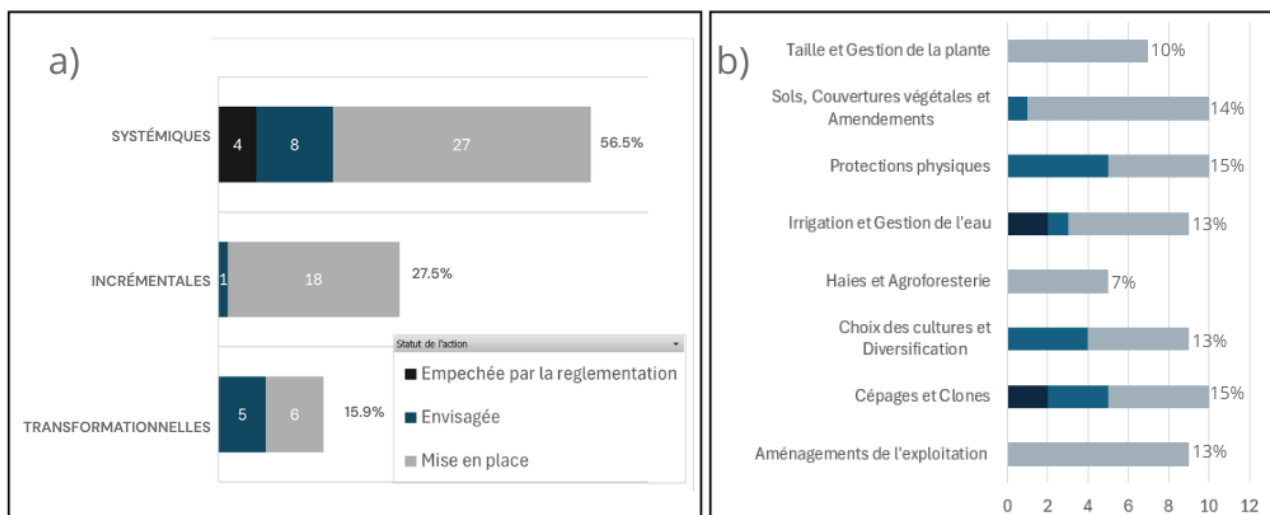


Figure 11 : Graphiques représentant a) le statut des actions selon le mode d'action b) La répartition des groupes d'actions selon leur nombre d'occurrence et selon le statut de mise en œuvre.



Figure 10 : Hiérarchisation des actions énoncées par les enquêtées, selon leur type d'adaptation. La taille des blocs est proportionnelle au nombre de sites l'appliquant.

Le recensement exhaustif des pratiques citées par les exploitants met en évidence la répartition suivante (Annexe L et figure 11).

- 56.5 % des actions relèvent de l'adaptation systémique, 27.5% de l'adaptation incrémentale et 15.9% de l'adaptation transformationnelle
- Les actions incrémentales sont globalement mises en place (18 sur 19). La moitié des actions transformationnelles sont seulement envisagées.
- Les actions principalement citées concernent le choix des cépages et clone (15%), les protections physiques (15%), la gestion des sols et couverts (13%), l'irrigation (13%) et les aménagements d'exploitation types infrastructures (13%)
- Les actions empêchées par la réglementation concernent l'irrigation, le matériel végétal (les cépages et clones encadré par les cahiers des charges)

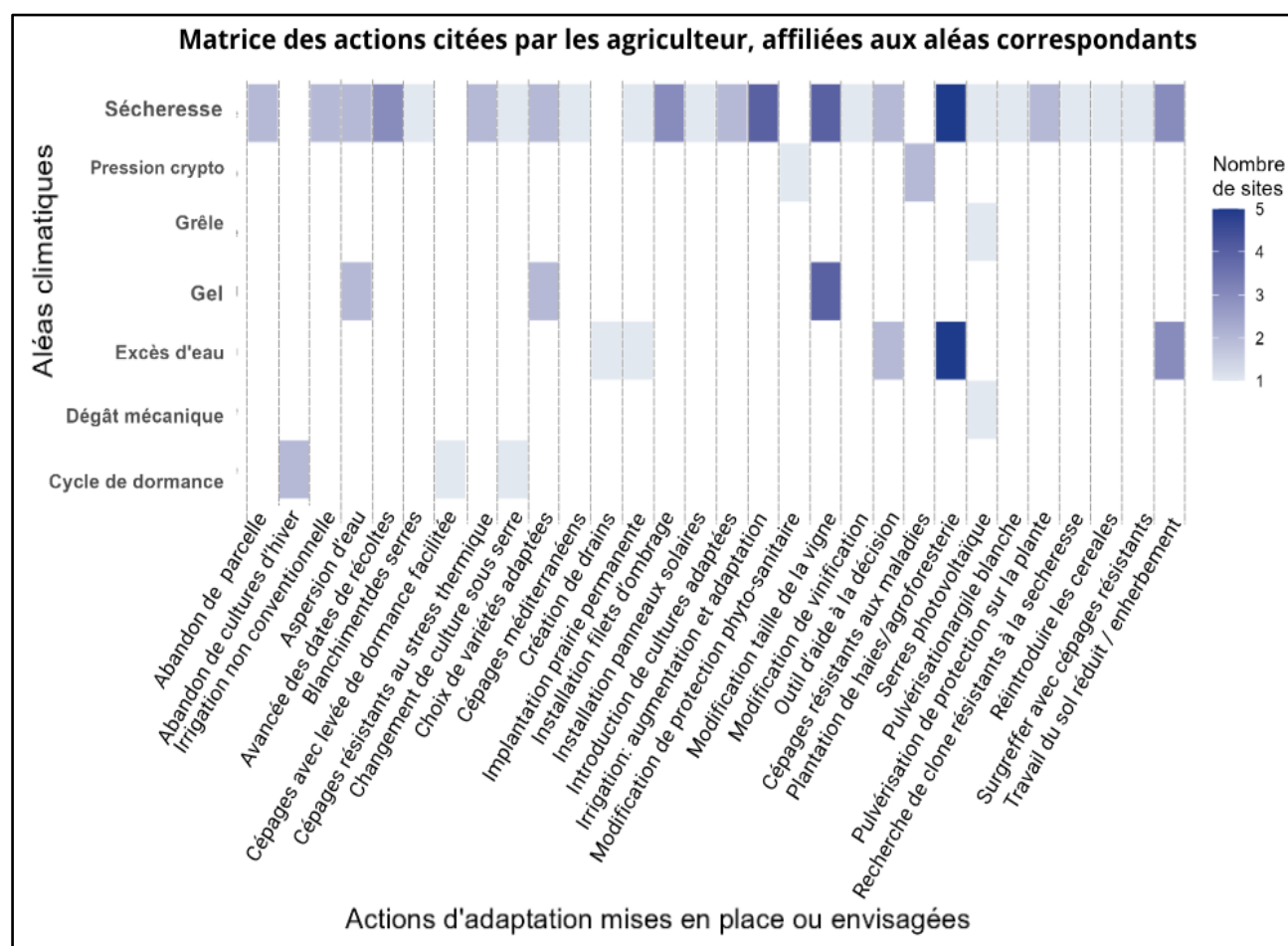


Figure 12 : Répartition et hiérarchisation des actions mises en place ou envisagées selon les aléas.

La Figure 12 illustre la mobilisation des actions à chaque aléa :

Sécheresse et stress thermique

Cet aléa est le moteur de 72 % des actions recensées. Les actions prioritaires combinent la plantation de haies/agroforesterie, la modification de la taille et l'adaptation/ augmentation de l'irrigation.

Autres aléas

Les actions sont plus ciblées : 14 % portent sur l'excès d'eau (drains, travail du sol), 7 % sur le gel (taille tardive, aspersion), 3,5 % sur la pression cryptogamique (cépages résistants, pulvérisations) et 3,5 % sur la dormance (reprogrammation calendaire).

2.5) Modalités de déploiement des pratiques : autonomie, ruptures et atténuation du risque perçu

A. Le choix de l'adaptation pour maintenir l'autonomie et le confort de travail

L'analyse des entretiens montre que les exploitants privilégient des actions qui préservent leur autonomie technique et décisionnelle tout en restant compatibles avec l'organisation quotidienne du travail (cf. verbatims associés dans le tableau 3 de l'annexe K).

L'expérimentation en amont et le dimensionnement maîtrisé à la parcelle : Les agriculteurs privilégient le test variétal progressif face aux aléas (ex : implantation ciblée de quelques rangs de sauvignon au sein d'une parcelle d'ugni blanc avant d'envisager un déploiement global) et dimensionnent en amont les gros projets pour garantir leur faisabilité sans bouleverser la façon de travailler (l'agroforesterie sur le Site M).

Ne contraint pas l'organisation de travail : Sont privilégiées les pratiques dont la mise en œuvre s'adapte dans le planning habituel, sans causer de surcharge horaire, de besoin de main d'œuvre, ou de logistique contraignante (Site V).

L'amélioration du confort thermique et des conditions d'intervention des équipes : On peut citer la pose de filets d'ombrage protégeant les cultures des coups de chauds tout en améliorant le confort physique des travailleurs lors des récoltes estivales (Site V). La conduite sous abris (serres photovoltaïques) permettant également de réduire le besoin de main d'œuvre tout en offrant un environnement de travail plus supportable qu'en plein champ lors des fortes chaleurs. (Site TC)

B. Les décisions transformationnelles face aux impasses climatiques

Lorsque les adaptations déjà mises en place atteignent leurs limites et menacent la viabilité de l'exploitation, ou que la contrainte climatique n'est plus gérable, les exploitants engagent des

modifications profondes sur la structure de leur système de production. Parmi celles-ci sont citées :

La diversification culturelle pour diluer le risque : Les agriculteurs réintroduisent de la polyculture et diversifient les milieux de production pour répartir l'exposition aux aléas climatiques sur plusieurs espèces et éviter les pertes totales que pourrait subir une monoculture. (Site P)

La reprogrammation calendaire radicale et la substitution d'espèces : Ils reconfigurent le calendrier cultural sous abri (tel que l'abandon des cultures d'hiver lancées en décembre au profit d'un démarrage reporté en mars pour contourner les hivers trop doux et le manque de froid) et remplacent intégralement des cultures si l'adaptation variétale s'avère insuffisante (Site TC).

L'abandon définitif des parcelles critiques : La décision peut être prise d'arrêter définitivement la plantation de parcelles ou de cultures soumises à des contraintes climatiques trop extrêmes et irréversibles (Site P).

C. L'atténuation du risque perçu par les infrastructures et les actions mises en place

Au-delà des caractéristiques physiques naturelles, la mise en place d'actions d'adaptation et d'atténuation amortit la perception du risque en procurant un sentiment de maîtrise et de protection visible. Parmi celles-ci nous pouvons citer :

Protections physiques sous serres photovoltaïques : L'agriculteur constate l'élimination du risque de déchirure par rapport aux bâches plastiques classiques et la neutralisation de la crainte de la grêle, des vents violents et des pluies intenses. Il constate aussi l'amortissement du stress hydrique en réduisant l'évapotranspiration, permettant jusqu'à 30 % d'économie d'eau sur la culture par rapport à une conduite en plein champ (Site TC).

Création d'un microclimat tampon par le végétal : Grâce à l'agroforesterie et au maillage de haies de bordures, l'agriculteur constate un apport de fraîcheur, une humidification de l'air ambiant et une meilleure protection contre l'érosion (Site P).

Sécurisation par l'irrigation : Tous les sites enquêtés ont un accès à l'irrigation. Bien que la part de SAU irriguée diffère entre les sites, le risque sécheresse n'apparaît pas comme la préoccupation des agriculteurs. Lorsque l'aléa sécheresse survient dans la discussion, l'irrigation apparaît toujours

spontanément dans le discours, comme le bouclier invincible face à l'aléa.

Part d'irrigation par site (SAU irriguée par rapport à la SAU totale)	Sites de l'étude concernés	Verbatims illustratifs
Totalelement irrigués	Site V, Site P, Site TC	" J'arrose donc j'ai la capacité d'apporter de l'eau partout [...] l'eau pour l'instant voilà en quantité il n'y a vraiment pas un souci " (Site V)
		" On a une nappe phréatique qui est à 3 mètres [...] je n'ai pas peur de manquer d'eau " (Site TC)
Majoritairement irrigués	Site C, Site B, Site M	" Alors nous, on a l'irrigation. Donc pour le coup, ça me stresse un petit peu moins [...] on peut amener un mètre 250, donc doubler le volume " (Site M)
		" On n'a pas un impact sécheresse qui est hyper marqué [...] on bénéficie vraiment du canal de Provence " (Sites C et B)
Peu irrigué	Site O	" Ici, on n'a pas de problème d'accès à l'eau [...] De l'eau, on en a beaucoup ici " (Site O)

Tableau 4 : Irrigation chez les partenaires enquêtés.

Sécurisation contre le gel printanier : L'agriculteur constate un arrêt complet des pertes de rendement liées aux gelées tardives depuis l'implantation du dispositif d'aspersion en 2020 (Site TC).

Ajustements directs face à la chaleur : L'aspersion d'eau fait chuter la température ambiante et la pulvérisation d'argile blanche sur le feuillage créer une barrière physique contre l'échaudage (Site V). L'application de biostimulants permet de baisser l'évapotranspiration en régulant les stomates. Maintenir une surface foliaire protectrice autour des grappes de raisin permet de protéger les baies du soleil (Sites C et B).

Les conséquences de l'absence de protection sur le risque vécu et perçu

À l'inverse, l'absence d'infrastructures ou de pratiques préventives exacerbe le risque perçu, créant un sentiment d'impuissance et déclenchant des spirales de vulnérabilité technique et économique (l'ensemble des verbatims associés est consultable en Annexe K) :

Absence de lutte active contre le gel : La confiance que l'aléa ne se produira causant l'absence de bougies ou d'aspersion, conduit à la perte quasi systématique des vendanges (une seule récolte récoltée sur six ans avant l'équipement sur le Site TC).

Absence d'irrigation/déficit en eau non géré : Les agriculteurs n'ont pas régulièrement irrigué les

oliviers, cela a bloqué la récolte et freiné la trésorerie nécessaire à la taille annuelle. Cela aboutit à l'abandon définitif de parcelles d'oliviers (l'effet domino sur le Site C et B). Le manque d'apport d'eau douce superficielle par défaut de précipitations couplé à la non-irrigation, a entraîné la salinisation irréversible des sols (remontée saline par capillarité) et la perte de 25 % des vignes (Site P)

Absence de protection thermique face aux canicules : L'agriculteur a subi des pertes massives sur oignons dues à des coups de chaleur directs où les bulbes ont cuit sous un simple voile et une exposition inefficace face aux températures de canicules. (Site V)

Suppression des haies et absence de drainage : Des ravinements importants et l'arrachement des terres arables a été constatée après la suppression passée des haies d'alignement en 2017-2018 (Sites C et B). L'engorgement hydrique tardif rend les sols impraticables au tracteur et forcent l'exploitant à un travail manuel très contraignant (Site V).

D. Déploiement de mesures agroécologiques « sans regret » et opportunités d'atténuation

Les enquêtes mettent en évidence l'adoption de pratiques à bénéfices multiples dites « sans regret », déployées tant pour leurs bénéfices agronomiques et microclimatiques directs que pour leur contribution à l'atténuation globale via la séquestration de carbone.

Agroforesterie et haies brise-vent contre l'érosion et la création de microclimats, à l'unanimité chez presque totalité des enquêtés : Les projets sont pensés pour freiner les vents asséchants, réduire l'évapotranspiration estivale grâce à l'ombrage et préserver l'humidité des sols tout en optimisant les emplacements pour éviter la gêne mécanique et le temps d'entretien (Projet de 1500 km de haies et 2000 arbres plantés sur le site M) (Site O) (Site P).

Enrichissement organique des sols et stockage de carbone : Les apports réguliers de broyat végétal restructurent le sol, stockent le carbone, stimulent la vie biologique et maximisent la rétention en eau. Pour les agriculteurs, cette action est menée indépendamment des risques liés au dérèglement climatique (Site O, P, V).

Éco-pâturage ovin et fertilité biologique : Le pâturage hivernal par des troupeaux de moutons nettoie les rangs et apporte de la matière organique fertilisante au sol. Cela enlève le besoin de

décompactage et le travail mécanique automnal du sol. Ainsi, un seul passage léger au printemps est opéré (Site O et P).

DISCUSSION

La confrontation entre les aléas climatiques modélisés à l'échelle macro-spatiale (résolution de 8×8 km issue de DRIAS) et les perceptions recueillies sur le terrain met en évidence que la notion de risque en agriculture méditerranéenne est complexe et surtout locale. L'adaptation ne répond pas à une logique dictée uniquement par les variables météorologiques mais est le résultat d'arbitrages permanents entre des filtres biophysiques parcellaires, des biais cognitifs, des contraintes de charge de travail, des verrous réglementaires et des charges économiques.

1. La construction de la perception et le rôle de filtre de la vulnérabilité locale

1.1. Dérive chronique versus chocs traumatiques : deux voies de conscientisation du risque

Nos résultats montrent que la perception du risque lié au changement climatique par les agriculteurs ne se construit pas de manière uniforme. Elle s'élabore à travers deux mécanismes selon la nature des aléas. Pour les phénomènes graduels, prévisibles et cumulatifs (comme le décalage phénologique, manque de froid hivernal, maladies), la conscience du risque s'établit par l'observation directe des cycles biologiques. Les exploitants constatent l'avancée continue des vendanges, la douceur automnale et hivernale qui modifient la levée de dormance ou l'installation chronique des maladies.

Pour les aléas brutaux et imprévisibles (gel printanier, grêle, canicules extrêmes, tempêtes), la perception s'ancre dans la violence de sinistres marquants. Les agriculteurs gardent une mémoire vive de dates clés et de seuils physiques de rupture où des récoltes entières ont été anéanties en quelques heures : le gel du 6 avril 2021 (Sites M et P), l'orage de grêle de 2015 détruisant 100 % de la production (Site TC), ou la canicule de juin 2019 avec 43 °C (Sites P et V).

Ces observations confirment les travaux de Raghuvanshi et Ansari (2019) et d'Eitzinger et al. (2018) : le risque en agriculture est un construit social où la subjectivité et l'expérience vécue prévalent sur les probabilités statistiques. Comme le souligne la théorie de la distance psychologique (Trope et al., 2007 ; Michel-Guillou, 2014), les chocs récents réduisent instantanément la distance perçue de la menace, alors que les tendances lentes exposent au risque d'une habitude progressive.

Hypothèse 1 : La perception du changement climatique change selon les types d'aléas

Réponse : Validée

La prise de conscience du changement climatique diffère selon la nature des aléas : elle est agronomique, réflexive et progressive face aux dérives climatiques chroniques (manque de froid, déphasage phénologique, maladies, glissement des calendriers), et instantanée, émotionnelle et traumatique face aux événements météorologiques extrêmes aigus (gel, grêle, canicules) qui marquent durablement la mémoire par des pertes économiques directes.

1.2. Le filtre biophysique local : pourquoi les modèles surestiment la réalité vécue

Les résultats montrent que, de manière générale, l'estimation de l'exposition de l'aléa est plus importante que le risque perçu sur le terrain. Ce décalage s'explique en partie par les caractéristiques physiques locales du site, qui agissent comme des filtres naturels invisibles pour la maille large de 8 km. Ce filtre biophysique illustre l'hétérogénéité thermique induite par le relief local (de Rességuier et al., 2020) et le lissage des spécificités du sol (Guilpart et al., 2025). Un sol très caillouteux et drainant neutralise totalement la peur de l'asphyxie racinaire, tandis que des terres argileuses profondes protègent du stress hydrique grâce à leur réserve utile. La proximité de masses d'eau régule les extrêmes thermiques et supprime le risque de gelée blanche, tandis que la présence de haies hautes crée un ombrage protecteur. La présence d'une nappe alluviale superficielle déconnecte la plante de la dépendance aux seules pluies.

De façon ambivalente, nos résultats montrent qu'une propriété physique protectrice face à un aléa se transforme souvent en contrainte majeure face à un autre. Un sol caillouteux très filtrant élimine le risque d'inondation mais aggrave la vulnérabilité au dessèchement estival. La pente d'un coteau draine l'air froid nocturne vers le bas (protégeant les vignes du gel, conformément à Morlon, 1979 et Rochard et al., 2019), mais canalise le ruissellement, générant de l'érosion sur les hauteurs et de l'anoxie racinaire dans les bas-fonds. Enfin, les rares exceptions où le risque perçu dépasse l'estimation concernent des aléas pour lesquels le milieu n'offre aucun amortisseur naturel et où l'incertitude est absolue (la grêle aux Sites P, TB, V, TC, ou le manque de froid au Site TC). Ce constat illustre les limites du *downscaling* climatique (Beltrando et al., 2003 ; Van Leeuwen et Darriet, 2016) : une projection météorologique régionale ne peut pas refléter le risque agronomique réel sans intégrer la signature pédo-topographique fine de la parcelle .

2. Dynamiques de décision, inerties et pièges de la maladaptation

Hypothèse 2 : Les caractéristiques physiques locales jouent un important rôle de filtre dans la perception du risque.

Réponse : Validée

La vulnérabilité locale joue un rôle de filtre déterminant dans la perception du risque. Ce filtre biophysique agit comme un amortisseur protecteur de l'aléa, expliquant la sous-estimation du risque ressenti par rapport aux estimations climatiques à large échelle spatiale. Mais il présente un caractère ambivalent : si une caractéristique locale est protectrice contre un aléa (un sol drainant ou pente), elle peut aggraver la vulnérabilité face à un autre (sécheresse ou érosion). Ces caractéristiques physiques changent drastiquement le risque perçu à échelle micro-locale, voir intraparcellaire.

2.1. De l'action immédiate et locale à la rupture transformationnelle

L'inventaire des actions confirme que la nature et la temporalité du risque perçu structurent l'organisation des réponses de l'exploitation.

- **La réaction incrémentale face aux chocs ponctuels.** Face aux événements aigus et soudains (grêle, gel de printemps, inondations), les agriculteurs recourent à des ajustements tactiques directs sur la plante (taille tardive, aspersion antigel). Ces actions sont massivement appliquées (18 sur 19 mises en place, Figure 10a) car elles sont peu coûteuses, réversibles, et préservent l'autonomie de décision. « *Quand ça a gelé, bah moi je n'ai pas gelé parce que je venais juste de tailler et eux [les voisins] ils ont tout gelé* » (Site TB).
- **La réponse systémique face aux dérives durables.** Face à ce risque perçu comme chronique et prévisible, les exploitants reconçoivent leurs systèmes et repensent leurs itinéraires techniques sur le temps long : adaptation de l'irrigation, agroforesterie, modification de l'enherbement et travail du sol (Figures 10b et 11). L'objectif est de ne pas avoir à réajuster le système chaque année.
- **La réponse transformationnelle en situation d'impasse.** Lorsque les ajustements ne suffisent plus à garantir la sécurité de l'exploitation, l'agriculteur s'engage dans des ruptures de la structure de l'exploitation (15,9 % des actions recensées, figure 10a) : la diversification culturelle pour diluer le risque, la révision complète des calendriers de culture, ou l'abandon définitif de parcelles ou de cultures devenues incultivables.

Nos résultats illustrent le triptyque de l'adaptation en agriculture selon lequel l'intensité de la réorganisation agronomique est dictée par la temporalité de l'aléa, allant entre réaction d'urgence face aux chocs ponctuels et transformation profonde face aux dérives climatiques de fond (Termeer et al., 2016 ; Debaeke et al., 2025).

Hypothèse 3 : La perception du risque influe sur l'organisation et la mise en place des actions

Réponse : Validée

La perception du risque guide directement le choix des leviers : les menaces chroniques perçues sur le long terme stimulent des re-conceptions systémiques, les chocs aigus et imprévisibles déclenchent des ajustements tactiques incrémentaux préservant le confort de travail, tandis que les impasses critiques imposent des ruptures transformationnelles (diversification, décalage de cycle ou abandons parcellaires).

2.2) La perception des tendances climatiques lentes comme frein à la mise en action

Toutefois, pour les risques qui arrivent lentement, l'agriculteur a le temps d'ajuster ses techniques. Comme le précisent Ollat et Touzard (2024), l'introduction de l'enherbement intercalaire, la sélection de nouveaux clones, la modification de la conduite de la vigne ou la baisse volontaire des rendements pour des exigences de qualité AOC influencent directement la phénologie du végétal. Cet ajustement permanent empêche l'agriculteur de voir la part réelle du climat, car ses propres actions agissent comme un filtre qui masque la dérive climatique de fond. Aussi, bien que les aléas aigus marquent les esprits, certains agriculteurs refusent de voir les signes d'une dérive globale à long terme. Ils les qualifient « d'accidents climatiques cycliques classiques », ce qui bloque l'urgence de trouver des actions pour s'adapter : « *Les anciens nous disent, ne vous inquiétez pas, c'est cyclique, il y a des périodes comme ça qui ont été observées où pendant 10-15 ans, 20 ans il y a des phénomènes qui se passent, puis après, ça revient à la normale, puis ça revient. Bon, peut-être qu'ils ont raison, mais bon, on commence quand même à être de plus en plus sceptiques [sur leurs propos]* » Site TC. C'est ce que souligne la théorie de la distance psychologique de Trope et al. (2007) et de Michel-Guillou (2014) selon laquelle le vécu d'une catastrophe naturelle aiguë réduit la distance temporelle, spatiale et hypothétique de la menace, ce qui déclenche des intentions d'adaptation immédiates. Au contraire, les tendances climatiques lentes, exposent les exploitants à s'y accoutumer progressivement ou d'être dans un déni défensif, retardant la mise en place d'actions de transformations structurelles d'envergure.

2.3. L'effet de rétroaction, conséquences de l'inaction et les dérives de maladaptation

Nos résultats confirment que l'agriculteur n'évalue pas un aléa météorologique brut, mais un risque résiduel amorti par ses investissements et ses actions mises en place : le risque n'est pas perçu si une action y fait face (comme le risque sécheresse inhibé par l'irrigation). Cela démontre une boucle de rétroaction où l'action de protection modifie directement la perception de la gravité du climat (Nauges, 2022).

De même, l'absence de protection amplifie le sentiment d'impuissance et transforme un simple aléa météorologique en événement de crise pour l'exploitation. C'est ce que théorise Chapelon en 2024, disant que l'absence de moyens d'action ou de protection face aux dérives climatiques génère un sentiment d'impuissance et de résignation chez les producteurs, affectant leur santé mentale. « *Le gel... on n'a que nos yeux pour pleurer. On n'a pas mis en place d'autres outils pour [...] mettre en place des bougies, asperger, on était un peu trop confiants* » (Site P).

Les dérives et risques de maladaptation. Néanmoins, comme l'expliquent Eldin et Milleville (1989), si elle sécurise et rassure l'exploitant, l'adaptation par artificialisation induit un déplacement du risque agricole : « *Le piège c'est que on va avoir les vignes qui restent [avec] un développement racinaire superficiel et le jour où on n'a pas assez d'eau, où notre outil est en panne, où on n'a plus d'eau du Rhône, derrière c'est aussi quelque chose d'assez dangereux* » (Site TC). L'efficacité des protections face aux aléas de moyenne intensité engendre une illusion de sécurité, et génère paradoxalement de nouveaux risques (Woloszyn et Quenault, 2013) tels que :

L'invisibilisation du stress thermique : L'arrosage continu empêche le flétrissement de la plante mais ne la protège pas réellement et durablement des températures extrêmes. Même bien irriguées, les cultures subissent des brûlures ou le blocage de la photosynthèse. Cela masque le besoin d'adapter l'architecture des canopées ou de repenser le système au temps long.	L'effet rebond (Paradoxe de Jevons) : L'irrigation sécurisée (comme le goutte-à-goutte) élimine le stress et l'impuissance mais peut inciter à maintenir des cultures gourmandes en eau dans des zones qui ne sont plus adaptées, reportant la pression sur la ressource à plus grande échelle.
	La dépendance technologique et le transfert de vulnérabilité L'irrigation localisée superficielle maintient les racines de la vigne en surface. L'exploitation troque son risque climatique contre un risque technologique (Site P : " le jour où l'outil est en panne... c'est très dangereux " ; vol de pompes solaires).

Figure 13 : Les risques de maladaptations.

Hypothèse 4 : Les actions mises en place influent sur la perception du risque.

Réponse : Validée

Les actions déployées modifient directement la perception du risque en agissant comme un bouclier psychologique face à l'inquiétude. À l'inverse, l'absence de protection augmentent le risque de crise et de pertes majeures sur l'exploitation. Cependant, certaines sécurisations conduisent à de la "maladaptation" sur le long terme, par effet rebond, dépendance technologique à la panne et invisibilisation des effets directs de certains aléas, comme le stress thermique. Puisque l'agriculteur pense avoir le contrôle, il peut prendre un aléa pour acquis, et minimiser la recherche et mise en place d'autres actions plus durables pour y faire face.

3. Actions à bénéfices multiples dites « sans regret », opportunités d'atténuation et les verrous d'adaptation

3.1. Les mesures « sans regret » pour concilier adaptation et atténuation

Notre travail met en évidence un ensemble de pratiques qui dépassent la simple démarche de faire face aux aléas. Ce sont des investissements d'opportunité dits « sans regret », portant un intérêt quelle que soit l'ampleur du changement climatique et visant à associer l'adaptation locale et l'atténuation globale (Ollat et Touzard, 2024). Dans notre étude, elles concernent l'agroforesterie et les haies, la régénération de la matière organique des sols et l'éco-pâturage ovin hivernal. Cela est montré dans les travaux de Ollat et Touzard qui indiquent que « *L'agroécologie et les pratiques agronomiques limitant l'érosion appartiennent à cette catégorie* », mais également « *qu'un scénario de transition agroécologique doit donc s'accompagner d'une réassociation de l'agriculture et de l'élevage* ». Or, ces solutions présentent des limites :

Le temps Les haies ou l'enrichissement en humus demandent plusieurs années avant d'être efficaces, alors que les chocs climatiques frappent immédiatement.	La concurrence hydrique En contexte méditerranéen très sec, de jeunes arbres/haies/enherbement peuvent entrer en compétition temporaire pour l'eau avec la culture principale.	Les limites face aux extrêmes Les protections légères ne suffisent pas toujours lors de canicules intenses (exemple de la cuisson des oignons sous voile du Site V) mais offrent un sentiment de protection et donc d'inertie d'action.
--	--	---

Figure 14 : Les limites des actions dites "sans regret" et d'atténuation.

Hypothèse 5 : Les actions mises en place peuvent aussi représenter des opportunités.

Réponse : Partiellement validée

Les mesures agroécologiques “sans regret” (haies, broyat, éco-pâturage) représentent des opportunités d'optimisation agronomique pour l'exploitation, ne contraignent pas l'organisation et le temps de travail et s'accordent avec l'atténuation sur le temps long (stockage carbone, réduction d'énergie).

Cependant, ces pratiques restent minoritaires, en marge et nécessitent du temps avant d'être efficace, par rapport à une majorité d'adaptations mises rapidement en place vécues sous la contrainte, le stress économique et l'urgence. La grande majorité des actions de lutte citées dans les entretiens nécessitent plus de temps de travail, de main d'œuvre, et causent un flou dans l'organisation. Si les aléas liés au changement climatique ne se manifestaient pas, les agriculteurs ne mettraient pas en place toutes ces actions contraignantes. *“Mettre des filets... ça apporte un petit peu de confort [...] Après, ça serait quand même plus simple de ne pas avoir à le faire, honnêtement.”* Site V

→ Des actions sont des opportunités uniquement si elles ont des effets positifs au long terme, et si elles ne contraignent pas les finances, l'organisation et le temps de travail.

3.2. Les verrous de la mise en place des actions pour s'adapter

Le décalage entre la conscience du risque existant et le blocage de la moitié des actions transformationnelles met en lumière le concept de Value-Action Gap appliqué au climat (Blake, 1999 ; Niles et al., 2016). Ce verrouillage s'articule autour de trois freins.

→ **Le verrou réglementaire.** Montré par nos résultats et énoncé par Éloïse Brouard en 2018, les cahiers des charges des AOP/AOC interdisent ou limitent fortement l'introduction de cépages méditerranéens plus tardifs ou résistants (Figure 10b). Les viticulteurs sont privés d'une marge d'adaptation génétique qui se révèle efficace, sous peine d'exclusion de l'appellation. *« On adorait avoir des cépages résistants, faire des tests, etc. Mais enfin, ça veut dire [...] sortir des AOP. [...] la réglementation nous oblige à être inertes [...] On ne peut pas faire ce qu'on veut. »* (Site C) ; *« de toute façon, on est contraint par le cahier des charges de l'appellation. On n'a pas le droit de mettre tout et n'importe quoi. [...] Le système des appellations est magnifique. Mais changer, faire évoluer ces réglementations, c'est trop long. [...] Le système est décalé aujourd'hui entre les gens qui disent oui ou non dans ces institutions et les demandeurs. »* (Site O)

→ **Le verrou financier.** Les gros investissements requièrent des fonds importants dans un contexte où l'économie est fragilisée par la répétition des mauvaises années. L'agriculteur craint avant tout le risque financier lié à l'endettement nécessaire pour s'équiper, et doit ainsi

arbitrer entre le risque climatique et le risque financier de faire faillite. Cela a été théorisé par Eldin et Milleville en 2024 et validé à travers nos entretiens « *on a des trésoreries qui sont de plus en plus serrées et que c'est le nerf de la guerre* » (Site TC) ; « *c'est le coût par hectare et la rentabilité derrière. Est-ce que ça va être faisable ? Malgré tout, il faut rester dans une logique économique* » (Site C).

→ **Le temps et la surcharge de travail.** L'adaptation se heurte à la disponibilité humaine. Réaliser une double taille ou travailler à la main sur des sols inondés impraticables au tracteur cause de la fatigue physique et mentale pour les équipes « *Comme on ne pouvait pas le faire au tracteur, on l'a fait à la main. C'était un gros, gros boulot par rapport à une préparation classique de travail de sol* » (Site V). L'agriculteur cherche avant tout des leviers compatibles avec son organisation du travail. Dans la synthèse Quae, Philippe Debaeke et ses coauteurs expriment que la recherche s'est trop concentrée sur les rendements physiques en oubliant la logistique humaine, et que les impacts sur le travail sont un angle mort de la littérature.

4. Discussion des méthodes

4.1. Les savoirs situés au sein de l'exploitation

Nos entretiens révèlent que la perception du risque climatique et le choix des réponses varient également selon le rôle de l'interlocuteur dans l'entreprise agricole.

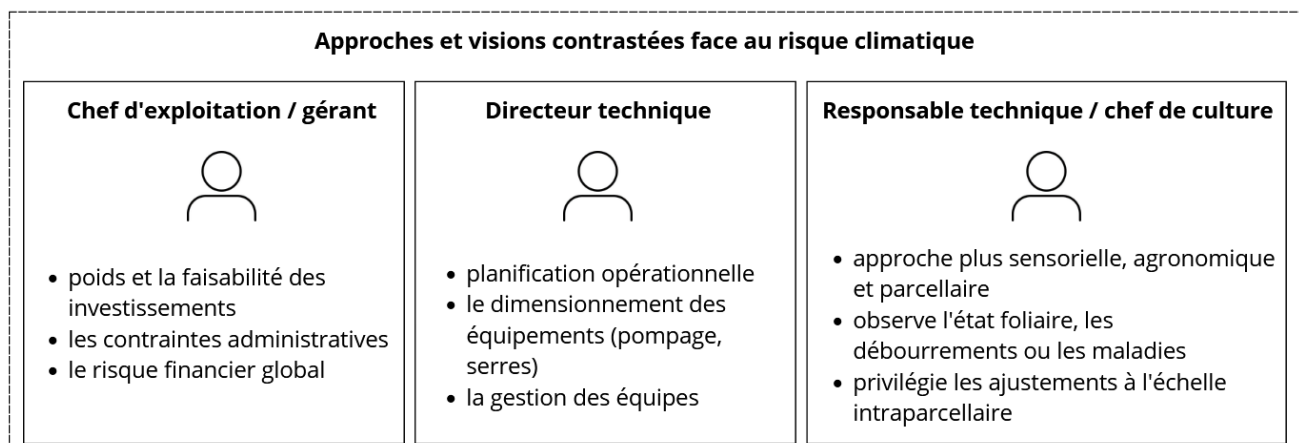


Figure 15 : Schéma sur les différentes approches et visions selon le rôle de l'interlocuteur dans l'entreprise agricole

De ce fait, la résilience d'un domaine dépend de la conciliation de ces différents points de vue.

4.2. Limites de la méthode

La vision de nos résultats doit être analysée en tenant compte de plusieurs limites méthodologiques identifiées au cours du stage.

1. **Le biais d'échantillonnage de l'accès à l'eau.** Les 8 domaines enquêtés disposent tous d'un accès sécurisé à la ressource en eau, ce qui atténue fortement le risque perçu pour la sécheresse. Cet aléa est pourtant le premier point d'alerte de la zone méditerranéenne, classée comme un « hotspot » de vulnérabilité par le GIEC (2014) et caractérisé par une baisse modélisée du bilan hydrique estival de plus de 120 mm au sud (Cardell et al., 2019). Cette limite ne permet pas d'obtenir des résultats sur des exploitations non irriguées, en sec total. De ce fait, l'étude aurait dû séparer le stress hydrique (sécheresse) du stress thermique dans le choix des aléas estimé et notés par les agriculteurs.
2. **Le biais de mémoire et ancienneté.** La plupart des enquêtés travaillent sur l'exploitation depuis moins de 10 ans et n'ont pas autant de recul que les estimations calculées. Les discours des exploitants sont influencés par les événements extrêmes très récents et cela tend à invisibiliser des aléas plus anciens. Sur le terrain, l'évaluation du risque est principalement influencée par les événements les plus marquants en mémoire (Weber, 2006) où le discours est saturé par les traumatismes de court terme au détriment des dérives lentes de fond. De ce fait, il aurait été intéressant d'avoir des agriculteurs avec de l'ancienneté pour voir s'ils percevaient le risque avec cette temporalité.
3. La sélection des sites pour les entretiens a été totalement dépendante de la **disponibilité limitée des agriculteurs**, surtout en période agricole dense (mai-juillet). Certains sites auraient été pertinents à l'enquête, mais cela était impossible logistiquement.

5. Discussion des perspectives

5.1. Perspectives de réponses aux verrous initiaux

Verrou 1. Comment caractériser objectivement les risques climatiques à l'échelle locale des exploitations, en intégrant les limites de résolution des modèles climatiques actuels Pour dépasser le lissage spatial des modèles climatiques globaux (de 8 x 8 km), la caractérisation du risque devrait coupler des indicateurs écoclimatiques (en incluant la phénologie des cultures) avec un diagnostic des filtres biophysiques et avec les actions mises en place à l'échelle parcellaire. L'évaluation la plus

fine possible et empirique du risque nécessite d'intégrer cette signature pédo-topographique fine, l'organisation de travail et les actions d'adaptation mises en place pour contextualiser la réalité du risque agronomique sur chaque parcelle.

Verrou 2 : Dans quelle mesure les simulations d'aléas climatiques estimés correspondent-elles à la réalité empirique perçue par les exploitants sur le terrain ?

L'étude montre que les simulations de l'aléa climatique présentent un décalage avec le risque perçu des exploitants. Ceux-ci sous-estiment les aléas calculés dans leur perception car ils évaluent un risque résiduel déjà atténué par leurs aménagements, leurs pratiques et par les caractéristiques physiques du site. Cela correspond à la vulnérabilité. Les rares cas de surestimation perçue surviennent uniquement lorsque le milieu n'offre aucun amortisseur naturel face à des aléas imprévisibles comme la grêle ou le manque de froid hivernal. La modélisation du risque climatique théorique ne concorde donc pas directement avec la réalité de terrain, parce que celle-ci est toujours filtrée par l'expérience vécue et le sentiment de maîtrise technique de l'agriculteur. Si les estimations n'incluent pas les différents constituants de la vulnérabilité des sites, le risque caractérisé ne peut pas être complet et objectif.

Verrou 3 : Comment la qualification fine du risque (à la fois objective et perçue) permet-elle d'identifier les freins à l'action et d'optimiser la mise en place de stratégies d'adaptation et d'atténuation pertinentes à court, moyen et long terme ?

La confrontation de l'aléa estimé et du risque perçu démontre que la temporalité de la menace influence les réponses : elles orientent les agriculteurs à des ajustements incrémentaux faces aux chocs d'urgence et imprévisibles tout en gardant leur autonomie de travail, à des reconceptions systémiques face aux dérives durables et prévisibles et à des transformations profondes du système face à des impasses. En comprenant comment les agriculteurs agissent face à un aléa donné, il est plus aisé d'identifier les freins et les risques de maladaptation. Une fois identifiés, il faut voir comment favoriser l'intégration de pratiques à multiples bénéfices, agissant comme amortisseur pour plusieurs aléas, qui combinent adaptation et atténuation, tout en s'adaptant à l'organisation de travail déjà mise en place.

5.2. Champs d'actions possibles pour la Chaire AgroSys

Pour la Chaire AgroSYS et l'accompagnement de son réseau partenarial, notre étude pourrait proposer plusieurs leviers :

	CHAMPS DIRECT CHAIRE AGROSYS	CHAMPS ÉLARGIS (PARTENAIRE, RECHERCHE ET FILIÈRE)
1. DIAGNOSTIC & OUTILS	Focus direct Chaire AgroSYS • Suivi automatisé des 17 indicateurs (R/AgroClim) • Grille participative des filtres locaux (RU sol, topo) • Outil d'aide à la micro-localisation du risque	Perspectives Filière & Recherche • Déploiement de capteurs météo & sondes IoT • Modélisation hydrologique fine à la parcelle • Identification des seuils de bascule agronomique
2. PRÉVENTION MALADAPTATION	Focus direct Chaire AgroSYS • Sensibilisation à l'invisibilisation du stress thermique • Alerte sur la dépendance technologique à l'irrigation • Promotion des mesures agroécologiques 'sans regret'	Perspectives Filière & Recherche • Évaluation multicritère des vulnérabilités induites • Intégration de l'angle mort du temps de travail • Gestion de la ressource en eau à l'échelle du bassin
3. ANIMATION & DIALOGUE	Focus direct Chaire AgroSYS • Organisation d'ateliers sur les biais de perception • Débriefing des écarts (Risque estimé vs perçu) • Capitalisation des retours d'expériences du réseau	Perspectives Filière & Recherche • Co-conception de trajectoires d'adaptation locales • Échanges inter-domaines sur la logistique humaine • Création d'une communauté apprenante pérenne
4. RÉGLEMENTATION & FILIÈRE	Focus direct Chaire AgroSYS • Soutien à l'expérimentation de cépages résilients • Traduction des données de recherche pour la filière	Perspectives Filière & Recherche • Évolution des cahiers des charges d'appellation (AOP) • Levée des verrous financiers & aides aux transitions • Structuration de nouvelles filières diversifiées

Figure 16 : Levier d'actions possibles pour la Chaire AgroSYS et au champs plus élargis.

CONCLUSION

Ce travail de fin d'études s'est donné pour objectif de s'intéresser au couplage de la modélisation biophysique et des réalités humaines en répondant à une problématique : **dans quelle mesure le croisement entre l'estimation des aléas par calculs agroclimatiques et l'analyse de la perception des acteurs sur le terrain permet-il de caractériser le risque local et d'éclairer les trajectoires d'adaptation et d'atténuation ?** Nos résultats démontrent que les aléas météorologiques bruts ne traduisent pas le risque climatique de manière élémentaire sur l'exploitation. Celui-ci est forcément filtré par les propriétés biophysiques micro-locales qui aggravent ou limitent le risque. Ces facteurs sont ambivalents : ils augmentent le risque pour un aléa, mais le minimisent pour un autre. La prise de conscience du risque climatique s'opère selon deux temporalités cognitives : l'une, instantanée et émotionnelle, ancrée dans la mémoire traumatique des chocs aigus récents, tandis que l'autre est sujette à l'accoutumance face aux dérives lentes chroniques. La mise en place d'adaptation est influencée par la façon dont les agriculteurs perçoivent le risque : s'il est soudain, les agriculteurs agissent avec des actions incrémentales, rapides à mettre en place et sur le très court terme ; s'il est prévisible, les agriculteurs optent pour des adaptations systémiques durables ; s'il est incontournable et persistant, les agriculteurs transforment en profondeur leur système, mais cela est généralement long dans la prise de décision et peut causer des risques organisationnels et économiques. L'étude relève une tendance générale à la sous-estimation du risque calculé par les exploitants, se justifiant par l'évaluation d'un risque résiduel : le risque est perçu comme faible ou inexistant dès lors qu'un aménagement (notamment l'irrigation sécurisée) est déployé. De ce fait, ce point souligne le risque de maladaptation et l'émergence de nouveaux risques tels que la dépendance technologique, l'usage non durable des ressources, l'invisibilisation de certaines dérives et certains aléas climatiques, l'inertie à la mise en place d'actions d'adaptation sur le très long terme.

Pistes à explorer :

Premièrement, l'analyse du risque climatique doit impérativement être caractérisé par le couplage des aléas climatiques calculés par indicateurs météorologiques et les conditions in situ de chaque exploitation (pratiques mises en place, types de systèmes, caractéristiques locales) pour trouver des réponses de luttes fiables et durables.

Ensuite, les pistes de travail qui pourraient être développées dans le court et moyen terme seraient d'élargir la question sur la faisabilité climatique, économique et les indicateurs phénologiques d'espèces de diversification. Aussi, modéliser le réservoir d'eau utiles des sols, l'évapotranspiration, la rétention d'eau dans le sol ou la gestion d'eau pluviales à la parcelle peut être une piste pour voir par quel moyen est-il possible de contourner la dépendance à l'irrigation. La confrontation entre stress hydrique et stress thermique pose question, dans le sens où les deux sont distincts, l'un est invisibilisé par l'irrigation et l'autre est évité de justesse. De ce fait, l'étude pousse à s'interroger sur la viabilité de nos système agricoles actuel en méditerranée. D'autre part, approfondir la recherche sur des processus agronomiques encore peu modélisés tel que le cycle de la dormance face à la douceur hivernale serait un point intéressant à explorer.

Enfin, l'étude pose question sur le verrou de la logistique, du travail et du coût humain dans la transition à l'adaptation et à l'atténuation face au risque climatique. Si l'adaptation face à la sécheresse passe par l'amélioration des propriétés hydro-physiques de la zone non saturée, dans quelle mesure est-ce compatible avec l'organisation de travail actuel des agriculteurs pour garantir leur faisabilité et durabilité ? Le manque, le besoin, le coût, l'encadrement parfois contraignant de la main-d'œuvre face à des aléas imprévisibles, additionné à la fatigue physique (comme lors d'une double taille tardive ou du désherbage manuel sur sol inondé), la charge mentale organisationnelle et financière, sont des freins majeurs. Puisque les agriculteurs privilégient, à juste titre, des pratiques d'adaptation n'entravant pas leur autonomie décisionnelle et leur organisation de travail, la recherche et le conseil agricole doivent déverrouiller cet angle mort en intégrant des critères d'organisation du travail et de charge mentale dans la validation des nouveaux itinéraires techniques. Les processus de mise en œuvre dans le contexte humain doivent être placés à importance égale face à l'innovation de nouvelles techniques, parce qu'ils sont le levier majeur garant de l'adaptation face au risque lié au changement climatique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agossou, D. S. M. (2008). *Perception et stratégies d'adaptation aux changements climatiques des paysans du plateau Adja au Bénin* [Thèse d'ingénieur agronome, Université d'Abomey-Calavi].
- Allamy, L., Darriet, P., & Pons, A. (2018). Molecular interpretation of dried-fruit aromas in Merlot and Cabernet Sauvignon musts and young wines: Impact of over-ripening. *Food Chemistry*, 266, 245–253. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.022>
- Barry, I. (2016). *Facteurs socio-économiques et perception paysanne du changement climatique dans la région sahélienne* [Mémoire de recherche, Université de Ouagadougou].
- Bécart, V., Lacroix, R., Puech, C., & García de Cortázar-Atauri, I. (2022). Assessment of changes in Grenache grapevine maturity in a Mediterranean context over the last half-century. *OENO One*, 56(1), 53–72. <https://doi.org/10.20870/oenone.2022.56.1.4883>
- Beltrando, G., Quénot, H., Bridier, S., & Sahal, A. (2003). *Évaluation de l'impact du futur remblai de la déviation de la RN59 sur les gelées printanières dans le vignoble de Châtenois (Alsace)* (Rapport d'expertise). Direction Départementale de l'Équipement du Bas-Rhin & Syndicat Général des Vignerons d'Alsace.
- Bentouati, A. (2023). Impact des contraintes thermiques et du déficit hydrique sur la fructification et la chute précoce des fruits chez l'olivier (*Olea europaea* L.) en région méditerranéenne. *Cahiers Agricultures*, 32, Article 14.
- Bisbis, M. B., Gruda, N., & Blanke, M. (2018). Potential impacts of climate change on vegetable production and product quality – A review. *Journal of Cleaner Production*, 170, 1602–1620. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.224>
- Blake, J. (1999). Overcoming the 'value-action gap' in environmental policy: Tensions between national policy and local experience. *Local Environment*, 4(3), 257–278. <https://doi.org/10.1080/13549839938789>
- Boyer, J., & Touzard, J.-M. (2021). Systèmes régionaux d'innovation et adaptation des vignobles au changement climatique : Enseignements du projet LACCARE. *Climatologie*, 18(3), 1–15. <https://doi.org/10.1051/climat/202118003>
- Bras, T. A., Seixas, J., Carvalhais, N., & Jägermeyr, J. (2021). Severity of drought and heatwave crop losses tripled over the last five decades in Europe. *Environmental Research Letters*, 16(6), Article 065012. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abf004>
- Brouard, É. (2018). *L'adaptation des règles d'appellation viticole face au défi du changement climatique : Entre verrouillage juridique et flexibilité agronomique* [Mémoire de fin d'études,

Montpellier SupAgro].

Cardell, M. F., Amengual, A., Romero, R., & Ramis, C. (2019). Future extremes of temperature and precipitation in Europe derived from a combination of dynamical and statistical approaches. *International Journal of Climatology*, 40(11), 4800–4827. <https://doi.org/10.1002/joc.6490>

Caubel, J., García de Cortázar-Atauri, I., Launay, M., de Noblet-Ducoudré, N., Huard, F., Bertuzzi, P., & Graux, A.-I. (2015). Broadening the scope for ecoclimatic indicators to assess crop climate suitability according to ecophysiological, technical or quality criteria. *Agricultural and Forest Meteorology*, 207, 94–106. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.02.005>

Chapelon, C. (2023). *Perception du risque, détresse professionnelle et sentiment d'impuissance chez les agriculteurs face aux chocs climatiques* [Thèse de doctorat en psychologie sociale, Université Paul-Valéry Montpellier 3].

Ciais, P., Reichstein, M., Viovy, N., Granier, A., Ogée, J., Allard, V., Aubinet, M., Buchmann, N., Bernhofer, C., Carrara, A., Chevallier, F., De Noblet, N., Friend, A. D., Friedlingstein, P., Grünwald, T., Heinesch, B., Keronen, P., Knohl, A., Krinner, G., ... Valentini, R. (2005). Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, 437(7058), 529–533. <https://doi.org/10.1038/nature03972>

Dahoo, U. (2025). *Indicateurs internationaux du changement climatique : Mise en perspective des principaux tableaux de bord internationaux* (Collection Études). Service des Données et Études Statistiques (SDÉS), Ministère de la Transition Écologique.

Dalhaus, T., Schlenker, W., Blanke, M. M., Richter, E., & Finger, R. (2020). The effects of extreme weather on apple quality. *Scientific Reports*, 10(1), Article 7919. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64806-7>

Debaeke, P., & Durand, J.-L. (2025). Impacts observés et projetés du changement climatique sur les grandes cultures et les prairies. In P. Debaeke, N. Graveline, B. Lacor, S. Pellerin, D. Renaudeau, & É. Sauquet (Coords.), *Agriculture et changement climatique : Impacts, adaptation et atténuation* (pp. 51–82). Éditions Quæ.

Debaeke, P., Graveline, N., Lacor, B., Pellerin, S., Renaudeau, D., & Sauquet, É. (Coords.). (2025). *Agriculture et changement climatique : Impacts, adaptation et atténuation*. Éditions Quæ.

de Rességuier, L., Mary, S., Le Roux, R., Petitjean, T., Quénot, H., & van Leeuwen, C. (2020). Temperature variability at local scale in the Bordeaux area: Relations with environmental factors and impact on vine phenology. *Frontiers in Plant Science*, 11, Article 515. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00515>

Derreudre, J., Audran, J. C., Leddet, C., & Ait Barka, E. (1993). Réponse de la vigne (*Vitis vinifera* L.) aux températures inférieures à 0 °C. III. Effets d'un refroidissement contrôlé sur des bourgeons au

cours du débourrement. *Agronomie*, 13(6), 509–514. <https://doi.org/10.1051/agro:19930605>

Domihio, H. (2018). *Caractérisation spatio-temporelle des aléas climatiques et évaluation de la vulnérabilité des exploitations agricoles en zone côtière* [Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi].

Drepper, B., Bamps, B., Gobin, A., & Van Orshoven, J. (2022). Strategies for managing spring frost risks in orchards: Effectiveness and conditionality – A systematic review. *Environmental Evidence*, 11(1), Article 29. <https://doi.org/10.1186/s13750-022-00282-3>

Eitzinger, A., Binder, C. R., & Meyer, M. A. (2018). Risk perception and decision-making: Do farmers consider risks from climate change? *Climatic Change*, 151(3–4), 507–524. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2320-1>

Eldin, M., & Milleville, P. (Dir.). (1989). *Le risque en agriculture*. Éditions de l'ORSTOM.

Erne-Heintz, B., & Martin, H. (2020). *De la vulnérabilité au risque : Approches conceptuelles, construction sociale et réalités de terrain*. Éditions Universitaires Européennes.

Fankhauser, S. (2017). Adaptation to climate change. *Annual Review of Resource Economics*, 9(1), 209–230. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100516-053556>

Finnis, J., Atlin, C., & Mercer, J. (2015). High expectations, unrealistic goals: Farmers' perception of climate change information and services. *Climate Risk Management*, 8, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2015.03.002>

García de Cortázar-Atauri, I., & Maury, O. (2019). *GETARI: Generic Evaluation Tool of AgRoclimatic Indicators* (Version 1.0) [Logiciel / Jeu de données]. Portail Data INRAE. <https://doi.org/10.15454/1.5572379025068203E12>

Gautier, H., Biais, B., & Nafati, M. (2022). Effets combinés des températures excessives et de l'ombrage sur la nouaison et la qualité des fruits chez la tomate et l'aubergine. *Innovations Agronomiques*, 86, 45–58.

Giannakopoulos, C., Bindi, M., Moriondo, M., Lesager, P., & Tin, T. (2005). *Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global temperature rise*. WWF International.

GIEC. (2001). *Bilan 2001 des changements climatiques : Conséquences, adaptation et vulnérabilité. Contribution du Groupe de travail II au troisième rapport d'évaluation du GIEC* (J. J. McCarthy, O. F. Canziani, N. A. Leary, D. J. Dokken, & K. S. White, Éd.). Cambridge University Press.

GIEC. (2007). *Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième rapport d'évaluation du GIEC* (Équipe de rédaction principale, R. K. Pachauri & A. Reisinger, Éd.). GIEC.

GIEC. (2014). *Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième rapport d'évaluation du GIEC* (Équipe de rédaction principale, R. K. Pachauri & L. A. Meyer, Éd.). GIEC.

Gontier, L., & Gaviglio, C. (2013). La fin des herbicides ? Plusieurs stratégies innovantes d'entretien du sol à l'épreuve dans le Sud-Ouest. In *1res Assises des vins du Sud-Ouest* (pp. 21–25). Institut Français de la Vigne et du Vin (IFV).

GRAB. (2021). *Gestion des températures extrêmes et du rayonnement sous abri en maraîchage biologique* (Fiche technique n° 14). Groupe de Recherche en Agriculture Biologique.

Greer, D. H., & Weedon, M. M. (2012). Modelling photosynthetic responses to temperature of grapevine (*Vitis vinifera* cv. Semillon) leaves on vines grown in a hot climate. *Plant, Cell & Environment*, 35(6), 1050–1064. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02471.x>

Guilpart, N., Personne, E., & Makowski, D. (2025). Modèles biophysiques de projection des impacts du changement climatique. In P. Debaeke, N. Graveline, B. Lacor, S. Pellerin, D. Renaudeau, & É. Sauquet (Coords.), *Agriculture et changement climatique : Impacts, adaptation et atténuation* (pp. 83–120). Éditions Quæ.

Huglin, P. (1986). *Biologie et écologie de la vigne*. Éditions Payot Lausanne ; Technique et Documentation (Lavoisier).

Husson, O., & Lefèvre, A. (2023). Limites de tolérance thermique et blocages physiologiques chez les cultures légumières sous abris méditerranéens. *Revue Horticole*, 638, 32–39.

IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou, Éd.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>

IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama, Éd.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>

Karl, T. R., Nicholls, N., & Ghazi, A. (1999). CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. In T. R. Karl, N. Nicholls, & A. Ghazi (Éds.), *Weather and Climate Extremes* (pp. 3–7). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9265-9_1

Kosmowski, F., Lalou, R., & Sultan, B. (2016). Analyse des dynamiques de perception du changement

climatique chez les exploitants agricoles familiaux. *Cahiers Agricultures*, 25(1), Article 15004. <https://doi.org/10.1051/cagri/2016004>

Kovaleski, A. P., North, M. G., Martinson, T. E., & Londo, J. P. (2023). Development of a new cold hardiness prediction model for grapevine using phased integration of acclimation and deacclimation responses. *Agricultural and Forest Meteorology*, 331, Article 109324. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109324>

Lamarque, L. J., Delmas, C. E. L., Charrier, G., Burlett, R., Dell'Acqua, N., Pouzoulet, J., Gambetta, G. A., & Delzon, S. (2023). Quantifying the grapevine xylem embolism resistance spectrum to identify varieties and regions at risk in a future dry climate. *Scientific Reports*, 13(1), Article 7724. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34247-3>

Lebon, E., Dumas, V., Pieri, P., & Schultz, H. R. (2003). Modelling the seasonal dynamics of the soil water balance of vineyards. *Functional Plant Biology*, 30(6), 699–710. <https://doi.org/10.1071/FP02180>

Legave, J.-M. (Coord.). (2022). *Les productions fruitières à l'heure du changement climatique : Risques et opportunités en régions tempérées*. Éditions Quæ.

Legave, J.-M., Wenden, B., & Chuine, I. (2022). Le besoin de froid hivernal chez les arbres fruitiers face au réchauffement climatique. In J.-M. Legave (Coord.), *Les productions fruitières à l'heure du changement climatique : Risques et opportunités en régions tempérées* (pp. 115–142). Éditions Quæ.

Leone, F., & Vinet, F. (2006). La vulnérabilité, un concept fondamental au cœur des méthodes d'évaluation des risques naturels. *Géocarrefour*, 81(2), 97–109. <https://doi.org/10.4000/geocarrefour.1460>

Lizaso, J. I., Ruiz-Ramos, M., Rodríguez, L., Gabaldon-Leal, C., Oliveira, J. A., Lorite, I. J., Sánchez, D., García, E., & Rodríguez, A. (2017). Modeling the response of maize kernel set and yield components to heat stress, heat deficits and extreme temperatures. *Field Crops Research*, 214, 290–301. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.09.027>

Loko, Y. L. E., Dansi, A., Tamo, M., Bokonon-Ganta, A. H., Assogba, P., Dansi, M., & Sanni, A. (2013). Perception paysanne du changement climatique et stratégies endogènes d'adaptation. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7(3), 1148–1167. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v7i3.21>

Mach, K. J., Planton, S., & von Stechow, C. (2014). Annex II: Glossary. In *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 117–130). IPCC.

Meinshausen, M., Smith, S. J., Calvin, K., Daniel, J. S., Kainuma, M. L. T., Lamarque, J.-F., Matsumoto, K., Montzka, S. A., Raper, S. C. B., Riahi, K., Thomson, A., Velders, G. J. M., & van Vuuren, D. P. (2011). The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change*, 109(1–2), 213–241. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0156-z>

Michel-Guillou, É. (2014). Représentations sociales de l'environnement et de l'engagement : Du concept de distance à l'implication. *Les Cahiers Internationaux de Psychologie Sociale*, 103(3), 503–528. <https://doi.org/10.3917/cips.103.0503>

Morlon, P. (1979). Éléments d'analyse des risques climatiques en viticulture : Le cas des gelées de printemps et de la topographie locale. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, 65(12), 1012–1024.

Moser, S. C., & Ekstrom, J. A. (2010). A framework to diagnose barriers to climate change adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(51), 22026–22031. <https://doi.org/10.1073/pnas.1007887107>

Nauges, C. (2022). Perception du risque climatique et prise de décision chez les exploitants agricoles : Une approche microéconomique. *Revue d'Études en Agriculture et Environnement*, 103(2), 145–168.

Niles, M. T., Lubell, M., & Brown, M. (2016). How limiting factors drive agricultural adaptation to climate change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200, 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.11.010>

Ollat, N., & Touzard, J.-M. (Coords.). (2024). *Vigne, vin et changement climatique*. Éditions Quæ.

Ollat, N., Garcia de Cortazar-Atauri, I., Touzard, J.-M., & van Leeuwen, C. (2025). Quels indicateurs bioclimatiques pour apprécier les ruptures physiologiques de la vigne face au climat futur ? In P. Debaeke, N. Graveline, B. Lacor, S. Pellerin, D. Renaudeau, & É. Sauquet (Coords.), *Agriculture et changement climatique : Impacts, adaptation et atténuation* (pp. 121–148). Éditions Quæ.

OMM (Organisation Météorologique Mondiale). (2012). *Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé* (M. Svoboda, M. Hayes, & D. Wood, Éd. ; Publication OMM-N° 1090). OMM.

Opiyo, F., Wasonga, O., Nyangito, M., Schilling, J., & Munang, R. (2016). Determinants of farmers' risk perception to climate variability: A case study of Turkana County, Kenya. *Climate Risk Management*, 14, 10–23. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2016.09.001>

Peterson, T. C. (2001). *Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs 1998-2001* (Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071). World Meteorological Organization (WMO).

Piquet, A. (2018). *Mesures et techniques actives de lutte contre le gel printanier en viticulture*. Bioconf-OIV.

Raghuvanshi, R., & Aslam Ansari, M. (2019). A scale to measure farmers' risk perceptions about climate change and its impact on agriculture. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*, 32(1), 1–10. <https://doi.org/10.9734/ajaees/2019/v32i130138>

Rajasekaran, K., & Mullins, M. G. (1985). Somatic embryo formation by cultured ovules of Cabernet Sauvignon grape: Effects of fertilization and of the male gametocide toluidine blue. *Vitis*, 24(3), 151–

Ricart, S., Gandolfi, C., & Castelletti, A. (2023). Climate change awareness, perceived impacts, and adaptation from farmers' experience and behavior: A triple-loop review. *Regional Environmental Change*, 23(3), Article 82. <https://doi.org/10.1007/s10113-023-02079-z>

Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., von Bloh, W., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kummu, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., ... Rockström, J. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, 9(37), Article eadh2458. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>

Rochard, J., Ruelle, F., & Goma-Fortin, N. (2019). *Guide pratique de protection du vignoble contre le gel* (Cahier technique). Institut Français de la Vigne et du Vin (IFV).

Sale, R., Diallo, M., & Traoré, S. (2014). Facteurs socio-économiques déterminants de la perception paysanne de la variabilité climatique en zone sahélienne. *Revue Africaine des Sciences de l'Environnement*, 6(2), 77–91.

Sgubin, G., Swingedouw, D., Dayon, G., García de Cortázar-Atauri, I., Ollat, N., Pagé, C., & van Leeuwen, C. (2018). The risk of tardive frost damage in French vineyards in a changing climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 250–251, 226–242. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.12.253>

Shrestha, R., Rakhal, B., Adhikari, T. R., Ghimire, G. R., Talchabhadel, R., Tamang, D., KC, R., & Sharma, S. (2022). Farmers' perception of climate change and its impacts on agriculture. *Hydrology*, 9(12), Article 212. <https://doi.org/10.3390/hydrology9120212>

Smit, B., & Skinner, M. W. (2002). Adaptation options in agriculture to climate change: A typology. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 7(1), 85–114. <https://doi.org/10.1023/A:1015862225870>

Smit, B., & Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 282–292. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.03.008>

Smith, J. P., & Holzapfel, B. P. (2009). Cumulative responses of Semillon grapevines to late season perturbation of carbohydrate reserve status. *American Journal of Enology and Viticulture*, 60(4), 461–470. <https://doi.org/10.5344/ajev.2009.60.4.461>

Stéphane, S., Somot, S., & Déqué, M. (2018). *Projections climatiques régionalisées sur le bassin Méditerranéen : Évolution des extrêmes thermiques et du bilan hydrique* (Rapport scientifique). Météo-France / CNRM.

Termeer, C. J. A. M., Dewulf, A., & Biesbroek, G. R. (2016). Transformational change: Governance interventions for climate change adaptation from a continuous change perspective. *Journal of*

Environmental Planning and Management, 60(4), 558–576.
<https://doi.org/10.1080/09640568.2016.1168288>

Tonietto, J. (2000). *Les macroclimats viticoles mondiaux et l'influence du mésoclimat sur la typicité de la Syrah et du Muscat de Hambourg dans le sud de la France : Méthodologie de caractérisation* [Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier (ENSAM)].

Tonietto, J., & Carbonneau, A. (2004). A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124(1–2), 81–97.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.06.001>

Trope, Y., Liberman, N., & Wakslak, C. (2007). Construal levels and psychological distance: Effects on representation, prediction, evaluation, and behavior. *Journal of Consumer Psychology*, 17(2), 83–95.
[https://doi.org/10.1016/S1057-7408\(07\)70013-X](https://doi.org/10.1016/S1057-7408(07)70013-X)

Uddin, M. N., Bokelmann, W., & Entsminger, J. S. (2017). Factors affecting farmers' adaptation strategies to environmental degradation and climate change effects: A farm level study in Bangladesh. *Climate*, 5(2), Article 29. <https://doi.org/10.3390/cli5020029>

van Leeuwen, C., & Darriet, P. (2016). The impact of climate change on viticulture and wine quality. *Journal of Wine Economics*, 11(1), 150–167. <https://doi.org/10.1017/jwe.2015.21>

van Leeuwen, C., Barbe, J.-C., Darriet, P., Destrac-Irvine, A., Gowdy, M., Lytra, G., Marchal, A., Marchand, S., Plantevin, M., Poitou, X., Pons, A., & Thibon, C. (2022). Aromatic maturity is a cornerstone of terroir expression in red wine. *OENO One*, 56(2), 335–351.
<https://doi.org/10.20870/oenone.2022.56.2.5441>

van Leeuwen, C., Simonneau, T., & Delmas, C. E. L. (2024). Effets des stress thermiques et hydriques sur le fonctionnement et le développement de la vigne. In N. Ollat & J.-M. Touzard (Coords.), *Vigne, vin et changement climatique* (pp. 48–66). Éditions Quæ.

Vissin, E. W. (2007). *Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger* [Thèse de doctorat, Université de Bourgogne].

Volaire, F., Ahmed, L. Q., Barre, P., Bourgoïn, T., & Durand, J.-L. (2016). Quelle est la variabilité intra et interspécifique des caractères d'adaptation des espèces prairiales pérennes aux variables du changement climatique ? *Fourrages*, 225, 1–19.

Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61(3), 199–223.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.011>

Weber, E. U. (2006). Experience-based and description-based perceptions of long-term risk: Why global warming does not scare us (yet). *Climatic Change*, 77(1–2), 103–120.

<https://doi.org/10.1007/s10584-006-9060-3>

Wenden, B., Chuine, I., Farrera, I., García de Cortázar-Atauri, I., & Legave, J.-M. (2022). Des modèles prédictifs comme outils d'anticipation des changements phénologiques chez les espèces fruitières. In J.-M. Legave (Coord.), *Les productions fruitières à l'heure du changement climatique : Risques et opportunités en régions tempérées* (pp. 227–258). Éditions Quæ.

Woloszyn, M., & Quenault, B. (2013). Adaptation et maladaptation au changement climatique : Les risques d'une illusion sécuritaire. *Développement Durable et Territoires*, 4(2), 1–18. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.9845>

Zhang, X., & Yang, F. (2004). *RClimDex 1.0 (User manual)* (WCDMP-Report). Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (ETCCDMI), Climate Research Branch, Meteorological Service of Canada

Résumé

Face aux pressions climatiques croissantes en région méditerranéenne, l'évaluation du risque climatique agricole ne peut plus s'envisager sous le seul angle météorologique. Ce travail étudie le croisement entre des aléas éco-climatiques estimés à l'horizon 2060 (scénario RCP 8.5, résolution 8 km) et la perception du risque par les agriculteurs, sur le terrain à travers d'enquête semi-directive, au sein du réseau de sites partenaires de la Chaire AgroSYS (viticulture, arboriculture, maraîchage). La confrontation entre les projections climatiques et les enquêtes de terrain montrent une sous-estimation globale du risque par rapport à l'aléa estimé, par les agriculteurs. Ce décalage s'explique d'abord par le rôle de filtre des caractéristiques biophysiques locales (sol, relief, microclimat), qui amortissent ou amplifient les contraintes selon l'aléa considéré. Il provient également d'une perception centrée sur le risque résiduel. Celui-ci est fortement atténué par les infrastructures de protection déjà en place, notamment l'accès sécurisé à l'irrigation sur le réseau. L'étude met en lumière que la nature et la temporalité du risque perçu guident souvent l'orientation des réponses entre adaptations incrémentales sur le court terme, systémiques sur le temps durable et transformationnelles comme ruptures profondes du système.

Néanmoins, malgré la conscience du risque, le choix et le déploiement de ces leviers restent influencés et freinés par des contraintes structurelles majeures : le verrou réglementaire des cahiers des charges d'appellation (AOP), les limites financières, les contraintes liées à la charge et à l'organisation de travail. Enfin, ce travail met en garde contre les risques de maladaptation induits par une dépendance technologique et l'invisibilisation des risques. L'étude soulève la faisabilité agronomique des démarches agroécologiques « sans regret » pour concilier l'organisation de travail des agriculteurs, l'adaptation locale et l'atténuation globale.

Mots clés

Aléa et risque agro-climatique, Bassin méditerranéen, Perception du risque, Filtre biophysique, Typologie de l'adaptation, Atténuation, Actions sans regret, Freins à l'action, Maladaptation, Chaire AgroSYS.

Pour citer cet ouvrage : Cassel, Nève, 2026. De l'aléa climatique estimé au risque vécu : confrontation des échelles macro et micro-locales dans la perception et l'adaptation aux risques climatiques par les acteurs agricoles. Mémoire de stage M2, Master Eau, spécialité Eau et Agriculture, AgroParisTech/Institut Agro Montpellier/Univ. Montpellier. 62 pages hors Annexes.

Campus d'Agropolis international 648 rue Jean-François-Breton 34090 Montpellier France